

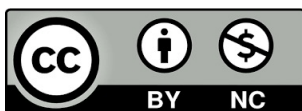
Enrique Cano Suñen

Pensamiento constructivo. Un habitar salvaje

Director/es

León Casero, Jorge
Pérez Herreras, Javier

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>



Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



Universidad
Zaragoza

Tesis Doctoral

PENSAMIENTO CONSTRUCTIVO. UN HABITAR SALVAJE

Autor

Enrique Cano Suñen

Director/es

León Casero, Jorge
Pérez Herreras, Javier

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Escuela de Doctorado

17-Nuevos Territorios en la Arquitectura

2024



Tesis Doctoral

Pensamiento constructivo.

Un habitar salvaje

Autor

ENRIQUE CANO SUÑÉN

Directores

JAVIER PÉREZ HERRERAS

JORGE LEÓN CASERO

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2024

“ni construir, ni fundar, sino habitar”

(Stengers, 2020, p. 36)

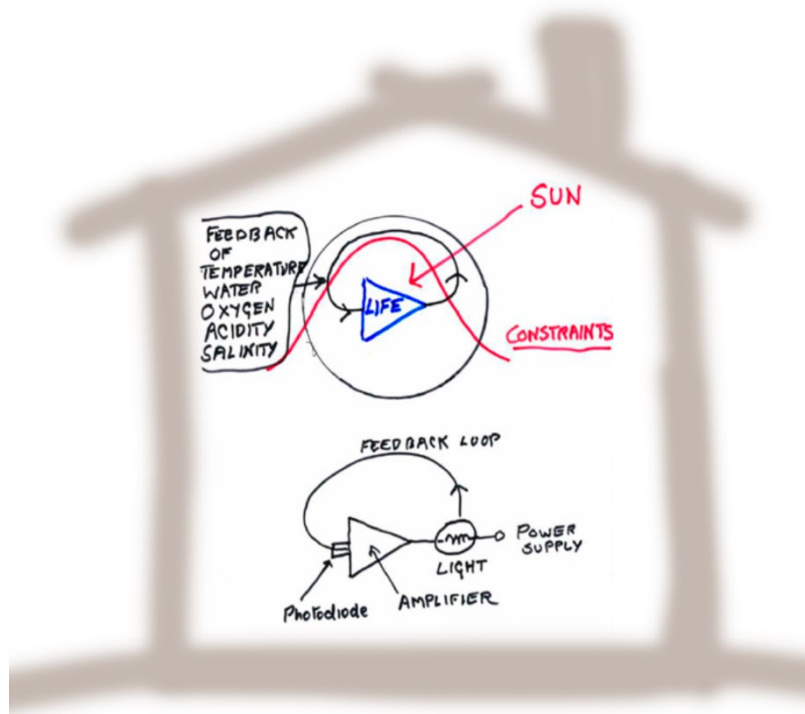


Diagrama de Gaia de James Lovelock,

(Unlocking Lovelock, Exposition, 9 April 2014-April 2015, Science Museum)

In memoriam

*Luis y Presen
Antonio y Reme
Luis y Miriam
Simone*



*A Antonio Muñoz, Antonio Serrano y Delphine Ratinet
Nos quedamos tan sólo al inicio de la conversación*

Índice

Tabla de contenido

Índice.....	1
Agradecimientos.....	6
Resumen.....	8
Objetivos, metodología y conclusiones.....	15
Objetivo General:.....	15
Objetivos Generales	15
Objetivos Específicos:	15
Metodología.....	16
Breve resumen basado en objetivos por apartados:.....	18
Bloque 01: Interacción y Construcción de Conocimiento	19
Bloque 02: Arquitectura Relacional	19
Bloque 03: Edificios Inteligentes.....	19
Bloque 04: Habitar Salvaje	19
Bloque 05: Resultados Aplicados	19
Conclusiones.....	20
Introducción.....	21
BLOQUE 01 INTELIGENCIA ARQUITECTÓNICA.....	25
Qué puede hacer la arquitectura.....	25
No hay que ir a por la solución.....	25
Afectar y ser afectado	29
Valores adecuados	30
Etología.....	37
Diversidad	39
Toma de decisiones arquitectónicas	41
BLOQUE 02 ARQUITECTURA RELACIONAL	52
Modos de habitar	52
Separación.....	52
La Etología de Jakob von Uexküll.....	53
Relación entre habitar y técnica	56
Mutaciones	60

Máquinas no triviales.	64
Cibernética, una nueva fuerza para los modos de habitar	69
Hacia una etología de los modos de Habitar	73
Sistemas Complejos.	77
El paradigma de los sistemas complejos	78
Qué es un sistema complejo	79
Los patrones, una forma de entender y trabajar con la complejidad	82
Teoría de patrones de Christopher Alexander.....	84
Patrones generativos.....	87
Reconocimiento de patrones	91
Distinguir, observar e identificar patrones	96
BLOQUE 03 EDIFICIOS INTELIGENTES.....	101
Qué se considera un edificio inteligente	101
Control.....	105
Tecnología y edificios inteligentes.....	106
Entornos Inteligentes o sensorizados	109
Resumen.....	119
Una arquitectura inteligente	120
Los datos del comportamiento de un edificio.....	123
IoT. Cómo procesa un edificio situado su habitar.....	125
Edificios inteligentes. Bases para una aproximación	127
Digitalizar la arquitectura, objetivo de la arquitectura	127
Disponer de modelos computacionales	128
Repensar la arquitectura desde conceptos biológicos	129
¿En qué términos definimos “inteligente”?	131
Edificios e Inteligencia	131
La inteligencia asociada a la movilidad.....	133
El movimiento, solo una forma más de resolver problemas	135
Adaptación, la premisa de la inteligencia. Aprender de los árboles	136
La inteligencia de los seres sensiles	138
IoT, la plataforma desde la que construir un edificio inteligente	143
Introducción.....	143
Tecnología de la construcción vs tecnologías de la comunicación e información ..	144
Visión Orientada de un Ecosistemas IoT	146
Partes de un sistema IoT o IoT ecosystem.....	147
Integración	148

BLOQUE 04. HABITAR SALVAJE	151
Un habitar salvaje.....	151
Habitar	151
De lo salvaje	151
Restricciones.	153
Holobiontes.....	157
Holoedificios y holociudades.....	175
Los edificios entendidos como holobiontes que desarrollan procesos complejos.	175
Hacia un nuevo paradigma para los entornos construidos	183
Información y sistemas físicos, un camino para ampliar el conocimiento	183
Siete variables para un entorno complejo	184
Equipos multidisciplinarios	186
Crisis y cambio de paradigma	187
Sensorizar, o la ampliación de nuestro campo de conocimiento	188
Sistemas complejos y reconocimiento de patrones	189
El reconocimiento de patrones, clave en la definición de (edificio) inteligente.	193
Modelos de conocimiento	198
Modelos de conocimiento y los edificios.....	198
Modelos de conocimiento desde la computación	199
Gemelos virtuales.....	199
Gemelos digitales	200
La construcción de modelos desde los datos: inteligencia artificial	202
Gemelos híbridos o Hybrid Twins.....	205
Modelos digitales, pensamiento abstracto y enfoque transdisciplinar.....	207
Estado de creencia de un sistema o “belif state”.	210
La digitalización amplía nuestra capacidad de detectar patrones y construir nuevos.	211
Las ciudades inteligentes, nuevo modelo de acceso al conocimiento urbano.....	213
Introducción	213
Necesidad de un nuevo modelo	213
Cosmovisiones y cosmotécnicas.	215
Mod(el)os de conocimiento y límites de la computación	218
Nuevos mod(el)os de procesamiento de datos requieren nuevos mod(el)os de representación (de la ciudad)	219
Modelos computacionales.	226
La no correlación lineal entre variables, una muestra de complejidad.....	227
Primeros resultados: CO ₂ , correlaciones no lineales y patrones.	230

Qué medir para construir y profundizar en estos patrones	231
BLOQUE 05. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	233
Sensorizar, una plataforma inteligente para los edificios	234
Desplegar una plataforma IoT, clave en la digitalización de la arquitectura	236
Desarrollo e implementación de la propuesta	252
Internet de las cosas aplicada a los edificios, una factoría de aprendizaje	261
Introducción	261
Edificios y IoT, realidad y oportunidades de desarrollo.	266
Metodología propuesta. IoT como estrategia transversal.....	270
Resultado de implementar un sistema IoT en un campus universitario.....	278
Conclusiones	287
Anexos. Contribuciones	290
Conferencias, charlas y seminarios:.....	290
Organización de Jornadas	291
Edición de en revistas internacionales	291
Publicaciones internacionales	291
Publicaciones nacionales	292
Estancias de investigación	292
Divulgación social	293
Breve conclusión	295
Índice de autores	296
Índice de conceptos	298
BIBLIOGRAFÍA	300

Agradecimientos

Estudiar arquitectura es, para mí, un viaje vital. Significa un intento, quizás quimérico, de entender cómo vives, con quién y dónde lo haces. Así, quizás también pueda surgir un para qué.

Este viaje vital no tiene sentido sin todos aquellos que dedicaron su vida a proponer conceptos y desarrollarlos. Desde Lucrecio, Spinoza y Deleuze, la lista es larga. Reconoces su valor por su apuesta vital y su pasión extrema. Tenemos la suerte de que dejaron palabras con las que aprender de ellos.

Una tesis como esta es también un momento de recapitulación y agradecimientos. Será una lista extensa por lo que me siento afortunado. Debo tanto a aquellos que compartieron sin reservas su conocimiento como a todas aquellas que han enriquecido mi vida.

Paco Martínez, Juan Lladó, José María Marín, Manolo Doblaré, Javier Domínguez, Carlos Chocarro e Ignacio Borrego fueron mis profesores, de los que aprendí fuera y dentro de las aulas. Justifican tantos años de ingeniería y arquitectura.

José Ángel Castellanos y José Antonio Yagüe, directores de la EINA han confiado en mi trabajo para planificar y pensar el futuro del Campus Río Ebro y sus edificios. Les debo en parte las ideas de esta tesis pero, sobre todo, haber aprendido a gestionar con perseverancia, tomar decisiones con meditación y asumir que los riesgos son necesarios para cambiar el rumbo de las cosas. Ángel Pueyo, Vicerrector de Planificación, Sostenibilidad e Infraestructura de la Universidad de Zaragoza entendió el sentido de sensorizar los campus, apoyando activamente esta estrategia hasta convertirse en SensoUZ. Salvador Nevot, como Director de Secretariado de Planificación, tiene mucho que ver en ese apoyo.

Mi estimada Administradora de la EINA, Soledad Pérez, que me ha hecho madurar como persona, mostrándome que el servicio público en la universidad es una de las mejores maneras de mejorar el futuro.

Con Javier Domínguez, Beatriz Rodríguez y José María Pérez, alcance mi sueño de construir aquello que proyectas. Sin ese aprendizaje en proyectar edificios, nada de lo escrito aquí hubiese sido posible. Pierre y Cécile Ratinet, Marine y Valentine Martin de Frémont ampliaron mi visión del mundo, para constatar que no podría estar muy lejos de la tierra a la que pertenezco. El Turbón y San Caprasio son referencias inhabitadas y solitarias que, en mi caso, subo reiteradamente para aprender cómo habitar y (con)vivir cuando vuelvo. Pablo Ballabriga me ha transmitido con su imparable impulso que la edad no está reñida con seguir avanzando en los proyectos en los que crees. Ricardo Marco me abrió la puerta del COAA y de su gran biblioteca además de su pasión por la arquitectura. Elena Acosta y Juan Diego Parra, con su generosa invitación para dar una conferencia y varios seminarios en Medellín, hicieron posible profundizar en el estudio de la filosofía. A su vez, Julia Urabayen con su invitación a la UNAV para hablar de inteligencia artificial y publicar en varios de sus libros y textos sobre edificios inteligentes, hicieron posible avanzar en partes de este texto.

Manolo Silva me regaló varias conversaciones sobre la técnica que abrieron nuevas rutas en mi pensamiento. Incluso en el momento trágico de su fallecimiento pudo ayudarme, sobre su escritorio estaba “La vida secreta de los árboles”, lectura que sirvió para cambiar mi perspectiva sobre la inteligencia de los seres vivos. Paco Serón ha dedicado parte de su tiempo a instruirme en la importancia de la investigación, la gestión universitaria y el espíritu crítico. De él he aprendido lo poco que sé de Inteligencia Artificial y él es el primero que me pidió un texto que hablara de arquitectura e inteligencia. De estas conversaciones, nació el impulso de repensar qué es la digitalización en arquitectura y proponer otros caminos.

Nacho Martínez y Roberto Casas confiaron en las primeras ideas sobre la sensorización de edificios, seguirme en la aventura de comprender los entornos arquitectónicos y aprender las valiosas lecciones que nos proporcionan sobre nuestro habitar. Todo el desarrollo aplicado de esta tesis ha salido de las conversaciones y duro trabajo con ellos, del que son sin duda sus máximos autores intelectuales. Sólo ellos dos saben los cientos de horas necesarias de reuniones, gestión, ideación, construcción y mantenimiento para tener una plataforma IoT operativa. Esfuerzo que se ha visto

acompañado por el grupo HowLab y de los integrantes de SensoriZAR, dónde el trabajo de Belén Zalba y Ángel Fernández Cuello han sido fundamentales.

Manuel Matías facilitó un espacio para pensar y escribir en el IFISC de UIB además de interesantes reflexiones sobre IA y biodiversidad. Marisa Ocón me alojó en su casa con vistas a la Tramuntana en la que, rodeado de libros de Aldo Leopold, Isabel Stengers, Arne Naess y Edwar Wilson, salió la idea del habitar salvaje. Aurora Ariño, convirtió el gallinero de su casa en el Turbón en un extraordinario lugar para leer, estudiar, escribir esta tesis y salir a correr por la montaña.

Hay encuentros que se buscan y otros que son fruto de la casualidad. El de Agustí Falcó es de los segundos, y quizás por eso me ha contagiado su amor por las montañas. La distinción experiencial entre los espacios que están domesticados y los que no son uno de los motores de este texto. También entre lo casual, agradecer a María Arobes, librera de La Pantera Rossa, que al regalarme “Seguir con el problema” de Haraway cambio mi perspectiva sobre la Naturaleza.

Juan J. Barriuso y Luis Sánchez me acompañaron en la estrategia arquitectónica de plantar árboles, mirar el campus desde el entorno y sentar las bases para la construcción del proyecto “Dos bosques”. Sus ideas y espíritu recorren transversalmente todo este trabajo. Ellos además fueron los que más me animaron a correr. Estudiar mediante dispositivos IoT los cambios que sobre mi propio cuerpo y metabolismo ha provocado el deporte es una validación directa de que la auto-observación de un sistema sobre sí mismo lo modifica. Nacho Arantegui es el impulso sensible de esa *otra* realidad que jamás podremos medir, pero tan necesaria o más, para construir con la Naturaleza. La experiencia de sumergirte en su obra nos acompañará siempre.

Mi tutora y compañera Belinda López ha sabido orientarme cuando no veía camino. Además, me abrió las puertas de su casa, Construcciones Arquitectónicas, haciendo posible que la investigación y la docencia no fueran por separado y confiando enormemente en que mi trabajo e ideas podían ser de interés en la enseñanza de la arquitectura.

Marta Monzón, Jorge Tárrago y Rafa Herrera invirtieron amablemente su tiempo para redactar los informes del borrador de la tesis que tanto han enriquecido el manuscrito final. Agradecer el trabajo de Carmen Díez y Rai Bambó como directores del programa de doctorado “Nuevos Territorios en la Arquitectura”.

Ahora viene lo difícil ya que con palabras no podré expresar el profundo agradecimiento y deuda vital con José María Castejón, Jorge León y Javier Pérez Herreras. Las conversaciones con ellos son el cuerpo y la base de esta tesis. Sin su generosidad y paciencia con mis ideas y juicios iniciales no hubiera podido avanzar.

Una tesis doctoral requiere tiempo que no dedicas a *otros* por lo que su afecto, amor y presencia se vuelve fundamental. Mi padre Ángel y mi *gaia* Gloria son los cimientos que han permitido mi crecimiento. Mis amigos atemporales, Sergio y Manolo, son la estructura que configura mi forma de ser. Gonzalo, Benjamín, Inma y siempre Mario son refugio cuando lo necesito. Elisa demolió los fantasmas que habitaban en mí. La ininterrumpida conversación con José María nos envuelve, relaciona y reconecta. Javier PH instaló la paz, el sosiego, la confianza y la sabiduría necesaria para llevar a buen fin la construcción. Jorge la exigencia y profundidad sobre lo que se está construyendo. Jesús y Emilio son el piso necesario para avanzar. Ana me recordó que no me alejara de la Tierra y lo salvaje para pensar y así lo hice. Nuria y Ulises y Nikole y Sabina cohabitan conmigo allá donde están. Julia y Oliva constituyen las ventanas por las se ilumina mi ser mostrando un paisaje con futuro abierto. María, mi *oikos*, mi casa, el refugio-hogar sin el que nada tiene demasiado sentido.

Gracias de corazón.

Resumen

Abordar la arquitectura desde la perspectiva de los sistemas complejos es esencial para comprender y gestionar todos los aspectos relacionados con el diseño y la planificación de nuevas edificaciones, intervenciones en edificios existentes y la gestión de entornos construidos. Entender que la arquitectura misma es un sistema compuesto por múltiples subsistemas que se entrelazan para crear un sistema global más complejo de lo que sería la suma de sus componentes individuales, resulta sustancial en el contexto arquitectónico contemporáneo.

El enfoque en el pensamiento sistémico nos invita a explorar y construir una comprensión propia de la complejidad, siempre haciendo hincapié en la importancia de las conexiones entre los sistemas y su entorno, así como en la adopción de una perspectiva holística.

El pensamiento sistémico y de la complejidad nos ayuda a concebir la arquitectura como una red interconectada de sistemas que se adaptan tanto entre sí como a su entorno. Esto nos proporciona criterios para identificar las decisiones, arquitectónicas o no, más relevantes durante el proceso de diseño. Los conceptos de cambio, límite, estructura (organización) y flujo, son fundamentales no solo en sistemas arquitectónicos, sino también en sistemas físicos, biológicos y sociales. Es decir, este enfoque nos permite tanto aprender de los procesos que se dan en los sistemas vivos y geológicos, como reconocer que la construcción comparte estos mismos principios y desarrollos profundos.

En el entorno de enseñanza de la arquitectura, pero también, en un desarrollo profesional colaborativo, adoptar un enfoque sistémico es crucial para establecer críticas constructivas arquitectónicas, así como para establecer criterios de organización de ideas a través de diagramas y documentación gráfica.

El enfoque sistémico también implica una reflexión sobre los objetivos a priori del sistema en su contexto, lo que influye en gran medida en la toma de decisiones. Es decir, es un planteamiento problemático en el sentido que permite desarrollar habilidades para definir los problemas que resuelve cierta arquitectura, y así, evaluar la coherencia de las propuestas. Hace posible analizar diversas perspectivas de manera más neutra y objetiva.

Además, el pensamiento sistémico y de la complejidad nos permite comprender las razones y estrategias detrás de las soluciones propuestas para abordar problemas arquitectónicos. Esta comprensión profunda facilita una gestión eficiente de los cambios que inevitablemente surgen durante el proceso de diseño arquitectónico.

En definitiva, pensar en términos de sistemas es esencial para entender las diversas perspectivas y enfoques de todas las partes involucradas en llevar las ideas arquitectónicas a la realidad de la construcción.

Ver la arquitectura desde la perspectiva de los sistemas complejos resulta esencial para comprender y gestionar los procesos arquitectónicos, tanto los que tienen que ver con el diseño y proyecto de nuevas construcciones, como en las intervenciones en construcciones existentes o la gestión urbana y territorial del entorno urbanizado. Entender que la arquitectura es un sistema de sistemas que se anidan para proporcionar un sistema más amplio, más complejo que la suma de sus componentes, es crucial para abordar el campo de la arquitectura. El pensamiento sistémico invita, a su vez, a que cada uno explore su propia aproximación a la complejidad, identificando los rasgos distintivos del

pensamiento sistémico, entre los que para nosotros destaca el énfasis en las conexiones entre los sistemas que intervienen en un edificio, la transformación de energía y la afección en un medio biológico determinado y concreto.

El pensamiento humano se nutre de percepciones y experiencias para comprender y adaptarse a un entorno en constante cambio que podríamos definir como incierto. Sin embargo, estas interpretaciones son parciales y dependen tanto de nuestros sentidos como de nuestros procesos internos de elaboración del pensamiento. Ambos, tanto el pensamiento arquitectónico como los modelos científicos se construyen a partir de deducciones o inducciones. En el pensamiento constructivo, los datos, signos y señales percibidas se combinan con la experiencia para generar conocimiento. La tecnología despliega una doble dimensión, ya que a la vez que amplía nuestra capacidad de observación también modifica nuestro entorno. Esta doble capacidad de la tecnología no siempre ha sido positiva, en algunas ocasiones ha dado lugar a consecuencias negativas, como la destrucción de hábitats, estrés o pérdida de biodiversidad.

*Identificamos dos cambios fundamentales en el pensamiento occidental entre los siglos XX y XXI. Primero, el **enfoque sistémico y de complejidad** que abarca la interconexión y dependencia entre sí de todos los elementos, sistemas y componentes de los que forma parte la realidad. En estos sistemas, las interacciones en sistemas complejos resultan en patrones y propiedades emergentes, fenómenos intrincados que no pueden atribuirse ni a partes individuales ni a su sumatorio. Es decir, tendencias y regularidades que se repiten, pero que, a su vez, pueden producir fenómenos y comportamiento no previsibles desde sus partes. Dan lugar a la incertidumbre y estados probables, más que certezas. Segundo, el **pensamiento simbiótico** reconceptualiza la relación humana con la naturaleza, destacando la interdependencia y la cooperación y no, como hasta ahora, solo la competitividad evolutiva. Esta convergencia da origen a la cultura del Antropoceno¹ y al Cambio Climático, donde la actividad humana moldea la Tierra a medida que la evolución terrestre condiciona, a su vez, la de la humanidad.*

*La Teoría de los Sistemas Complejos, aplicada en biología y física, también puede entenderse en el estudio de ciudades y edificios. Todo sistema complejo tiene un fin, un objetivo. Identificar el objetivo es pues, prioritario. **Hemos identificado que el objetivo de la arquitectura es habitar, dar habitación.** A su vez, hemos definido habitar como un proceso en un contexto —físico y cultural—, concreto y único, en constante evolución, pero en el que podemos detectar reiteraciones, que se manifiestan en forma de patrones con el que el ser humano se adapta y adapta al medio. Es la manera en que los humanos están en el mundo. La arquitectura, es así la resultante física del proceso emergente, de cómo los humanos habitan con el mundo, de cómo se imbrican e interrelacionan en la Tierra. La arquitectura, como creación humana, se entrelaza con otros sistemas y puede ser*

¹Aunque el pasado 4 de marzo de 2024 la “The Subcommission on Quaternary Stratigraphy (SQS)”, organismo constituyente para de la “International Commission on Stratigraphy (ICS)” de la “International Union of Geological Sciences (IUGS)” que trabaja para el establecimiento de las escalas geológicas globales y la publicación de un marco global de correlaciones temporales, su unificación y definición, ha rechazado que en términos geológicos no se pueda dar por terminado Holoceno, seguiremos utilizando la propuesta del químico atmosférico Paul Crutzen y el biólogo Eugen Stoermer en el año 2000. Más allá de un nuevo nombre, el concepto de Antropoceno se presenta como una nueva comprensión de la Tierra, como un sistema complejo autorregulado, que integra distintos sistemas que se estudian por separado (atmósfera, hidrosfera, biosfera y tecnosfera) los fenómenos emergentes fruto de sus interrelaciones.

simbiótica, como lo son también las arquitecturas no-humanas, es decir, las desplegadas por especies sociales como termitas y hormigas, que también se adaptan y, a su vez, adaptan y construyen su entorno.

Establecer el habitar como un proceso, es incidir en las secuencias o acciones que se llevan a cabo de forma sistemática para alcanzar un objetivo/fin específico. Pero va más allá. Para Whitehead, no solo nos indican pasos o caminos necesarios, sino que “proceso” se considera la entidad básica y fundamental de la realidad, formada como una red interconectada en constante cambio. Así, habitar como proceso estaría formado por eventos dinámicos, no aislados, (inter)conectados por relaciones y dependencias entre sí. Desde este enfoque, cada proceso se puede manifestar como único y autónomo, pero todos están conectados en una red de procesos interdependientes que conforman la realidad. Es decir, desde este enfoque, los edificios y ciudades son la manifestación del proceso de habitar, y no un objeto estático en un medio (neutro).

En este contexto, el proceso de habitar se destaca como una manifestación de la arquitectura en respuesta al entorno, en el que la adaptación térmica y las interacciones con el medio, son esenciales. Este medio es comprendido de manera amplia, incluyendo la geosfera, la biosfera y la tecnosfera, es decir, el medio físico, vivo y humano modelados por la técnica, que plantea desafíos propios del Antropoceno, en el que habitar en el escenario post pandémico, de cambio climático y de pérdida de biodiversidad, son sus desafíos fundamentales.

Identificar patrones en los procesos que conforman los sistemas complejos es crucial para comprenderlos. Actualmente, la tecnología ha ampliado esta capacidad exponencialmente, permitiendo analizar, modelizar y simular estos fenómenos.

Edificio inteligentes

En el contexto de la arquitectura contemporánea, la implementación de tecnologías de la información y comunicación (TIC), junto con la inteligencia artificial (IA), ha dado lugar al concepto de digitalización en la arquitectura, siendo los edificios inteligentes su máxima expresión. Estos edificios incorporan tecnologías avanzadas que les permiten responder de manera autónoma a las necesidades cambiantes. La definición de inteligencia, —qué es ser “inteligente”—, plantea grandes desafíos tanto a la humanidad como a la neurociencia y a la computación. Aquí se propone una redefinición del término “inteligente”, partiendo de investigaciones en sistemas IA, en biología y en sistemas vegetales, que enlaza tanto con los modelos de lenguaje de gran tamaño (en inglés: LLM, Larga Language Models) aplicados en AI como con la ecología profunda, tratando de evitar entrar en qué es la conciencia o el problema difícil (Stoppard, 2015). La amplia discusión sobre la inteligencia de las plantas ha sido utilizada en esta redefinición, destacando la similitud entre las características de los vegetales y los edificios: sistemas con poca movilidad, operación en red, adquisición local de energía y carencia de consciencia centralizada.

Este enfoque sobre los edificios inteligentes propone una arquitectura que va más allá de la toma de decisiones autónomas, promoviendo el enriquecimiento del conocimiento arquitectónico de los edificios. Se busca entender el comportamiento de los edificios en su totalidad, incluyendo la envolvente, su configuración, uso e instalaciones; y extrapolar este

conocimiento a otros diseños. Christopher Alexander propuso que los procesos habitacionales en la arquitectura se manifiestan en forma de patrones básicamente formales. Sin embargo, nuestra hipótesis es que las formas identifican cómo habita el ser humano, resultante de cómo entiende (y, por lo tanto, cómo se relaciona) el ser humano el medio en el que construye. A su vez, esta cosmovisión está muy condicionada por la energía y la tecnología que dispone. Así, la adquisición de patrones de comportamiento que caracterizan este proceso es esencial para lograr una arquitectura inteligente.

Habitar Salvaje

Antes de desplegar un sistema inteligente, desde la lógica deductiva, hemos utilizado las leyes de la termodinámica para inferir que todo edificio, es, al menos, un procesador energético. Hemos inferido “abductivamente” siete factores claves para definir el comportamiento de los edificios y sus habitantes desde métodos inductivos. También hemos utilizado la abducción para inferir y construir un objetivo: una nueva forma de conceptualizar el habitar, al que, por contraste con el actual civilizado —domesticado—, hemos denominado “**habitar salvaje**”. El objetivo, es demostrar que la extracción de conclusiones arquitectónicas de estos análisis, sigue siendo, desde nuestro planteamiento, estrictamente humano. Y, por lo tanto, una de las labores ineludibles del arquitecto en la cultura de la tecnosfera es conocer cómo obtener patrones de comportamiento de los edificios y sus habitantes en un medio determinado con los que aumentar el conocimiento y la cultura arquitectónica y urbana.

Digitalización e IoT en la Arquitectura

En una aproximación científico-técnica de la digitalización, y a través de la sensorización,, la construcción de estos patrones implica la recopilación de datos sobre fenómenos y eventos en los edificios. La tecnología de Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una solución coste-efectiva adecuada para la obtención de datos en tiempo real. Estos datos son procesados, almacenados y analizados para conocer, modelar y simular el comportamiento de los edificios y sus usuarios. En definitiva, esta aproximación permite generar conocimiento arquitectónico sobre los procesos que tienen lugar en el entorno construido (sistema complejo) en el que se despliega el habitar.

Para comprender el comportamiento de un edificio es necesario identificar patrones, estudiar qué podemos medir, con qué y cómo transmitimos los datos y cómo y para qué los almacenamos. Ello precisa del despliegue de una plataforma digital o ecosistema técnico.

El diseño y puesta en marcha de esta plataforma digital, denominada SensoriZAR, se ha realizado durante el desarrollo de esta investigación y constituye un primer resultado práctico de la misma. La plataforma se ha integrado en el Campus Inteligente de la Universidad de Zaragoza (SensoUZ) y ha demostrado su eficacia en la monitorización del consumo de energía y CO₂, contribuyendo a la estrategia de sostenibilidad (E. Cano-Suñén et al., 2023; García-Monge et al., 2023; Martínez et al., 2021).

Es importante señalar que para evaluar la idoneidad de una estrategia hay que plantear cuáles son sus objetivos, qué datos y métricas son más relevantes, cómo transformar datos en información y cuáles son los procesos medibles. Estos procesos propios del pensamiento humano no son sustituibles por la Inteligencia Artificial, ya que implicaría que

la IA es capaz de alcanzar la IAG (Inteligencia Artificial General). Para la arquitectura y el urbanismo esto tiene una relevancia fundamental: indica qué tareas pueden ser sustituidas por medio de la digitalización y cuáles son inherentes y fundamentales para el pensamiento arquitectónico.

Inteligencia y abducción

En contextos como el de la arquitectura, donde la información puede ser incompleta o ambigua —compleja—, muchas las interconexiones que definen el problema y, en ausencia de leyes universales, es necesario establecer hipótesis, decisiones o explicaciones posibles para un conjunto de datos.

Desde la lógica del conocimiento propuesta por Charles Sanders Peirce, no es suficiente con disponer de deducciones (leyes construidas desde la lógica) e inducciones (probabilidad de los fenómenos desde la observación) para comprender un sistema.

Para Peirce, esto solo era posible definiendo un nuevo proceso de pensamiento, a la que denominó “inferencia abductiva”, capaz de generar explicaciones plausibles en situaciones de incertidumbre. La creatividad y la innovación, es decir, la capacidad de la imaginación para elaborar hipótesis es clave en este proceso; especialmente cuando se trata de fenómenos en los que múltiples factores pueden estar en juego. A su vez, la abducción es un proceso iterativo en el que se generan y evalúan varias hipótesis antes de llegar a una explicación satisfactoria. La inferencia abductiva es altamente contextual porque se adapta y se basa en la información, las condiciones y el conocimiento específicos de un contexto dado. Al no contar con una teoría sólida de cómo se produce la abducción, tampoco puede disponerse de modelos para la simulación abductiva. En este sentido, no es posible emular la inteligencia, por lo que se debe ser cautos y prudentes acerca de las expectativas y límites de la IA en general, y de su aplicación en arquitectura y urbanismo, en particular.

Inicialmente, la búsqueda de una IA que pudiera ser capaz no sólo de gestionar un edificio “inteligente” sino de diseñarlo, se planteó desde la lógica deductiva, y terminó en fracaso. Actualmente, todo el desarrollo de la IA se basa en procesos probabilísticos inductivos, impulsada por la red, el big data y las altas capacidades de computación. Sin embargo, ningún algoritmo es capaz de captar la abducción, fundamental en cualquier proceso creativo. Por lo tanto, no puede ser capaz tampoco de sustituir el pensamiento arquitectónico.

SensoriZAR, una plataforma para un campus universitario

La implementación de ecosistemas de IoT es clave en la monitorización y sensorización de los entornos construidos. No solo contribuye a mejorar la eficiencia energética y la calidad del aire interior, sino que también proporciona información valiosa para la toma de decisiones informadas en la arquitectura. Nuestro objetivo es que estas decisiones estén fundadas en la consecución de un habitar más conectado con el medio, objetivo ineludible para revertir el actual proceso de destrucción de nuestras condiciones de habitabilidad. Estos ecosistemas IoT llenan la brecha entre las simulaciones teóricas y las mediciones reales, y son básicas para combinar enfoques lógicos actuales y probabilísticos. No sólo superan desafíos relacionados con la variabilidad de uso, características de construcción,

ubicación y contexto ambiental, sino que nos permiten escapar de planteamientos basados en estrategias vigesimonónicas del aislamiento arquitectónico y el control ingenieril.

Para llevar de forma efectiva estos sistemas a la práctica, la metodología propuesta no sólo se centra en los aspectos técnicos, sino que también enfatiza la apertura, modularidad e interoperabilidad de los ecosistemas de IoT. Esto permite compartir datos y colaborar entre la comunidad científica y la industria, fomentando la innovación y la investigación. Además, estos ecosistemas son esenciales para comprender la complejidad del entorno construido, adaptando la arquitectura a las condiciones reales.

Resumen final

En definitiva, hemos explorado la integración de conceptos de inteligencia artificial y sistemas complejos en la arquitectura, especialmente en relación con edificios inteligentes. Hemos considerado cómo los patrones de comportamiento, la sensorización y los modelos computacionales pueden contribuir a la toma de decisiones autónomas de los edificios, así como a la comprensión y optimización de su funcionamiento en tiempo real. Pero, sobre todo, nuestra propuesta propone generar nuevo conocimiento arquitectónico explorando la interrelación entre los entornos construidos, el comportamiento humano y el medio ambiente en el que habitamos.

En general, hemos tratado de realizar un análisis profundo y multidisciplinar que pretende integrar la tecnología, la ciencia de sistemas complejos, la ecología profunda, el contexto cultural contemporáneo y la inteligencia artificial para mejorar la comprensión, el diseño y el funcionamiento de los edificios en el entorno construido. A esta ambición la hemos denominado habitar salvaje.

Objetivos, metodología y conclusiones

Objetivo General:

Investigar cómo los edificios inteligentes no solo representan avances tecnológicos en términos de control y eficiencia, sino también cómo estos pueden integrarse en un nuevo paradigma arquitectónico derivado de un cambio de posición del ser humano en la Naturaleza, que promueve relaciones no extractivas y simbióticas con la naturaleza, mejorando la manera en que los seres humanos habitan con la Tierra.

Objetivos Generales

- **Redefinir el Concepto de Edificios Inteligentes:**
Proponer que los edificios inteligentes no solo se centran en la tecnología para el control y la eficiencia, sino que también deben ser considerados como parte de un sistema complejo que incluye aspectos culturales, sociales y ecológicos.
- **Explorar la Interacción Humana con Edificios Inteligentes:**
Analizar cómo las personas interactúan con edificios inteligentes y cómo estas interacciones pueden afectar y ser afectadas por los sistemas técnicos y el entorno natural a través de patrones.
- **Desarrollar el Concepto de "Habitar Salvaje":**
Introducir y definir el concepto de "habitar salvaje", que implica una relación no extractiva y simbiótica con la naturaleza utilizando tecnologías avanzadas y pensamiento arquitectónico.
- **Proponer una nueva forma de entender la Arquitectura (inteligente) en la era del Antropoceno y la Tecnosfera**
Plantear estrategias y actitudes de diseño arquitectónico que respondan a las demandas de una sociedad tecno-industrial, utilizando enfoques dinámicos y adaptativos.
- **Implementar Tecnologías IoT y AI en la Arquitectura:**
Investigar y aplicar tecnologías de IoT y AI para sensorizar entornos construidos, identificar patrones de comportamiento y mejorar el conocimiento arquitectónico

Objetivos Específicos:

- Examinar la teoría de la complejidad y la teoría de los sistemas simbióticos para entender cómo estos enfoques pueden influir en el diseño y la percepción de los edificios (inteligentes).
- Identificar patrones de comportamiento en los edificios mediante el uso de tecnologías IoT y AI para mejorar la habitabilidad y la interacción con el entorno.
- Proponer un nuevo paradigma de "habitar salvaje" que utiliza la tecnología para generar modos de habitar simbióticos y afectivos del ser humano con el medio ambiente.

- Desarrollar una plataforma inteligente para edificios (Smart Building Environment) para el edificio Ada Byron (UZ-EINA) que permita una mejor comprensión y gestión de los entornos construidos y sus interacciones con sus habitantes y la naturaleza.

Metodología

Diseño de la Investigación

La metodología de esta tesis se basa en la combinación de revisión de literatura, análisis de fuentes primarias y secundarias, y la implementación práctica de conceptos teóricos en un entorno real. El objetivo es integrar enfoques humanísticos, arquitectónicos y técnicos en el estudio de los edificios inteligentes, enfocándose en cómo estos pueden promover modos de habitar simbióticos con el medio ambiente.

Revisión de Literatura

Revisión de Textos:

- **Objetivo:** Comprender el estado del arte en el campo de los edificios inteligentes, teorías de la complejidad, y teorías de sistemas simbióticos.
- **Fuentes Primarias y Secundarias:** Se han analizado libros, artículos académicos, informes técnicos y estudios de casos.
- **Conceptos Clave:**
 - **Umwelt de Uexküll:** Exploración del concepto de entorno percepción, cómo los individuos perciben e interactúan con su ambiente inmediato. Formular una etología de la arquitectura (inteligente)
 - **Afectar y Ser Afectado de Spinoza:** Estudio de cómo los edificios inteligentes no solo impactan a sus habitantes, sino también cómo estos espacios son afectados por las acciones y emociones de las personas, promoviendo una relación dinámica y bidireccional.
 - **Devenir y Mutación de Deleuze:** Análisis de cómo los edificios (inteligentes) pueden evolucionar generar un nuevo de habitar en respuesta a entornos cambiantes y contextos dinámicos.
 - **Simbiosis de Lynn Margulis:** Examen de cómo las relaciones simbióticas pueden ser fomentadas entre los habitantes, los entornos construidos y
 - **Internet de las Cosas (IoT)** en edificios muestra el IoT como una estrategia clave para mejorar conocimiento operativo en edificios en una situación en particular, y el conocimiento arquitectónico en general.
- **Proceso:**
 - Identificación de palabras clave y términos de búsqueda relacionados con edificios inteligentes, teoría de la complejidad, y sistemas simbióticos.
 - Revisión sistemática de bases de datos académicas y bibliotecas digitales.
 - Análisis crítico y síntesis de la información encontrada para identificar tendencias, vacíos y oportunidades en la investigación actual.

Formulación de Hipótesis

Hipótesis de "Modos de Habitar" y "Habitar Salvaje":

- **Modos de Habitar:** Se explora cómo la tecnología puede cambiar las necesidades culturales, sociales y personales en el proceso de habitar.
- **Habitar Salvaje:** Se investiga cómo los edificios inteligentes pueden fomentar una relación simbiótica con la naturaleza, en un enfoque ecológico y ético.

Desarrollo de las Hipótesis:

- **Definición y Contextualización:** Basándose en la revisión de la literatura, se definieron los conceptos de "modos de habitar" y "habitar salvaje" y se contextualizaron en el ámbito de una arquitectura digitalizada.
- **Diseño de Modelos Conceptuales:** Se propone un modelo conceptual que avance desde los modos de habitar hacia un habitar salvaje.

Implementación en un Entorno Real

Plataforma IoT en el Edificio Ada Byron de la EINA, Universidad de Zaragoza:

- **Objetivo:** Implementar y evaluar las hipótesis de "modos de habitar" y "habitar salvaje" en un entorno construido utilizando tecnologías IoT.
- **Entorno:** El edificio Ada Byron de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) en la Universidad de Zaragoza.

Desarrollo e Implementación de la Plataforma IoT:

- **Diseño de la Plataforma:**
 - Selección de sensores y dispositivos IoT para monitorear y controlar diversos aspectos del edificio (temperatura, iluminación, calidad del aire, etc.).
 - Desarrollo de software para la recolección, análisis y visualización de datos.
- **Despliegue:**
 - Identificación "inteligentes" de los parámetros a sensorizar en función de múltiples parámetros.
 - Instalación de sensores y dispositivos IoT en el edificio Ada Byron.
 - Configuración de la red IoT y la integración de los dispositivos con la plataforma de análisis de datos.

Recolección y Análisis de Datos:

- **Datos Recogidos:**
 - Datos de sensores (temperatura, humedad, iluminación, consumo de energía, etc.).
- **Métodos de Análisis:**
 - **Cuantitativo:** Análisis estadístico de los datos recogidos por los sensores utilizando software como SPSS y Matlab para identificar patrones y correlaciones.
 - **Cualitativo:** Análisis de los patrones de comportamiento en fusión de la experiencia y conocimiento arquitectónico para obtener conclusiones de cómo se habita el edificio.

- **Triangulación:** Integración de los resultados cuantitativos y cualitativos para obtener una visión comprensiva de cómo los edificios (inteligentes) digitalizado pueden fomentar modos de habitar simbióticos con la naturaleza.

Limitaciones de la Metodología:

- **Generalización:** se defiende que los resultados obtenidos en el edificio Ada Byron pueden no ser directamente generalizables (conocimiento situado) a otros contextos debido a las características específicas del entorno.
- **Bias del Investigador:** Las interpretaciones de los datos cualitativos pueden y están sujetas a sesgos de la experiencia y el conocimiento del investigador.

Resumen de la Metodología: La metodología combina revisión de literatura, formulación de hipótesis y su implementación práctica mediante una plataforma IoT en un entorno universitario. Esta metodología permite una comprensión integral de cómo los edificios (inteligentes) digitalizados pueden promover modos de habitar simbióticos y ecológicos, integrando perspectivas humanísticas, arquitectónicas y técnicas.

Relevancia para la Investigación: Este enfoque metodológico proporciona una base robusta para explorar nuevas formas de diseño y gestión de edificios digitalizados (inteligentes), con implicaciones prácticas tanto para arquitectos como para investigadores de otros campos, desde la sociología a las tecnologías de las telecomunicaciones y la información.

Breve resumen basado en objetivos por apartados:

El pensamiento constructivo implica que todo nuestro conocimiento de la naturaleza se desarrolla a partir de experiencias y percepciones. En otras palabras, el conocimiento depende de las fuerzas que interactúan y de las capacidades disponibles para intervenir, observar y detectar. Estos campos de fuerza o paradigmas pueden generar nuevos compuestos y relaciones.

El paradigma de la complejidad, el cambio de posición del ser humano en relación con el mundo, y la emergencia de la inteligencia artificial son fuerzas que transforman nuestra comprensión de la naturaleza. La teoría de la complejidad desafía la física newtoniana mecanicista al proponer un mundo indeterminado, no lineal y retroalimentado, donde el comportamiento del todo no se puede predecir desde las partes. Por otro lado, la teoría de los sistemas simbióticos y autopoieticos cuestiona el paradigma competitivo y darwinista, enfatizando la cooperación, la interdependencia y la autoorganización como fundamentales para la evolución biológica.

Los algoritmos generativos desafían la exclusividad humana en la producción creativa, ofreciendo capacidades para explorar posibilidades y manejar grandes volúmenes de datos, lo que representa un conocimiento informático dinámico y adaptativo frente a los sistemas técnicos tradicionales.

Finalmente, el Antropoceno marca un cambio radical en la percepción humana de la Tierra, llevándonos de ser el centro y beneficiarios a entender nuestra interconexión inextricable con la evolución planetaria y la habitabilidad global, especialmente en el contexto del cambio climático.

Bloque 01: Interacción y Construcción de Conocimiento

Según Deleuze, los humanos evolucionamos mediante la interacción con nuevas ideas y conceptos. Los sistemas de IoT basados en IA podrían ofrecer una nueva formas de relación con la naturaleza al proporcionar información sobre cómo habitamos. La arquitectura emerge como fenómeno complejo en el proceso de habitar humano, influenciado por el entorno. La teoría del Umwelt (Uexküll) muestra cómo todas las especies interactúan con su entorno según sus percepciones, afectando y siendo afectadas por el medio y otras especies, lo que resulta crucial para analizar el proceso de habitar.

El análisis de estas interacciones, guiada por la teoría de los afectos de Spinoza, se ha considerado fundamental para potenciar un “habitar salvaje” a través de la arquitectura, identificando qué relaciones pueden fortalecerlo.

Bloque 02: Arquitectura Relacional

Diferentes culturas y tecnologías configuran modos distintos de habitar, redefiniendo nuestra relación con la naturaleza. El concepto de "Habitar Salvaje" propone una forma simbiótica y respetuosa de relacionarse con el entorno, opuesta a la dominación y propiedad.

Las ciudades y edificios se consideran sistemas complejos donde las relaciones y el entorno son más importantes que la suma de sus partes. Los patrones, como los propuestos por Christopher Alexander, son manifestaciones de comportamientos complejos que requieren una comprensión realista y constructiva para aplicar tecnologías como IoT y AI en la identificación y uso de patrones arquitectónicos.

Sin embargo, los patrones de Alexander se consideran manifestaciones de leyes absolutas, que entendidas, darían lugar a patrones de diseño universales. Los patrones propuestos por Alexander, a su utilización en la informática, no son los patrones que manifiestan los sistemas complejos según nuestra aproximación.

Bloque 03: Edificios Inteligentes

Se critican las definiciones tradicionales de edificios inteligentes centradas en control y eficiencia. Según la etología propuesta, se sugiere sensorizar siete entornos clave para comprender cómo interactúan las personas y los edificios con su entorno.

Bloque 04: Habitar Salvaje

El concepto de "Habitar Salvaje", basado en Aldo Leopold, propone una respuesta inteligente y holística a los desafíos contemporáneos. Se enfatiza la multiplicidad y la simbiosis en lugar del individualismo, ampliando el conocimiento arquitectónico a través de un enfoque abductivo y transdisciplinario.

Bloque 05: Resultados Aplicados

Se presentan resultados prácticos de la investigación, incluyendo la creación de una Plataforma IoT operativa que proporciona información y conocimiento arquitectónico sobre el comportamiento humano, edificios y entornos biológicos en respuesta a cambios ambientales.

Conclusiones

Impacto de los Nuevos Paradigmas en el Conocimiento de la Naturaleza:

La evolución del pensamiento constructivo bajo la influencia de paradigmas como la complejidad, los sistemas simbióticos, y la inteligencia artificial redefine nuestra comprensión de la naturaleza. Estos paradigmas repiensan las concepciones tradicionales, como la física newtoniana y el darwinismo, al considerar la hipótesis de Gaia, la simbiosis y los holobiontes.

Arquitectura y Habitar Humano:

La arquitectura emerge como un fenómeno complejo influenciado por el entorno y las interacciones humanas. El concepto de "Habitar Salvaje", basado en la Ética de Spinoza, el Devenir de Gilles Deleuze y la ecología de Aldo Leopold, propone un enfoque simbiótico y relacional hacia la naturaleza, que cuestiona las prácticas extractivas y dominantes. Esto sugiere un replanteamiento fundamental de cómo los humanos se relacionan con su entorno construido y natural. La toma de decisiones arquitectónicas responde a un proceso inferencial abductivo (Charles S. Peirce) que no puede ser ni delegado ni asumido por los sistemas inteligentes. Este proceso de ideación, se basa en la experiencia (directa con la Tierra) y el conocimiento.

Edificios Inteligentes y Tecnologías Emergentes:

La crítica a las definiciones tradicionales de edificios inteligentes revela un enfoque predominante en el control y la eficiencia, contrastando con la propuesta de una etología que enfatiza la sensorización de múltiples entornos (construido, computacional, biológico, etc.). La integración de IoT y la inteligencia artificial promueve la lectura y generación de patrones arquitectónicos adaptativos y contextuales, apoyando así el concepto de habitar de manera inteligente y ecológica.

Aplicaciones Prácticas y Resultados de Investigación:

La implementación de una plataforma IoT operativa, conocida como Smart Building Environment para el Campus Río Ebro, evidencia un avance significativo en la comprensión y gestión de comportamientos humanos, edificios y entornos biológicos frente a cambios ambientales. Estos resultados no solo validan teóricamente los conceptos discutidos, sino que también ofrecen perspectivas para mejorar la habitabilidad urbana y universitaria mediante tecnologías avanzadas y un enfoque holístico.

En resumen, este trabajo doctoral presentado no solo propone nuevas formas de entender la relación entre humanos, no-humanos, naturaleza y tecnología, sino que también proporciona bases prácticas para la implementación de entornos construidos más inteligentes y ecológicos en el contexto contemporáneo.

Introducción

Nos encontramos ante un cambio de mirada en el que hemos (re)descubierto que el mundo, en realidad, ni es nuestro, ni está hecho para nosotros, sino que pertenecemos a él. La arquitectura, como proceso en el que habitamos con la Tierra, se ajustará a esta mirada. Es más, reconoceremos este cambio de enfoque a través de ella.

La arquitectura debe servir a lo que sucede. Lo hemos definido como “habitar salvaje” — una manera de nombrar lo que vamos a decir—, como un nuevo habitar. No salvaje en el sentido de contrario a civilizado, sino salvaje como *no* domesticado. Generativo en el sentido de propuesta de una relación distinta con la naturaleza. Es un cambio de dominio, una razón nueva. Esta aproximación establece como premisa entender las variaciones fundamentales en las relaciones entre lo humano, lo no-humano y la Tierra.

La arquitectura es relacional, es la manera en la que los seres humanos habitamos en el mundo. Habitamos un mundo finito, extraordinariamente alejado de cualquier otro mundo, en el que los medios científico-técnicos nos han mostrado la excepcionalidad de la biosfera, pero también su tamaño infinitesimal en términos cosmológicos, a la vez que una riqueza y diversidad infinita en términos biológicos. Lejos de descubrir nuevos mundos para extender el dominio humano sobre la galaxia, el s. XX nos ha mostrado los límites y las intrincadas interdependencias inscritas en la complejidad de la vida. La arquitectura, refleja esta realidad: (con)vivir con el medio. Podemos pensar que estamos atrapados y enfrentados, continuando con la arquitectura de destrucción, extractiva y de aislamiento radical del medio que permite la vida; o bien pensar en la condición de mediación de la arquitectura con el medio, la que habita el mundo, pero en el sentido de pertenencia, y no de dominio.

De un habitar *en nuestro* ambiente, pasando por el ser humano **en** el ambiente, hemos vuelto a (re)encontrarnos con Dioniso: habitamos **con** el ambiente.

Los conocimientos sobre la naturaleza, las investigaciones y la red de sensores que nos informan sobre los entornos biológicos y construidos no son suficientes para conocer la totalidad del misterio, la profundidad y las intrincadas interrelaciones de la vida. Sin embargo, sí son una invitación para incorporarnos al medio desde su conocimiento. Los datos nos proporcionan infinidad de información sobre nosotros, sobre nuestras maquinas, pero también sobre el mundo, entendiéndolo “mejor”. Es dudoso que este conocimiento sea más profundo si se utiliza para el control y la posesión. Es la lógica del jardinero de Voltaire —*Il faut cultiver notre jardin*— que tanto enojaba a Lovelock: entender no es poseer, es conocer los eventos para sumarnos a ellos.

La arquitectura es memoria viva —anónima, colectiva— de cómo los humanos habitamos y nos relacionamos con el medio. Deja huellas de lo que sucede en cada tiempo para cada lugar. Sintetiza materialmente el sistema de pensamiento en el que emerge, refleja las jerarquías entre los humanos y cómo entendemos la Naturaleza. Sabemos que no estamos ni somos seres aislados. Formamos parte de una red. Para responder a su tiempo, la arquitectura genera nuevos pensamientos arquitectónicos. ¿Cómo forma parte de este mundo, de esta nueva cosmovisión del ser humano y de la Tierra?, ¿cómo reconocer qué arquitecturas forman parte y cuáles no? En otras palabras, cómo identificamos aquella arquitectura que se crea pensando que somos parte (*De-méter*) y cuáles (a modo *pro-*

meteico) que aún lo hacen pensado en ser la especie privilegiada de los dioses y que la Tierra nos pertenece.

Reconocemos que, pese a todo, el ser humano, quiere trascender a su tiempo, a su pertenencia al medio, al evento, a esa cadena de acontecimientos que implican tanto lo que sucede como el modo en el que sucede. La arquitectura es un medio para que exista huella humana más allá de nuestra condición finita.

Para la ciencia, todo aquello que no se puede medir no existe. El sistema de pensamiento científico sólo es uno de los muchos modos con los que los seres humanos pensamos el mundo, pero se ha convertido en un imperativo de la *Verdad*. Para alcanzar certezas, el método científico procede por medio de la separación, aislando el objeto de estudio de su entorno y fraccionándolo en componentes más pequeños. De cada estudio se extrae una conclusión específica para cada problema planteado. Al final de este proceso, el método científico esperaría una síntesis global que reuniera todas las conclusiones. Esto se ha visto que no siempre sucede. Un punto de vista diferente lo aporta Peirce afirmando que el pensamiento científico comienza con la intuición humana. Él afirma que la intuición es un proceso que no se puede entender desde la separación ni desde la reducción. Es decir, el impulso de la ciencia de hacerse preguntas, buscar qué objetivos y para qué fines, es inaprensible para la ciencia misma. Por la misma razón, la intuición es también básica en los procesos de diseño arquitectónico.

Esta intuición es la que nos hace consciente de este nuevo mundo que ya no es igual que los anteriores, en el que hay tanto cambio de valores como de relaciones. Reconocer estas relaciones que emergen y se manifiestan en patrones genera nuevo conocimiento. Estas lógicas de hibridación entre el mundo que me pertenece y al que, al mismo tiempo, pertenecemos, dan lugar a nuevas arquitecturas. Dicho de otra manera, no se trata, a la manera de sistemas anteriores, de proponer una nueva arquitectura, sino de ser agente que reconoce la nueva condición y promueve el cambio a través del conocimiento. Provocar cambios, partir de la hibridación para convivir, pertenecer, estar en bienestar y alegría *con* el mundo, es para nosotros, una manera spinozista de habitar.

Esta arquitectura pertenece a los que se enfrentan a la condición relacional e informacional que genera la red y las nuevas lógicas simbióticas. Se trata de hablar de cuantas nuevas relaciones, especies, hibridaciones se pueden anudar, construir y generar con esta nueva información. Frente a usar más información para perpetuar lógicas, que, en definitiva, presentan limitaciones insalvables, se trata de extender y tejer nuevas formas de habitar.

¿Quién teje?, ¿qué personajes están concernidos, aquellos que trabajan con la información o aquellos que la generan?, ¿son los expertos en sensores, Big Data, IoT, AI?, ¿podemos esperar que sean los biólogos, los filósofos, los informáticos quienes van a tejer los nuevos conocimientos para generar arquitecturas que asuman esta condición relacional e informada? Evidentemente, los biólogos señalarán e identificarán nuevas interdependencias ecológicas; los filósofos nuevas consecuencias y retos que suponen los desafíos de vivir sabidos limitados y confinados; los informáticos e ingenieros, nuevos instrumentos de medir, de obtener información, transmitirla, de analizarla, de procesarla y almacenarla. Concierne a los arquitectos la intuición de la relación, la de la construcción de estas nuevas lógicas de hibridación. Con datos e información, desde un pensamiento relacional y simbiótico, ¿serán posibles nuevas especies arquitectónicas? Nuevas, no en

el sentido de novedad, sino en el sentido de mezcla, de ser propositivas y provocadoras del cambio.

Habitar salvaje

Despiertos del sueño científico-técnico del control de la naturaleza, que había tratado de defenderse de lo salvaje y domesticar a la naturaleza, la apertura del habitar (*Haus / Oikos / Domus*) consiste en comprender la imposibilidad de ejercer y extender el control y dominio humano sobre el resto de la biota. Hemos denominado *habitar salvaje* a ese habitar que acepta que no puede poner límites y restricciones a los “otros”, y se revela contra la lógica del control, que incide en la libertad *spinozista*, autonomía y espontaneidad para abrirse a los cambios y proponer. Trabajamos hacia un habitar salvaje frente a una arquitectura de domesticación que trata de defenderse del clima, de los animales, de los “otros”, de los patógenos, de lo que no podemos controlar, hibridarse: ¡generemos monstruos como nos propone Donna Haraway!

Una arquitectura inteligente, desde el enfoque propuesto, no es una capa más de *realidad* que da continuidad a la forma en la que se hace y hacemos arquitectura. En este contexto, inteligente es reconocer el sentido de pertenencia, de la capacidad de anudarse con el mundo para generar un mejor con-vivir, más interrelacionado (en profundidad) con lo humano y lo no humano. No es suma de datos lo que nos interesa de la IA sino su capacidad de abertura.

Esta abertura, este *habitar salvaje*, asusta en la medida en que renuncia al control total. Supone un riesgo. ¿Cómo se mestiza, cómo se hibrida, cómo se relaciona cuando todo lo que había hecho el habitar era separar, proteger y enaltecer el poder humano? Es imposible retornar a una relación simbiótica del ser humano —al modo de los cazadores-recolectores paleolíticos— con su entorno natural, ni dejar de ser una fuerza planetaria —que lo somos—, sino que se trata de cuestionar nuestra capacidad de gestión de la Naturaleza. Es precisamente la capacidad técnica que hemos adquirido la que permite una nueva relación no defensiva pero tampoco dominadora. Sin las necesidades básicas resueltas, el valor de lo salvaje cuanta muy poco. Como nos propone Aldo Leopold, salvaje no se contrapone a lo civilizado, ni a lo tecnificado, sino a la preocupación por los medios, en los que la enajenación, la abstracción y la falta de reflexión de los límites del medioambiente han sido determinantes para llegar a la actual crisis ecológica.

En definitiva, no se trata de añadir a la arquitectura una nueva información híbrida, mestiza, que dé continuidad a las arquitecturas anteriores. Esta capa tecnológica no pretende ser rupturista ni revolucionaria a la manera de las vanguardias, pero tampoco dócil y sumisa, propia de las tecnologías del desarrollismo y del estado del bienestar. Se trata de construir asumiendo la responsabilidad implícita de entender que la arquitectura es soporte vital para los humanos en un mundo que, reiteramos, nos pertenece y al que pertenecemos, aprovechando toda la información proporcionada por la IA y los sistemas IoT.

La IA y el IoT son, aquí y ahora, las herramientas capaces de generar procesos de trabajo que hacen posible entender al ser humano con el medio. La IA se utiliza para la lógica del control, pero también para ser nosotros quienes nos insertamos en esa matriz de

relaciones. Esta inserción en la red de la vida genera a su vez nuevas relaciones. El IoT y la IA pueden ayudar a nuestra intuición para “ver” lo que permanece —patrones— y para “leer” lo que cambia: la mutación permanente. Sostenibilidad no es cómo el ser humano deja el mundo igual, sino entender cómo puede propiciar el cambio hacia un habitar más *salvaje*...

“Quién se conoce a sí mismo clara y distintamente, y conoce de igual modo sus afectos, ama a Naturaleza, y tanto más cuanto más se conoce así mismo y más conoce sus afectos” Spinoza, *Ética*, V, proposición XV

BLOQUE 01 INTELIGENCIA ARQUITECTÓNICA

Qué puede hacer la arquitectura

No hay que ir a por la solución

¿Cómo hacer de una construcción una arquitectura? Sabemos que la arquitectura afecta y es afectada. ¿Por quién?, ¿para qué?, ¿cómo? No podemos darnos por satisfechos con la comprensión de la arquitectura como una entidad autocontenida, estable, objetual, “hecha” en sí misma y permanente. Lo que nos interesa es la multiplicidad de factores que se (re)unen en su creación y en el despliegue de su habitar. Estos factores forman un devenir continuo que convergen en lo que llamamos edificio. Es decir, no pretendemos describir o definir la arquitectura como cierta construcción dotada de elementos o materiales de tal o cual tipo, con estas u otras actividades, con ciertas cualidades que se dan en un cierto tiempo y espacio, sino de hacerlo como un proceso “vivo” que denominamos habitar.

Siguiendo a Deleuze, planteamos más preguntas que respuestas² (Deleuze & Guattari, 2015): ¿qué puede hacer un edificio?, ¿cómo se articula?, ¿con qué y cómo se conecta con su ambiente? Para Isabel Stengers “es preciso aferrarse al problema que hemos planteado, confiar en nuestro problema” (Stengers, 2020, p. 85). Ahora bien, la realidad no se descubre ni se desvela. La realidad es siempre un proceso de nuestro pensamiento, un modelo construido a partir de la intuición, de un conjunto de datos, de la observación (Maturana, 1995, 1997). Toda construcción de un sistema implica simplificaciones y adicciones. Es un enfoque problemático y constructivo. En el proceso está, —mejor dicho, emergerá— una posible solución. Así, la arquitectura la enfocamos como problema-solución. En sus resultantes, en sus efectos, están implícitos los problemas que aborda, tanto los propuestos por un diseñador, como los propios de un lugar y un tiempo, si es que son separables e independientes.

En el proceso problema-solución interesa un devenir capaz de incorporar al pensamiento arquitectónico la mecánica, la termodinámica, la simbiogénesis, los sistemas complejos. Devenir es un concepto que, para Deleuze (Deleuze & Guattari, 2015), es un estado de cambio constante, un proceso de transformación en la que nos convertimos en otra cosa sin dejar de ser lo que somos. Con esto proponemos una aproximación que considera a la arquitectura embebida en la propia dinámica de los procesos biológicos (Hansell, 2007; Pallasmaa, 2022), y no como la derivada de un proceso autónomo. ¿Qué es habitar sino un proceso biológico por el que los humanos estamos *en* la Tierra? Un proceso que muta, en

²“Nada sabemos de un cuerpo mientras no sepamos lo que puede, es decir, cuáles son sus afectos, cómo pueden o no componerse con otros afectos, con los afectos de otro cuerpo, ya sea para destruirlo o ser destruido por él, ya sea para intercambiar con él acciones y pasiones, ya sea para componer con él un cuerpo más potente” (Ver: Deleuze y Guattari, *Mil Mesetas*, 2015, p. 261)

multiplicidades y diferencias, no lineal, sujeto a accidentes. Cuestiona los límites entre lo humano y no humano, lo natural de la artificial, lo cultural de lo biológico a la vez que implica tomar una actitud activa ante los problemas. Transgrede las categorías fijas y las identidades absolutas. Devenir asume que lo imperceptible puede generar grandes transformaciones.

Para Deleuze, devenir es un concepto que remite al *affectus* de Spinoza. Así, todo devenir es un proceso afectivo que nos permite entender las relaciones y tomar decisiones (Deleuze, 1984a, p. 63). Deleuze y Guattari en *Mil Mesetas* (Deleuze & Guattari, 2015, Chapter VII) se preguntan por el tipo de relaciones que se establecen y pueden establecer las cosas, los animales y los humanos entre sí. Sus respuestas se basan en las teorías de Spinoza y el biólogo alemán Jacob von Uexküll. Desde el aforismo de Spinoza “nadie sabe lo que puede hacer un cuerpo” (Béjar Ramírez, 2021) plantean una teoría en la que los organismos se definen por las relaciones entre sus partículas y la capacidad de afectar y ser afectados. De Uexküll toman cómo se relaciona un ser vivo con el medio (Cuchanan, 2008). Si Spinoza había construido un sistema filosófico capaz de superar la dualidad cartesiana entre cuerpo y mente, por su parte, Uexküll rechaza la idea de que el comportamiento de los seres vivos pudiera explicarse únicamente en términos de la física y la química. En ambos, existe una crítica a los sistemas mecanicistas y reduccionistas y a la idea de que los seres vivos —incluidos los humanos— pudieran estudiarse de manera aislada de su entorno.

También nosotros, siguiendo la teoría del devenir, podemos preguntarnos por lo que puede hacer una arquitectura, lo que implica preguntarse por sus relaciones constituyentes y su capacidad de afectar y ser afectada. Al hacer esto, en el estudio de la arquitectura trasladamos el foco del objeto-forma-edificio a la relación afectiva entre la arquitectura y el habitar al que da lugar en un entorno concreto y único, y la relación del ser humano con la naturaleza. Utilizar el concepto de *affectus* de Spinoza, la teoría del devenir de Deleuze y Guattari y el mundo propio o *Umwelt* de Uexküll, es considerar que son los afectos los que puede desplegar una arquitectura en un cierto contexto, los que describen la arquitectura y no sus elementos (Brentari, 2019). Es decir, en términos deleuzianos, no se define una cosa/animal/humano por sus órganos, sus funciones o su forma, ni tampoco como sujeto/objeto individual, sino que se define por los afectos —*affecio*— de los que es capaz: *affectio* y *affecturs*, afección y sentimiento que despliega en un instante con determinadas circunstancias. De estos conceptos, además de construir criterios para la toma de decisiones —en la vida, en la práctica, en la arquitectura— también se deriva toda una ética-práctica (Deleuze, 1984a, 2017) de carácter político.

Para Spinoza, tanto para alcanzar el conocimiento como para sobrevivir, hay que perseverar, profundizar con alegría en tu propia naturaleza.

“El deseo es la esencia misma del hombre, esto es, el esfuerzo que el hombre realiza por perseverar en su ser. Un deseo que nace de la alegría es, pues, favorecido o aumentado por el efecto mismo de la alegría; en cambio, el que brota de la tristeza es disminuido o reprimido por el efecto mismo de la tristeza” (Spinoza, Ética, 203)

Afectar y ser afectado implica una realimentación entre la perseverancia para seguir siendo y las acciones que nos llevan hacia la realización de nuestra propia naturaleza, y viceversa, la emoción de la alegría propicia el desarrollo natural (Polo Blanco, 2008); implica una interacción entre nuestra naturaleza y la razón. Pero, para la Spinoza, “*obrar según la razón*

no es otra cosa que hacer aquellas cosas que se siguen de la necesidad de nuestra naturaleza, considerada por sí sola” (Spinoza, *Ética*, 351).

El carácter permanente de la arquitectura occidental hace que el enfoque se centre en lo que cambia frente lo que se transforma (Fernández-Galiano, 1991). Estudiar los procesos que tienen lugar en la arquitectura es incorporar el tiempo, no sólo en forma de duración y permanencia, sino también de interacción y adaptación.

Sin embargo, un edificio siempre se encuentra en proceso de construcción o reconstrucción. El hecho constructivo es fluido, es decir, interviene en él la variable tiempo, aunque en una escala diferente de la que afecta para el organismo vivo, donde su propia variable “tiempo” le sirve de referencia. Entonces, ¿qué sucede en los edificios a lo largo del tiempo?³ (Brand, 1995).

Los principios de la realimentación y la cibernética provienen, en primer lugar, de la electrónica y, en segundo lugar, de la biología, centrándose en los fenómenos físicos (medibles). Utilizar el afectar y ser afectado de Spinoza es una forma de no limitarse a los fenómenos para abarcar también las emociones, ideas y pensamientos que se generan cuando habitamos con la Tierra. Como en la cibernética, esta aproximación es una manera de entender que la interconexión entre las cosas, desde las más complejas, como los humanos y sus construcciones, hasta las más pequeñas están dinámicamente interrelacionadas. Esta es precisamente la base de la teoría de la complejidad. Y ello supone reconocer que las interacciones entre entes pueden modificar su composición y comportamiento. Para Spinoza, si fuéramos capaces de conocerlas todas —lo que es imposible para el entendimiento humano—, no habría necesidad de signos (Deleuze, 2017, p. 198). Dicho de otra manera, esta aproximación permite enfocarse en lo que puede hacer una arquitectura, un edificio, y no en lo que puede significar (DeLanda, 2021).

La propuesta de Spinoza nos sitúa con un universo como red interconectada. En este sentido, los planteamientos de Haraway profundizan en la idea de seres que se relacionen mutuamente en un entorno al que se adaptan y que es adaptado (Haraway, 2019b). Desde esta perspectiva los seres vivos no son autómatas cuya respuesta a los estímulos “exteriores” es automática. Todos los seres vivos interpretan lo que ocurre en su entorno y toman decisiones “creativas” para perseverar en su ser (Araiza Díaz, 2021).

Ahora bien, para Spinoza, tomar decisiones adecuadas en su doble vertiente de alegría y perseverar requiere tener conocimiento (Spinoza, 2011). Denominó conocimiento de primer género a la opinión, imaginación y experiencia empírica, basado en la percepción sensorial y la experiencia individual. Este conocimiento de primer género se considera fragmentado, vago, confuso e inadecuado, ya que no nos permite profundizar en las cosas y ni en sus relaciones. Denominó a la razón o conocimiento de segundo género a aquel que

³ Seguimos aquí a Brand, Stewart: “How Buildings learn: What Happens After They’re Built”. Brand (Illinois, 1938-) es biólogo de formación fundador del *Whole Earth Catalogue* e interesado por el *Long term thinking*, en el que incluye nuestra afección en el medio. Introdujo una crítica hacia la arquitectura que considera un edificio como un objeto autónomo, para la contemplación y el goce, creación intelectual del arquitecto-artista. Brand se opone a pensar los edificios empezando de cero, como una singularidad, pensado desde valores estéticos, formales y compositivos. En sus libros y programas de televisión, señala la disociación entre estas formas de proyectar y el habitar de los que utilizan los edificios, en especial, el énfasis en la permanencia y no en las posibilidades de cambio que realizarán sí o sí, todos los usuarios. Postula atender, más que a las permanencias, a qué requerimientos pueden ser más afectados por los cambios. Anticiparse de alguna manera, a lo que habrá que cambiar.

utiliza la deducción y las ideas claras y distintas. Si bien nos permite comprender las cosas y sus relaciones causales, a la vez que nos aleja de las interferencias de las pasiones, utiliza un análisis fragmentario. Así, no podemos comprender la realidad como un todo, lo que impide acceder a la naturaleza profunda de las cosas (Naess, 1995). Para Spinoza, sólo por la intuición —a la que denominó conocimiento de tercer grado— podemos comprender parte de las relaciones con las que tomamos decisiones. Nos permite disolver la distinción entre el sujeto y el objeto sin razonamientos discursivos o análisis lógicos, sino en aprehensión directa. Sin embargo, no debe confundirse con la intuición en forma de corazonadas, sino que consiste en un conocimiento intelectual tan riguroso y objetivo como difícil y arduo.

A este respecto, también para Pierce, la intuición es la forma más alta de conocimiento humano, aunque de forma diferente a Spinoza. La intuición, para Spinoza, es un conocimiento intelectual de la realidad como un todo, algo que solo unos pocos individuos excepcionales pueden alcanzar.

De esto inferimos que, desde una perspectiva spinozista, lo que denominamos máquinas inteligentes no podría ser consideradas inteligentes en el sentido profundo relacional que Spinoza describe. Aunque pueden procesar información⁴ y generar respuestas de manera eficiente, carecen de capacidad de intuición, de la experiencia consciente, de la alineación ética y la comprensión profunda⁵ de la realidad que caracterizan a la inteligencia. La inteligencia, desde esta perspectiva es una cualidad que involucra una integración de razón, intuición, habitar y vida ética que trasciende la mera capacidad técnica y cognitiva.

A este respecto, Alan Turing se preguntó: “¿pueden pensar las máquinas? Esto debería comenzar por los términos máquina y pensamiento”. Pero el pensamiento para Turing quedó supeditado a los términos del lenguaje, a los signos, a la inteligencia en términos de conversación, mediante un método preguntas/respuesta. Máquina computacional o digital, una computadora digital es aquella que puede computar como una computadora humana, que sigue reglas fijas. Turing, mientras trabajaba para demostrar que las matemáticas fueran decibles, inventó una máquina determinista que no requería introducir la intuición o inteligencia para resolver problemas. Turing se preguntó si la facultad de la intuición se podría reducir a un algoritmo, a las normas de un sistema. Se dio cuenta de que no era posible, pero cambió de opinión (Turing, 1950).

Sin embargo, desde nuestro enfoque, los denominados edificios inteligentes (y también las máquinas inteligentes) nunca podrán ser verdaderamente inteligentes, ya que carecen de una dimensión experiencial, práctica y de la intuición. Sin la capacidad de experimentar las

⁴ Para Paco Serón, “todos los seres vivos son procesadores de biológicos de información, más o menos complejos”. Añade que cuando un ser vivo -desde la células a los seres complejos multicelulares- interactúa con el entorno, gran parte “utilizan algún tipo de lenguaje de comunicación”. Para Serón, sin embargo, la diferencia entre la información que utilizan todos estos seres vivos y los humanos es que somos “el único capaz de construir símbolos, formas que dan sentido y significado a la experiencia humana y determina su comprensión de la realidad” (Ver: Serón, 2023, 27-28)

⁵ Arne Naess fundador de la filosofía profunda fundamentó su propuesta ecológica en el sistema de Spinoza —“I point to Spinoza”-. Nunca pretendió que el camino fuera leerlo, pero sí que: “This is not because I think his extremely complex views can be conveyed to large numbers of people today, or even be thoroughly understood by a small, learned minority. The availability of Spinoza’s thought is limited today, but his personal appeal is immense and practically universal among all who study philosophy” (Ver: Naess, Arne. Spinoza: His Thought and Work, Israel Academy of Sciences and Humanities, 1938, 160-75)

emociones, las pasiones ni las relaciones interpersonales implicadas en el proceso de habitar con la Tierra, no puede haber inteligencia. Uno de los errores que se arrastran del enfoque de Turing es pensar que la inteligencia humana se limita a resolver problemas (Larson, 2023, p. 32).

Afectar y ser afectado

Todo sistema cibernético, incluidos los biológicos, debe estar diseñado para cumplir con un objetivo específico (Wiener, 1960). De forma muy simple, vemos que un termostato tiene como objetivo regular la temperatura de cierto sistema o un algoritmo de *machine learning* pretende predecir un resultado futuro. Es decir, ajustan constantemente su comportamiento por medio de la retroalimentación para alcanzar un objetivo.

En arquitectura, para los sistemas automáticos puede resultar menos complicado determinar algunas de las funciones con las que regular, gestionar y diseñar de los edificios cuando se trata de considerar el fenómeno en su completitud, pero no lo es. Si aceptamos que la arquitectura es parte fundamental del habitar humano con la Tierra, no es trivial definir estos objetivos. Además de variables medibles y cuantificables, el sistema-edificio debe estar alineado con los valores y prioridades de un tiempo y lugar, así como también de un diseñador y sus usuarios-habitantes. Así, podemos proponer que la capacidad de afectar de la arquitectura y ser afectada, en términos de Spinoza, tiene una dimensión ética.

Los edificios inteligentes se basan en los principios de la cibernética. Se suelen definir como edificios con sistemas automáticos regulados por la IA, capaces de tomar y ejecutar decisiones autónomas. Estos sistemas no solo deben ser capaces de procesar información y tomar decisiones. Para ser inteligentes deberían comprender el contexto en el que operan y las relaciones entre las diferentes entidades. Deberían poder aprender y adaptarse a nuevas situaciones, dicho de otro modo: actuar de manera ética y responsable.

Pero este actuar, aunque se omita en el diseño de sistema automáticos, se remite siempre a valores predeterminados por una sociedad, característicos de un tiempo y lugar. Dependen del concepto de naturaleza imperante en cada momento. En términos no abstractos, los edificios inteligentes, al ser capaces de controlar la temperatura, la iluminación y otros sistemas, responden directamente a conceptos como la eficiencia, el ahorro de energía, la contaminación o el confort de los usuarios. Estos conceptos emanan de valores económicos, aparentemente de una lógica cuantitativa; morales, sobre la cantidad de energía consumida; y perceptivos con respecto al confort, la higiene y ecológicos, en términos de la relación que establece toda construcción en el medio en el que se sitúan.

Además de los valores que emanan de un fin, en la teoría de los afectos de Spinoza, todos los entes, sean animales, humanos o sistemas técnicos, sólo pueden actuar de acuerdo

con su naturaleza, como capacidad de realizar aquello para lo que estamos naturalmente predispuestos. Un sistema cibernético puede estar diseñado para tomar decisiones de forma más precisa, eficiente y rápida que un humano, pero no para generar valores sobre la adecuación o no, de una posible solución; de si la solución es buena para un cierto problema, siendo el problema, lo más amplio posible. En nuestro caso, el habitar humano con la Tierra.

Afectar y ser afectado implica un intercambio continuo de influencias que determinan el estado del sistema o del ser. Los cuerpos y las ideas se afectan mutuamente en una interacción dinámica, de la misma manera que los sistemas cibernéticos utilizan la retroalimentación para mantener su funcionamiento y adaptarse a cambios. Spinoza definió como *conatus* el esfuerzo de cada ser por perseverar. Se puede ver como un proceso recursivo homeostático donde un sistema (un ser) está constantemente ajustándose para mantener su existencia. Tanto el marco conceptual de Spinoza como el de la cibernética comparten la interdependencia de componentes dentro de un sistema mayor. En Spinoza, como hemos indicado, ningún ser existe de manera aislada, un principio compartido por los sistemas complejos depende de la interacción y la retroalimentación continua de sus componentes con un medio al que se adaptan y adaptan producen emergencias (Ladyman & Wiesner, 2020) . Como en Spinoza, son las infinitas relaciones y encuentros las que crean nuevas relaciones, nuevas posibilidades que, para la teoría de los sistemas complejos, se denominan emergencias (Steven, 2003).

Valores adecuados

Para Spinoza (Spinoza, 2011) todo aquello que conviene a mi naturaleza formando una totalidad superior que nos comprende, es bueno; todo aquello que no conviene a nuestra naturaleza, nos descompone. En el límite, las relaciones incompatibles con la naturaleza de cada ser, pero también de cualquier sistema, lo destruye. Así, Spinoza nos propone una forma de evaluar y discernir lo bueno y lo malo, lo que conviene a nosotros, a una sociedad, a un proceso arquitectónico. Cuando entramos en relación con otro cuerpo o ideas⁶, si aumenta la potencia de actuar o de pensar, es “bueno”. Son encuentros “alegres”. Cuando el encuentro descompone la relación del nuestro, o de la naturaleza, entonces no corresponde con nuestra esencia, por lo que Spinoza lo denomina “malo” (Spinoza, *Ética*, III Escolio prop. IX). Son encuentros “tristes”. Para Deleuze, en su “Spinoza: filosofía práctica”, lo bueno es propiciar encuentros, relaciones que convienen a cada naturaleza, para componer nuevas relaciones capaces de aumentar la potencia de actuar. Por el contrario, malo, esclavo, débil e insensato es quién se conforma con encontrarse con efectos que no son propicios y no actuar. Es decir, reducen la potencia de una vida, ya que

⁶ Desde el punto de vista de la naturaleza, se da en todo caso composición de relaciones, y nada más que composición de relaciones, según leyes eternas [...] cuando una idea es adecuada, capta precisamente dos cuerpos, el mío y otro distinto, bajo el aspecto conforme al cual componen sus relaciones. “noción común” [...] no hay idea adecuada de cuerpos que no combinen [...] lo malo [...] solo existe en la idea inadecuada y en las afecciones de tristeza que se siguen de ella (odio, cólera, etc)” Ver: Deleuze, Spinoza: filosofía práctica, 1984, p.39 sobre el Escolio 39 y siguiente de la parte IV de la *Ética* de Spinoza)

ante relaciones que no componen y generan nuevos compuestos, se destruyen en la culpabilidad, el resentimiento, la impotencia (Deleuze, 1984a, p. 33).

Este concepto de lo que conviene y no conviene, a diferencia de sistemas anteriores, se basa en una ética en valores no trascendentes. Para Spinoza, la moral clásica remite a una esencia, una idea, un concepto de orden superior. Esta esencia es establecida por un estado, una creencia, un sabio, un tirano, una ciencia, una *auctoritas* capaz de construir un universal no rebatible, situado más allá de. Determina un fin, un objetivo, un comportamiento a la vez que proporciona un criterio para establecer juicios. De ella se deriva un deber, una dirección a la que tender y unos valores acordes con el fin establecido. A su vez, estos valores son elementos fundamentales del sistema del juicio para establecer si nuestras acciones y pensamientos, son acordes con la moral.

En la moral clásica, siempre hay un juicio. Hay una comparación entre lo que se es y lo que debería ser. Entre el comportamiento y acción desplegada y la ideal. En su realización, hay siempre un debe, una incompletitud, una tarea pendiente. Todo juicio implica valores. Estos valores emanan de la esencia, del fin establecido. Establecen un doble juicio. El primero remite a una autoridad superior, en el segundo a una auto-responsabilidad. Juzgados por un ente exterior en primera instancia y, en segunda, juzgados por nosotros mismos. En ambos casos son necesarios valores para establecer criterios y comparaciones.

Así fundamentado, para Spinoza, este sistema moral clásico supone impeler a reunirse con lo *que debería ser*, no con lo que es. Como tiende hacia una esencia ideal, este proceso está siempre incompleto, no se alcanza. Se dirá que está en potencia. De la moral se deriva tanto un deber funcional que determina las condiciones en la que se puede o no alcanzar un objetivo-fin, tanto como un sistema social que permita hacerlo. En este sentido, el mejor estado posible es el que autoriza y garantiza que se puedan alcanzar esos objetivos, dado que, de lograrse (justicia, paz, sostenibilidad, equidad...), se estaría en la mejor sociedad posible. Pero, para garantizar que se puedan alcanzar, impone ciertos deberes, los justifica y los enjuicia. Es decir, hay una estancia de orden superior que pretende construir el mejor entorno posible para realizar esa esencia que está más allá de nosotros (o incluso de Naturaleza). De ahí, la estrecha relación que Spinoza establece entre la ética y la política (Deleuze, 2017; Spinoza, 2011; Tratado teológico-político, 1996). Este *debe*, en consecuencia, implica para Spinoza que el poder necesita lo que denominó una *tristeza*. Una emergencia, una amenaza o crisis (¿acaso hay algo más triste que la emergencia climática o la pérdida de biodiversidad?) con respecto a las cuales, toda acción es doblemente juzgada: socialmente por su no adecuación con los valores imperantes; y la que llama al remordimiento por la (mala) acción, a la mala conciencia. En definitiva, en la moral clásica se trata de juzgar la vida, pero para Spinoza la vida no es juzgable.

Este sistema clásico para Spinoza necesita definir tanto lo que el ser humano es como definir un fin-objetivo del que emanarán los valores. De esta manera, cada modelo de pensamiento despliega una definición del ser humano y sus fines. Cada una de ellas, de forma implícita o explícita, también definen un concepto de lo que es la Naturaleza, así como nuestra posición con respecto a ella. De este carácter transitivo de los fines, se derivan nuevos valores que engendran nuevos juicios. Así, por ejemplo, la esencia del hombre es ser racional para Aristóteles, *res cogitans* para Descartes o, en la actualidad, ser sostenible-cuidador de la Tierra. Cada una de ellas engendra diferentes posiciones sobre

la Naturaleza⁷, que implican valores y juicios que remiten a lo que el ser humano *debería ser* (más de lo que es). En estos sistemas, lo mismo sucede para la esencia de la arquitectura, se remite a un conjunto de cosas, ideas y pensamientos cambiantes que están más allá (ser bello, ser representativo, ser eficiente, ser ecológico).

Sin embargo, sabemos que el ser humano puede ser tan racional como irracional, tan ser materia como ser pensamiento, tan destructivo y contaminador como sostenible e integrado con el medio. La idea misma de que la Tierra pudiera ser cuidada por el ser humano era risible para James Lovelock.

Spinoza se da cuenta de que los objetivos cambian en función de cada uno de los sistemas e ideas que conforman cada sistema. Es decir, desde los valores que emanan no se puede establecer una verdadera forma de vivir éticamente. Además, tampoco puede fundamentar la ética en las leyes de la naturaleza, precisamente porque la naturaleza no tiene otro fin en sí misma que perseverar en la continuidad de la vida⁸.

Así, Spinoza para construir su ética evita empezar por lo que el hombre es y, en consecuencia, *cómo debería actuar* (Deleuze, 1984a). Lo hará preguntándose por lo que es capaz de soportar y de hacer. Una inversión de la pregunta que evita juicios basados en lo que somos y deberíamos ser capaz de superar definir una supuesta esencia que nos deja en *potencia de* y de pre-determinarnos con unos fines y objetivos. La subversión de su sistema es que era plenamente consciente que, de no hacerlo así, generaría “otros” valores a los que obedecer (Tratado teológico-político, 1996), lo que lleva nuevas autoridades que juzgan y velan por su cumplimiento.

En su Ética, comienza por definir una sola y única sustancia a la que denominó *Deus, sive Natura*. Esta sustancia tiene infinitos atributos de los cuales el ser humano solo puede conocer dos: el pensamiento y la extensión. Los atributos se manifiestan en forma de modos y sus modificaciones en forma de afectos⁹. Nuestros pensamientos son afectos

⁷ Descartes por ejemplo, al considerar el pensamiento como una materia distinta y separada del resto de la materia (res extensa) regida por leyes mecánicas. Esta dualidad facilitó comprender la naturaleza de forma separada y abstracta. Como si la mente humana no fuese parte de ella, una posición desapegada e imparcial, aparentemente fuera de ella. En definitiva, una posición de dominio a través de las leyes de la ciencia.

⁸ Spinoza tomará esta idea de Thomas Hobbes. Según el filósofo inglés autor de “El Leviatán” (1591), en la ley de la naturaleza, todo lo que puede hacer un ser vivo o entidad, lo hará con independencia de nuestro juicio moral. De aquí podemos derivar también que la naturaleza no tiene como objetivo ni eficiente, ni sostenible, ni ecológica ya que esto son para nosotros, categorías morales. Para Hobbes, al que sigue Spinoza, es el derecho civil (*jus civile*) establecido por la Autoridad lo que fundamente una sociedad organizada que evita una situación de guerra de todos contra todos (salvaje), en la que la vida es “solitaria, pobre, desagradable, brutal y corta”.

⁹ “Por afectos entiendo las afecciones del cuerpo por las cuales la potencia de acción de este mismo cuerpo es aumentada o disminuida, ayudada o reducida” (Spinoza, Ética II). *Affecio* indica una alegría, un aumento de la potencia de acción. Al contrario, una perfección menor, o a la disminución de la potencia de actuar, tristeza. Para Spinoza, la potencia de acción cambia en función de las causas exteriores para un mismo poder de afección. Es decir, en palabras de Deleuze, “el afecto-sentimiento, la alegría o tristeza, se sigue efectivamente de una afección, idea del cuerpo que conviene. Añade “cuando el afecto se ha vuelto sobre la idea de lo que procede, la alegría se torna amor, y la tristeza, *odio*” (Ver Deleuze, G. (1984). Spinoza: filosofía práctica (2a edición). Tusquets Editores, p. 64). Encontramos también una definición en las clases que Deleuze impartió en la Universidad de Vicens (curso 1980/81): “Spinoza llamará «afecto» a lo que efectúa la potencia. El concepto de potencia en Spinoza estará en correlación con el concepto de afecto. El afecto se define exactamente así: «lo que en un momento dado llena mi potencia, efectúa mi potencia»”

que se derivan de esa sustancia. Son en sí mismos acciones capaces tanto de aumentar la potencia de actuar como disminuirla (Spinoza, *Ética* III, 1). Expresan ideas que proceden del cuerpo¹⁰, de encuentros —*occursus*¹¹— que pueden convenir o no con el nuestro.

Por ello se considera a Spinoza un pensador relacional en el que todo está interconectado. Esto se debe a que los modos, los atributos y los afectos, todo lo que existe, es una manifestación de la única sustancia, que es Dios o la Naturaleza en su sistema. Para Spinoza, no hay separación entre los distintos elementos de la realidad, pues todos son expresiones de la misma sustancia. Nada existe de manera aislada. Así, los modos no existen por sí mismos, sino que dependen de la sustancia y están interrelacionados. Los afectos muestran cómo los modos influyen unos en otros, reflejando la naturaleza-red profundamente interconectada de la realidad. Para Spinoza, comprender la relación entre todas las cosas es fundamental para alcanzar el conocimiento, que denominó “ciencia intuitiva” (Spinoza, Parte II, Prop. XXXIX, escolio II):

“el fin último del hombre que se guía por la razón, esto es, el deseo supremo del que se sirve para regir todos los demás, es el que le lleva a concebirse adecuadamente a sí mismo y a concebir adecuadamente todas las cosas que puedan ser objetos de su entendimiento” (Spinoza, Apéndice, Cáp. IV).

La aproximación de Spinoza es relevante porque evita considerar el pensamiento como algo ajeno a la naturaleza material. Propone que cada fenómeno sensible tiene un aspecto mental y viceversa, que cada fenómeno del mundo material es también una idea dentro de la totalidad de la naturaleza infinita. Nuestro organismo, como uno de los modos de la única sustancia, depende de todas las demás formas de vida.

Spinoza propone definir a las cosas, a los animales, al ser humano, por lo que cada uno puede. Observa que, en la naturaleza, las cosas o los seres vivos ni pueden lo mismo ni puede lo que quieren. Cambia la pregunta hacia ¿de qué es/eres capaz, qué puede/s? Se trata de entender lo que un cuerpo puede (Deleuze, 2017). Un enfoque activo que constituye una invitación a la acción, a la experimentación, al riesgo. Para ello es necesario comprender y conocer las condiciones de posibilidad, tanto las tuyas y las del medio, como las de los otros (modos de existencia), incluido tanto el contexto biológico como los sistemas técnicos. Este es el sentido de *jamás podemos saber lo que puede hacer un cuerpo*. Hay infinitas relaciones y encuentros entre todos ellos.

Esto implica que en Spinoza hay una renuncia a conocer la organización en su totalidad y cómo están envueltos en algo/alguien los modos de existencia, para enfocarse en cada uno de los seres, cosas, modos. Se trata de definir a las personas, las cosas, los animales, los objetos técnicos, por lo que pueden en su individualización (Simondon, 2015). Siguiendo a Spinoza, no queremos definir lo que es un edificio, o lo que es la arquitectura, sino lo que

(Ver: Deleuze, G. (2017). En medio de Spinoza. 1980-1981. Cactus, p.51). En definitiva, para Deleuze, los afectos son devenires.

¹⁰ “Así la razón está “habitada por afectos, que el devenir racional es un camino a partir de las pasiones; que el entendimiento es un problema del cuerpo” (Ver: Deleuze, En medio de Spinoza. 1980-81, 2017, Cactus. P. 17)

¹¹ Los "occursus" son encuentros entre cuerpos que resultan en cambios en los afectos (emociones y sentimientos) de un individuo. Estos cambios pueden aumentar o disminuir la potencia de actuar del individuo. Dependiendo de la naturaleza del encuentro, el afecto resultante puede ser positivo (alegría, cuando la potencia de actuar aumenta) o negativo (tristeza, cuando la potencia de actuar disminuye).

tal arquitectura —construida o por proyectar— puede hacer, puede afectar. ¿Qué es lo que puedo como arquitecto? Si tengo el conocimiento suficiente, crear un edificio. ¿Qué es lo que puede hacer ese edificio? Tengo que conocerlo, saberlo. También, de su teoría del conocimiento, *tengo que intuirlo*. Supone una invitación a la competencia y el conocimiento de cómo afecta una arquitectura siempre en relación con algo, un medio, unas determinadas circunstancias. La Ética propone no juzgar el edificio (lo que sea) por lo que es sino entender lo que *puede hacer* y propiciar las transformaciones necesarias para que lo haga.

La arquitectura transita en una época en la que el juicio lo marca, por un lado, la estética de la representación y, por otro, cuantificar su desempeño en términos de eficiencia — kWh, certificados, sellos, Tn de CO₂, etc.—. Ni imágenes (signo) (Ballantyne, 2022) ni kilovatios (magnitud) informan sobre qué relaciones se establecen (Moe, 2013) ni qué afectos se producen en esa arquitectura. En consecuencia, encontramos que en estos juicios subyace la *auctoritas* de la comparación representativa con imágenes ideales y de los legisladores que imponen cumplimientos de valores cuantificables. Ambas remiten a instancias superiores como libros, críticos, publicaciones, comités, normas, leyes, códigos, certificaciones. Los objetivos y fines predefinen —cambio climático, eficiencia, belleza— valores que permiten al poder establecer los *debes*. El valor normativo se toma por el fin (Deleuze, 2017, p. 73). Así establecidos, generan una tensión entre lo que debería ser y lo que se es. Como veremos, para Spinoza, esta tensión es “triste” en cuanto que disminuye la potencia de actuar. No provoca un verdadero devenir.

Ahora bien, el problema radica en el criterio del juicio. Ni todos los actos son buenos, ni todas las arquitecturas son afectivas, no todo vale lo mismo. Necesitamos saber qué es lo que puede hacer algo y, si lo hace, si esta acción es adecuada. Para ello, Spinoza introduce en su sistema, una doble dimensión cuantitativa y cualitativa de los afectos con la que puede distinguir tanto lo que pueden hacer los entes, como sus acciones. Los valores correspondientes a la escala cuantitativa los denominó *potencia* y es una cantidad diferenciable. Tener potencia¹² remite a lo que se es capaz de hacer. Además, hay una escala cuantitativa, una diferenciación infinita de la cantidad de potencia de los existentes, que dan lugar a diferentes modos de existencia con la que se indica la inadecuación o la adecuación de la cosa y la idea en el juicio.

La potencia de un arquitecto en su acción o la de un edificio, no es lo que quiero o lo que debería ser. Es lo que tengo. En términos de Spinoza, empezar un proceso con “quiero que sea bello”, “quiero que no gaste”, “quiero que sea sostenible” son contrasentidos. El proceso es otro: qué potencia tengo y qué es lo que se adecua a mi naturaleza y a la naturaleza del proyecto. El modo de existencia es la adecuación de la propuesta a lo que quiero, y la potencia, **a la capacidad en acto** de hacerlo. Exige una identificación previa de los afectos que se pueden establecer. No están en potencia. No hay descubrimiento y ni un desvelar. Hay pensamiento constructivo. Es importante remarcar que no decimos que las

¹² Es un concepto derivado de lo que Nicolas de Cusa denominó “Posse” o lo que puede en acto, refiriéndose a la potencia o la capacidad de ser y hacer en términos de posibilidad y potencialidad de las cosas de manifestar diferentes formas y realidades. Para Nicolas de Cusa, Possest es Dios, el ser de todas las posibilidades, lo que suponen una aproximación dinámica abierta capaz de trascender a las limitaciones de la forma específica. El mundo es una manifestación de la potencia divina por lo que todo lo que existe es una realización de alguna posibilidad en Dios. Es dinámico, en el sentido que todo un continuo despliegue de posibilidades divinas.

cosas quieran desplegar su potencia, que quieren más poder (Deleuze & Guattari, 2015). Las cosas o las personas no son definidas por una esencia cualitativa sino por una potencia cuantitativa. Por desecharlo no se está en potencia de ser arquitecto (en acto, hay que ir hacia el conocimiento), de la misma manera que un edificio que consume mucha energía no está en potencia de ser eficiente. Se trata de identificar los afectos, las relaciones y los encuentros que permitirán esto o aquello según un modo de existencia (las propias capacidades, ya sea cosa, animal o persona) y realizar **composiciones** que produzca un devenir. Exige interesarme por lo que puedo, preguntarse por lo que puede hacer la cosa, propiciar encuentros capaces de generar nuevos compuestos. Es muy diferente de preguntar qué es tal cosa, o *qué quiere* ser tal cosa, tal persona o tal material.

Se diría que, hagamos lo que hagamos, en la naturaleza, todo son composiciones. Pensando desde Heráclito (Heráclito, 2009) o Lucrecio, así lo podemos inferir (Lucrecio, 2012). Pero Spinoza nos advierte de que, para los entes individuales, hay composiciones y descomposiciones, encuentros que aumentan la potencia y encuentros que la disminuyen. A los afectos que son aumentos de potencia les llamó “alegrías” y a las disminuciones, “tristezas” (Deleuze, 2017, p. 231). Toda tristeza es una disminución de la potencia. Las cosas que dan tristeza son afecciones las que no corresponden con las mías. Disminuyen la potencia de actuar porque detienen o descomponen las relaciones o incluso la totalidad de las relaciones. La potencia de actuar se ve afectada en conjurar las cosas que provocan tristeza, en impedir que destruya las relaciones. Es tiempo perdido, por lo que Deleuze recomienda evitar esa situación, esas ideas, esas acciones. Siempre hay tristeza, dado que tenemos un conocimiento muy limitado de las infinitas relaciones (Deleuze, 2017, p. 197).

Las alegrías, sin embargo, no es lo contrario de la tristeza, dado que, para Spinoza, son relaciones que componen con mis relaciones. Forman otra cosa nueva, es un devenir en algo superior. La alegría, así definida para Naess, es creativa e incrementa la autorrealización mediante el cumplimiento de potencias individuales (Naess, 1995), implicando siempre “una ampliación y profundización del yo”. Para Deleuze es un funcionalismo, en la medida en que crea encuentros que funcionan (Deleuze, 2017, p. 237). Como vemos, son todo composiciones y descomposiciones que, sin definir el Bien y el Mal, permite establecer criterios objetivos para nuestras acciones. A cada elección (consciente o inconsciente) hay asociada una afección: la clave es si cuando tomo una decisión o realizo una acción, compongo o descompongo la relación. Si son adecuada o inadecuadas a mi naturaleza, a la naturaleza del problema.

El sistema de Spinoza está basado en la instantaneidad. Se diría que es dinámico. Una vez más, no se refiere a esencias intemporales y eternas. Algo que puede componer en un momento dado, puede descomponer(se) en otro. Un encuentro, una idea adecuada en unas ciertas circunstancias puede no serlo en otras. Las afecciones son percepciones y, como tales, dinámicas, sujetas a una duración. Si toda afección es instantánea, la teoría de los afectos, más que un estado, es una transición de estados.

El sistema de Spinoza supone una manera de estar en el mundo. Se trata de comprender las acciones y pasiones de las cuales algo es capaz, lo que es capaz de soportar y de hacer (Deleuze, 2017, p. 75). Es una lógica de acción, a la vez que una manera de vivir.

Pensando con Spinoza hemos transformado qué puede ser un edificio inteligente, en qué puede hacer un edificio que se denomine inteligente. Este proceso implica pensar a priori

qué fines y objetivos son posibles establecer en un lugar y tiempo concreto. Conlleva estudiar tanto la naturaleza del sistema técnico como las experiencias y acciones del proceso de diseño. Evaluar la adecuación de la solución propuesta, desde la teoría de afectos de Spinoza, dependerá de si los encuentros, devenires y composiciones son capaces de aumentar la potencia de actuar tanto del edificio como la nuestra, la de sus habitantes; al mismo tiempo que componen nuevas relaciones, nuevas interrelaciones y conexiones en una red de afectos y afecciones.

Etología

Saber lo que puede o no puede hacer un edificio inteligente, así como para todos los entes, implica para Deleuze la construcción de una Etología. Una etología capaz de identificar las cosas, los seres humanos, los no-humanos por la potencia efectiva que tienen. Los afectos están estrechamente relacionados con la naturaleza de un cuerpo o de un sistema técnico, son las “modificaciones” o cambios que se producen en un ente como resultado de la interacción con el medio. Sea en relación con la biosfera, o con la tecnosfera, en alguna medida se expresa en forma de comportamiento. De los seres vivos en su medio, de los edificios en su utilización y ambiente climático. El de los humanos en una determinada arquitectura.

La teoría de los afectos de Spinoza nos permite comprender la importancia de la percepción en la toma de decisiones éticas. Para Spinoza, los afectos son percepciones, es decir, representaciones mentales de los cambios que se producen en el cuerpo. Los afectos pueden ser activos o pasivos, no positivos o negativos en sí mismos, sino que dependen de si aumentan o disminuyen nuestro poder de actuar. Los afectos son los modos de ser de los cuerpos, por lo que cada uno tiene un repertorio único de afectos. Construir una etología, nos permite comprender cómo los afectos se forman y se expresan en diferentes cuerpos. De ahí emergerán los valores con los que diseñar y programar los sistemas técnicos. Aquí reside la importancia de identificar (e incluso propiciar) qué percepciones pueden disponer los sistemas técnicos que nos permiten ser capaces de aprender y desarrollar valores a partir de sus capacidades y de las nuestras de interrelación con el mundo.

Mediante la clasificación en la biología, la arquitectura y multiplicidad de disciplinas, se ha buscado definir la esencia, lo que es a partir de sus diferencias (Haraway, 2023), lo que la distingue de otras y su genealogía (filogenia) (Mayr, 1996). Una etología de la arquitectura es registrar lo que puede hacer y no puede hacer. Es decir, sus modos de existencia. Para los sistemas técnicos, significa que debemos tener en cuenta las limitaciones-posibilidades físicas y cómo responden ante los cambios.

Por lo tanto, si consideramos que la arquitectura es capaz de afectar y ser afectada, definir los afectos implica, según Deleuze, ser capaz de contarlos, de identificarlos. Para ello, el filósofo francés propone un proceso abstracto¹³ análogo a la etología de Uexküll:

“estudios como éste, que definen los cuerpos, los animales o los afectos de lo que son capaces, fundaron lo que hoy se llama etología” (Deleuze, 1984b).

¹³ David Abrams, ecologista profundo, reconoce la importancia de este proceso deleuziano y spinozista, pero lo considera demasiado abstracto. Para él, dado que estamos “vivos en un campo vivo de experiencia” es necesario sumergirse en el medio, tener una experiencia consciente de la interacción “entre este cuerpo y el campo elemental que lo rodea”. Desde este punto de vista, es fundamental reconocer “la participación implícita en toda nuestra experiencia [...] Si seguimos ignorando nuestra relación con la Tierra estaremos obligados a duplicar cada cuerpo humano con una mente separada, ya que la fluidez salvaje de la mente, su creatividad y apertura, parecen de un orden muy diferente al de nuestra estructura física y corpórea. Empecemos por reconocer que nuestros cuerpos están entrelazados con la Tierra” (Ver Abrams, David. Devenir tierra. Devenir animal. Devenir así plenamente humanos, Sigilo, 2021, pp.161-63)

No se propone una etología como estudio de la conducta, sino de los continuos devenires que componen diferentes cuerpos. En este sentido, la noción de comportamiento resulta para Deleuze inadecuada, demasiado lineal, en comparación con la multiplicidad de las relaciones que se establecen. Ya sea un animal o un edificio, nunca es separable de las relaciones con el mundo. Son relaciones corporales, perceptivas. Entendemos esta etología como estudio de las intensidades, de las capacidades de afectar y ser afectado que caracteriza cada cosa. Por decirlo de alguna manera, esa cosa es un proceso de individualización de las relaciones posibles (Simondon, 2015). Así, la etología puede ser definida como el estudio de las circunstancias que determinan cómo se producen estas relaciones, o si pueden producirse.

De esta manera, la etología no es un mero contar afectos-efectos, una identificación y cuantificación-enumeración, sino también definir diferencias cualitativas capaces de generar intensidades. Deleuze va más allá: “la intensidad es la forma de la diferencia como razón de lo sensible. Toda intensidad es diferencial, diferencia en sí misma”. La intensidad, como diferencia, es la razón suficiente del fenómeno, “la condición de lo que aparece [...] sólo conocemos la intensidad ya desarrollada en una extensión, y recubierta por cualidades” (Deleuze, 2002a, p. 334). Inferimos que, para establecer una etología capaz de dar cuenta de la afecciones y potencia de afectar de una arquitectura, no basta con identificar y medir *affectios*. Es necesario intuir, de las infinitas relaciones que se establecen en toda arquitectura, cuáles generan más intensidad, diferencias cualitativas —que podrían ser imperceptibles pero multiplicativas de efectos— capaces de una evolución-generativa. Como ocurrió en biología con la taxonomía y en la arquitectura con la tipología, se utilizó las diferencias para cimentar clasificaciones, lo que constituye una visión mimética y estática de la Naturaleza que termina en series genealógicas, énfasis en las descendencias, las filiaciones y las estructuras que se reiteran, pero no, en la intensidad de las relaciones.

Una etología fundamentada en el devenir tampoco se realiza para hallar correspondencias entre relaciones. Devenir, no implica una evolución positiva en términos del progreso, ni una regresión, en términos de nostalgia. El devenir se remite al dominio de la simbiosis, de la mutación, de la alianza, de la comunicación y el contagio (Deleuze & Guattari, 2015, p. 245). Devenir es una multiplicidad¹⁴ que transforma la idea de individuo-objeto, que abandona la idea de árbol por la de rizoma (Deleuze & Guattari, 2010), la de características formales por variables en un medio, la filiación entre lo igual por comunicación entre lo heterogéneo. El devenir entendido como multiplicidad se fundamenta en el contagio capaz de dar lugar a nuevas combinaciones, a diferencias de naturaleza, que no cejan de modificarse en función de las nuevas interrelaciones que se generan. Abandona lo que da similitud —lo estandarizado, que representa lo característico de lo específico—, los modelos, lo típico, por la condición de borde —lo a-normal, lo raro, lo limítrofe—. En el límite es donde se produce el intercambio, pero también la apertura y la ambigüedad. Como fenómeno de frontera, se puede comprender mejor las interrelaciones que se establecen en sus aperturas y superficies de contacto. En el umbral de un territorio, idea, animal o arquitectura, se producen problemas de identidad, de filiación, a la vez que

¹⁴ “No debe extrañarnos, hasta tal punto el devenir y la multiplicidad son una sola y misma cosa” (Mil Mesetas, p.254)

oportunidades de nuevas recombinaciones. Si nos fijamos en los intercambios, en los flujos, ¿dónde empezamos? (Ito, 2010).

El edificio como multiplicidad-devenir de un proceso de habitar, no se define por sus elementos ni por aquello que da unidad o comprensión, sino por aquello con lo que permite cambiar de dimensión sin cambiar su naturaleza, por aquello que permite simbiosis, recombinaciones, mutaciones, nuevas especies y nuevos problemas. Un edificio, un humano, un animal, no cesa de ser un edificio, un humano, un animal. Ahora bien, ¿en cada posición de apertura, en el umbral, en cada intercambio hay una nueva alianza?, ¿hay simbiosis? En este sentido, la multiplicidad-devenir no se define por el grado de intensidad de ciertas magnitudes o variables, sino por la intensidad que compone acontecimientos completamente diferentes de la “individualización de los sujetos bien formados que las reciben” (Deleuze & Guattari, 2015, p. 258). En nuestro caso, las nuevas dimensiones del edificio no se determinan por nuevas funciones, elementos o sistemas. tampoco por cómo se organizan o diferencian, sino de la intensidad de sus conexiones: de si sus relaciones se componen o descomponen *con otros* para desplegar su grado de potencia, tal y como lo hemos descrito en términos spinozistas. Así, la posibilidad de estas nuevas dimensiones y alcanzar toda la potencia que una existencia, una vida o una arquitectura pueda desarrollar depende de, por un lado, partes intensivas bajo una capacidad —las relaciones entre partículas darán o no darán la *posibilidad de*— y, por otro lado, de partes extensivas bajo una relación —la capacidad relacional de afectar y ser afectado— (Béjar Ramírez, 2021). Esta perspectiva evita definir la arquitectura por su esencia, materia o configuración, sino que se centra en su comprensión desde los afectos que es capaz de generar.

Todo devenir, además de transformación y multiplicidad, es un afecto¹⁵. Y es un afecto capaz de cambiar la potencia de acción. La etología propuesta debe tratar de estudiar las relaciones y compromisos que una arquitectura puede establecer con *otros*, ya sean estos *otros* las tecnologías (especialmente la inteligencia artificial), objetos, seres vivos o Gaia. Podemos pensar con la *ontología relacional* de Latour (Latour, 1999), *los compañeros de especie* de Haraway (Haraway, 2019a) o la *interconexión profunda* de todos en el entorno natural de Naess (Naess, 1995), para construir nuevas intensidades, ampliar las potencias afectivas, componer o descomponer nuevas mutaciones arquitectónicas, o simplemente disponer de juicio crítico para evaluar reflexivamente los compromisos de una arquitectura. **Preguntarse si una arquitectura es capaz de acrecentar o destruir el poder de habitar: el nuestro, el de los otros.**

Diversidad

La multiplicidad es una característica de los edificios. Una característica que comparte con todo en la naturaleza. La diversidad es esencial en todo producto de la naturaleza (Lucrecio, 2012) pero ha sido muy difícil de explicar en términos evolutivos (Wilson, 1999). Esta diversidad se manifiesta para Deleuze (Deleuze, 2005b, p. 189) de tres formas: en la especificidad, en la individualidad y en la heterogeneidad. No hay nada que no manifieste la diversidad de sus partes, de sus lugares y de sus especies. No hay dos individuos idénticos,

¹⁵ “Los afectos son devenires” (Íbid, Mil Mesetas, p. 261)

como tampoco dos arquitecturas, por lo que generalizar y hablar de la esencia humana, como de la arquitectura, puede dar lugar a la confusión.

De esta perspectiva, se fundamenta una etología sobre lo existente en su singularidad, en un tiempo y un lugar, que constituyen una diferencia cuantitativa de su existencia. Si no lo hacemos así, y nos remitimos a generalidad, nos remitiremos inevitablemente a esencias: a lo que debería ser un edificio —por ejemplo, un ECNN o ZEB—. Se derivarán valores siempre en condiciones de ir más allá, que están a-fuera, dejando fuera una posición cualitativa de modos de existencia: el edificio más eficiente, es el que no se habita. Fundamentarse en una etología de la diferencia y de modos de existencia, remite a lo que cada singularidad puede hacer o no en su existencia, en su situación siempre específica, individual y heterogénea a la vez que relacionada.

Dado que nada está aislado en la naturaleza, en la multiplicidad hay una dimensión relacional. De igual hay forma que no hay cuerpo o cosa que esté compuesto por partes homogéneas, tampoco hay ser vivo sin sus modos de vivir (y habitar). La naturaleza, por ello, ha de ser pensada como principio de lo diverso y de su producción, en vez de su unidad. A su vez, si seguimos a Epicuro, la naturaleza atómica del mundo es distributiva en el sentido de que distribuyen partes, pero no totalizan en un ser absoluto. Cada entidad se distribuye y reagrupa constantemente: hay “y” en lugar de “es”, esto es, una relación continua y abierta entre partes. “Y” implica que la realidad no está determinada por una única esencia o estado, sino por una serie de conexiones y relaciones que están siempre en proceso. Se forma de alternancias, entrelazamientos, semejanzas, diferencias, atracciones, matices, brusquedades, hecha de llenos y vacíos, de seres y de no ser: es una suma, pero no es un todo. Con Lucrecio y Epicuro, comienzan los pluralismos tan contrarios a los sistemas centrales, los estilos, las normas o las estandarizaciones (Serres, 1994). La naturaleza es una potencia, que co-existen “una a una”, que no se unifican, que no se expresan íntegramente de una vez, lo que termina en una teología, motivo, fin, objetivo. Para Lucrecio en la naturaleza, también en las creaciones artificiales y no naturales, únicamente hay conexiones, densidades, choques, encuentros, movimientos gracias a los cuales se forma toda cosa (Serres, 1994).

En resumen, cada ser vivo despliega una multiplicidad-devenir-afecto dinámico que implica un conjunto diferente de relaciones con el medio ambiente, pero también modos inmanentes de ser social, de expresión, de organización, en definitiva, de existencia. Son propios de un tiempo y una situación concreta, evolucionando en cada instante. Los devenires implican actuar, experimentar con diferentes modos de construcción, con diferentes modos de habitar —literales como en la arquitectura o subjetivos o políticos— (Braidotti, 2006). Esos modos, propuestos por Spinoza sin apelar a la existencia de valores transcendentales, puede destruir y aumentar la potencia de afectar(se). La capacidad de afectar y ser afectado es lo que constituye la individualidad de cada cosa particular:

“La estructura de un cuerpo es la composición de su relación. Lo que un cuerpo puede hacer corresponde a la naturaleza y sus límites de su capacidad de ser afectado” (Deleuze, 2004).

Toma de decisiones arquitectónicas

Desde la perspectiva de Uexküll, las decisiones de todas las especies biológicas están determinadas en gran parte la interacción entre por su mundo circundante (Umwelt), su diseño estructural y funcional inherente al organismo (Bauplan). Este diseño condiciona cómo el organismo percibe y responde a su Umwelt. La teoría de Uexküll, supone en la práctica, una limitación de las capacidades y acceso a la realidad también en función de la capacidad perceptivas humana. El fin de la vida sería un proceso de autoconservación para mantener la integridad biológica en un medio en constante cambio e incertidumbre. Este proceso es activo y realimentado, ya que los seres vivos moldean constantemente el medio mediante ciclos de ajustes, acción y readaptaciones (ciclo funcional).

Encontramos funciones activas con el medio ambiente. Las especies, los sujetos, el medio se originan como un todo. Para Uexküll no es azar y necesidad, “todos los animales desde los más simples a los más complejos, son perfectos”. No hay adaptación y lucha, sino congruencia entre el interior y el exterior, en el que el objetivo será el despliegue de las máximas posibilidades de esta dinámica relacional del individuo en su medio:

“Llamo conformidad a plan al poder actuante en el mundo animado con el que debe relacionarse el ajustamiento general de los seres vivos”, y más adelante, “Una fuerza supra espacial y supra-temporal sostiene, mueve y forma todo: la conformidad a plan”. (Heredia, 2014, p. 31)

Una vez establecido que todos los seres vivos comparten un mismo sistema y siguen un plan (habitar y construir forma parte de muchas especies), el problema sigue siendo cómo valorar las decisiones dentro de este esquema, ya sean éstas vitales o arquitectónicas. Si se pretende avanzar hacia la toma inteligente de decisiones por parte de edificios autónomos o inteligentes, deberíamos saber primero a qué nos referimos con decisiones inteligentes.

La propuesta de Uexküll de adaptación a un plan puede considerarse una adaptación de la teoría del conocimiento de Immanuel Kant, para el que los seres humanos no perciben el mundo tal como es en sí mismo, sino a través de categorías que nuestra mente impone (Borges de Souza & Araujo, 2021).

Para salvar la libertad humana, Kant introduce el principio de la autonomía moral o capacidad humana para actuar de acuerdo con principios morales autónomos en vez de por impulsos externos, de las simples percepciones. Para Kant, la razón es lo que permite a los humanos crear leyes morales¹⁶ humanas racionales, principio de autonomía y libertad. La razón nos permite comprender el mundo a través de la investigación, el análisis y observación de la naturaleza (Crítica de la razón pura, 1781), así como también a través de la práctica, con el despliegue de la acción moral y la ética; implica principios universales tanto para el funcionamiento del mundo como para la moral.

Es decir, en ambos sistemas hay una teología estática (preponderancia espacial vs temporal o dinámica) (pp. Uexküll, 1945:19-20), un plan, un objetivo o fin (Kelemen et al.,

¹⁶ La conocida máxima de Kant “Obra de tal modo que la máxima de tu voluntad pueda valer siempre al mismo tiempo como principio de una legislación universal” es equiparable al también omnipresente principio de la ONU sobre el desarrollo sostenible: “Satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas”

2013). Todo se refiere a una organización y desarrollo, un motivo o fin. Existe una transcendencia y unos universales, aunque sean la evolución y designios de la Naturaleza que trata de dirigir a los sujetos, a veces de forma explícita o de forma oculta implicando una dimensión suplementaria. Esta es exactamente la posición que había tratado de superar Spinoza con su sistema ético.

Para Spinoza, el fin¹⁷ se trataba de una triple ilusión (Spinoza, *Ética I* Apéndice). En primer lugar, la ilusión de las causas finales, que sólo recoge efectos, tomando los efectos por las causas; en segundo lugar, la ilusión de los decretos libres, que se tomará a sí misma por causa primera, alegando su poder sobre el cuerpo; y, en tercer lugar, la ilusión teológica, donde no es posible a la conciencia imaginarse ni causa primera, ni causa organizadora de los fines, por lo que invoca a un Dios o a una Naturaleza dotada de entendimiento y de voluntad que, mediante causas finales o decretos libres, dispone para el hombre un mundo a la medida de su gloria y de sus castigos: *“no nos inclinamos por algo porque lo consideramos bueno, sino que, por el contrario, consideramos que es bueno porque nos inclinamos por ello”* (Spinoza, *Ética*, II9 escolio).

La propuesta de Deleuze y Guattari en *Mil Mesetas* también trata de superar esta dificultad, mediante un sistema de fuerzas, compuestos que generan nuevos devenires. Es decir, sujetos y colectividades que se han transformado, que han generado otros modos de existencia. La técnica es parte fundamental en este proceso de devenir, agenciamiento y modificación continua del medio, tanto físico como social, político o cultural. Hay encuentros que generan nuevas relaciones y compuestos. Otros que no. En términos de la técnica, por ejemplo, las máquinas energéticas son una extensión del pensamiento extractivo, de propiedad sobre la Tierra. Es una cuantificación y dominación para el control y la regulación, es una domesticación del ser humano y de la naturaleza cuyos efectos no previstos son la globalización, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad. Suponen pérdida de riqueza, de encuentros y de conexiones. Hay cambio de hábitat, pero es un habitar domesticado, estandarizado, aparentemente neutro, higienizado, regulado, controlado y más seguro. Se controla el riesgo a cambio de una pérdida de riqueza y de interconexiones profundas con la Naturaleza.

La modificación del medio por la técnica es la coproducción activa del medio, hace que acción técnica y acción ética no sean independientes (León Casero, 2024). Para Hans Jonas, en su Principio de Responsabilidad (Hans, 2015), esto es un problema para la ética (Jonas, 2019). En primer lugar, en los sistemas éticos la condición humana, resultante de la naturaleza del hombre y de las cosas, permanece en lo fundamental fija de una vez para siempre. En segundo lugar, sobre esa base estática es posible determinar con claridad y sin dificultades el bien humano. Y, en tercer lugar, el alcance de la acción humana y, por ende, de la responsabilidad humana está estrictamente delimitado por nuestra condición. Es decir, se trata de una ética tradicional de la era antropocéntrica, en que lo que se valora, es estrictamente la toma de decisiones humanas, sobre otros humanos: *“la naturaleza no era objeto de la responsabilidad humana”*¹⁸ (Hans, 2015, p. 28).

¹⁷ “todos los prejuicios que intento indicar aquí dependen de uno solo, a saber: el hecho de que los hombres supongan, comúnmente, que todas las cosas de la naturaleza actúan, al igual que ellos mismos, por razón de un fin”, Spinoza, Apéndice del libro I de la *Ética*.

¹⁸ El Principio de la Responsabilidad de Hans Jonas, es una de las principales

Si bien Hans Jonas detecta las dificultades para la toma ética de decisiones, su propuesta sigue el esquema kantiano, dado que exige definir lo Bueno y lo Malo en función de una concepción predeterminada de relación con la naturaleza. Esta relación a su vez, está determinada por la capacidad humana de su modificación:

“Obra de tal modo que los efectos de tu acción sean compatibles con la permanencia de la vida humana auténtica sobre la Tierra”¹⁹ (Hans, 2015, p. 39)

Este sistema ético, como los anteriores, son sistemas que exigen definiciones de lo Bueno y lo Malo que están en función de una concepción predeterminada de la relación con la Naturaleza. Hemos mostrado que esta relación es dependiente de la capacidad de modificación de la naturaleza. Sin embargo, se basaba en la existencia de limitaciones impuestas por unos medios independientes, inmodificables²⁰. A su vez, son sistemas que para Foerster se basan siempre en el “Tú deberás...”, “Tú no deberás...”. Las modificaciones que introducen los sistemas no triviales hacen que, para Foerster, debiera plantearse un concepto ético que incorporara la interdependencia y la imprevisibilidad del sistema, en el que sólo puedo decirme a mí mismo cómo pensar y actuar: “debo...”, “no debo...”. Este es para Foerster el origen de la ética²¹ y, en consecuencia, su imperativo será:

“act always so as to increase the number of choices”²².

Este cambio de concepción conlleva una transformación del “tú debes” propio de sistema mecánicos por un “yo debo” de las éticas cibernéticas. Cambia la jerarquía, pero deja al individuo aislado del medio o en medio del azar que sugieren todas estas combinaciones.

¿Es previsible el resultado de nuestras acciones?, ¿ampliar el número de posibilidades por sí mismo, indica cuál de ellas es la más adecuada? El sistema kantiano y el principio de responsabilidad exigen un alto grado de previsibilidad a los efectos de nuestras decisiones. Por el contrario, el de Foerster, las abre al infinito. En principio, se consideraba que ninguna de nuestras acciones tenía el efecto de modificar el funcionamiento del medio. Sin embargo, como máquinas no-triviales, los efectos de nuestras acciones, sobre sistemas

¹⁹ Imperativo que como en el caso del principio de las Naciones Unidas para la Sostenibilidad (Satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas), no cesa de plantearnos preguntas para las que la teoría de los sistemas no triviales complejos, no puede dar respuesta. Modificaciones del medio técnico, ¿cómo serán los efectos de lo que ni siquiera conocemos? ¿cómo serán nuestras necesidades futuras? ¿y las actuales? ¿qué es la vida humana auténtica? ¿qué Tierra ni no deja de mutar y transformarse? Y quizás la más pertinente, ¿qué tipo de vida humana?

²⁰ Esta inalterabilidad del mundo ha dado paso a observar (¿atónitos?) la capacidad humana para modificarlo. Es decir, hemos comprendido que la capacidad de acción de la técnica es la que define el medio. Una técnica que en términos espaciales y temporales no podía provocar efectos sobre el medio, daría lugar a sistemas de pensamientos acordes con el grado de modificación. Así, en Aristóteles la noción de lugar (locus) inalterable, la ética es una adecuación y no adecuación de las acciones con el orden natural. También en Kant, parte de un mundo mecánico y previsible -máquinas triviales-, en los que podemos establecer objetivos y comprenderlas mediante la razón, se deriva una ética en la que el ámbito de la libertad autónoma es un elemento identificador del ser humano, individual. Para Hans Jonas, ya no será el individuo, sino con el futuro (sostenibilidad).

²¹ “...as a result of my independence, I can tell others how to think and act, ‘Thou shalt...’, ‘Thou shalt not...’ This is the origin of moral codes [...] because of my interdependence, I can only tell myself how to think and act, ‘I shall...’, ‘I shall not...’ This is the origin of ethics” Foerster, H. von, *Understanding Understanding*, op. cit., p. 289.

²² Foerster, H. von, *Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition*, Springer-Verlag, New York 2003, p. 303.

complejos, ya no son previsibles, al mismo tiempo que la capacidad para modificarlo se ha incrementado exponencialmente²³. Para Foerster hay una interconexión no-trivial entre los sujetos de las acciones capaces de modificarnos a nosotros mismos y también al medio. En Kant, siempre el imperativo moral es la elección de la opción más racional. Pero hemos visto con Spinoza, que el ser humano se ha manifestado tanto como un ser racional como irracional.

Si se sigue en una lógica de ética kantiana (es decir, medida racionalmente), la capacidad demostrada de la técnica para cambiar el comportamiento del mundo a escala global — tecnosfera²⁴—, pasa por el manejo de unos valores razonados, relacionando unas magnitudes con otras que no consideran la apertura de los sistemas complejos no triviales.

Ante esta situación, se propone una ética del cuidado que asume una cierta incapacidad para controlar los efectos de la tecnosfera sobre el medio, “hemos de pararnos” (Hans, 2015, p. 58). Es un sistema que exige que la responsabilidad sobre la acción—decisión humana se ejerza para un fin, en este caso, la sostenibilidad o el cuidado del planeta. El esquema es el clásico que construye una ley universal, del que emana un fin y unos valores, medidos y comparados mediante juicio (ODS) que se imponen en todo y a todos, incluidas las decisiones en la arquitectura y la ingeniería.

En este sistema, los edificios inteligentes, sus decisiones, responden a estos fines y valores. A su vez, los sistemas automáticos se basan en valores numéricos, en proporciones, en comparaciones: pueden mediar con la racionalidad. El dato así se

²³ A este respecto, para Uexküll, nosotros podemos comprender la conformidad al plan de algunas máquinas simples, pero no de lo orgánico. La conformidad al plan del ser orgánico se revela a nuestra inteligencia solo en forma de intuición espacial (Uexküll, 1945, p. 24) pero no temporal. Es decir, confundimos la tendencia a un fin con el plan de conformidad. El primero atañe a cómo están dispuestas las relaciones en parte en el pasado y en parte en el futuro, siendo completamente incompresibles para nosotros. En el segundo, comprende cómo están dispuestas las partes entre sí, de manera que el mundo orgánico -también, en la tecnología (Uexküll, 2014)- es un proceso siempre funcional. La resultante no es la forma, sino la función de las diferentes partes (ibid., 19).

²⁴ El geólogo de la Universidad de Duke, P.K. Haff propuso el concepto de tecnosfera como la resultante de un proceso emergente, es decir, componentes (tanto elementos como sistemas) pequeños y relativamente simples (en el sentido de pocas variables/conexiones) pero necesarias para que surjan las propiedades emergentes: “the proliferation of technology across the globe defines the technosphere – the set of large-scale networked technologies that underlie and make possible rapid extraction from the Earth of large quantities of free energy and subsequent power generation, long distance, nearly instantaneous communication, rapid long-distance energy and mass transport, the existence and operation of modern governmental and other bureaucracies, high-intensity industrial and manufacturing operations including regional, continental and global distribution of food and other goods, and a myriad additional ‘artificial’ or ‘non-natural’ processes without which modern civilization and its present 7E9 human constituents could not exist. En “Technology as a geological phenomenon: implications for human well-being”, from: Waters, C. N., Zalasiewicz, J. A., Williams, M., Ellis, M. A. & Snelling, A. M. (eds) *A Stratigraphical Basis for the Anthropocene*. Geological Society, London, Special Publications, 395, <http://dx.doi.org/10.1144/SP395.4>. Es un concepto que trata de superar el matiz “culpable” o excesivamente antropocéntrico que introduce el término “Antropoceno”, por otro más operativo con el que describir las nuevas propiedades físicas de un sistema humano-tecnológico que está teniendo un papel equivalente al de la biosfera o hidrosfera. De igual manera, pero bastante antes, Vladímir Vernadsky había propuesto el concepto de nooesfera (1926), como tercera capa que se superponía a la geoesfera y la biosfera –que él mismo había conceptualizado partiendo del término de Edward Seuss-. La nooesfera, compuesta por el sufijo noos-, inteligencia, sería el conjunto de seres vivos dotados de inteligencia. Vernadsky, a su vez, había tomado el término de Edouard Le Roy (sucesor de Henri Bergson en el Collège de France y también desarrollado por Pierre Teilhard de Chardin, pero éste, desde un punto de las implicaciones teológicas y religiosas).

convierte en una arquitectura e ingeniería con valores éticos, y los valores medidos, en ética. Este proceso es erróneo según Spinoza, dado que el ser humano no ejerce así una verdadera libertad y autonomía, confundiendo seguir los valores perceptivos e imperativos con capacidad de tomar decisiones.

En este esquema ético clásico se trata de ser capaces de conocer tanto las consecuencias de las acciones que podamos realizar, como los valores absolutos que están detrás de un fin superior. Es por ello por lo que se considera fundamental una educación ética de los arquitectos e ingenieros, mediante la enseñanza de una disciplina autónoma (ética) capaz de controlar el libre albedrío. El Antropoceno y la Tecnosfera suponen la constatación de que no existe tal cosa como la independencia entre la ética y la técnica.

Si, como ya nos había advertido Spinoza, no podemos conocer los efectos de nuestra acción sobre la Naturaleza, **¿cómo podemos tomar decisiones responsables²⁵**? Hemos visto que los valores son siempre el sistema fundamental del juicio, pero en Spinoza hallamos una ética para la toma de decisiones que no juzga. Se trata para él de relacionar la cosa o el decir, al modo de existencia que implica: qué eres, qué puedes.

También para Deleuze, el problema es conceptualizar la libertad algo que pertenece a la naturaleza del ser humano. En el sistema del francés, nada pertenece a la naturaleza del hombre, tan solo pensamos en términos devenir. Transforma el problema de la esencia del hombre en la pregunta sobre qué quiere decir devenir libre, en devenir razonable, cuando los hechos nos muestran que no lo somos, no nacemos ni libres, ni razonables. Denuncia que, en el esquema clásico, estamos a merced de los encuentros, a merced de las descomposiciones. Decir que no somos libres por razón de la naturaleza implica una determinada idea de lo que es la naturaleza. Para Deleuze, si nos definimos por las relaciones y si soy un conjunto de relaciones, decir que soy “justo”, “racional”, “bueno”, “eficiente”, “sostenible”, “moderno”, “bello” carece de sentido. Esto no implica que no exista la posibilidad de toma de decisiones libres, sean vitales o arquitectónicas. Desde la lectura de Deleuze sobre Spinoza, estas decisiones tienen que ser el resultado de un devenir.

Devenir siempre implica riesgos: asumir que no se trata de llegar a algo específico, que está inmerso en un continuo proceso de transformación, que no hay identidad fija y estática, que no hay esencia y se es multiplicidad. Es un riesgo de encontrar algo que me descomponga en el camino de encontrar algo con lo que componerme.

Si tanto en Spinoza como en Uexküll y Deleuze no estamos en manos del azar y la contingencia²⁶, es que tenemos acceso a percepciones, experiencias y conocimiento con los que **debemos evaluar signos**. Son sistemas en los que hay que probar y experimentar,

²⁵ En Spinoza no encontramos el término responsabilidad. Sin embargo, Ramos Alarcón (Ramos-Alarcón, 2015) halla cinco “condiciones mínimas del concepto”. Primera, se debe ser capaz de prever consecuencias positivas o negativas las decisiones; segundo, se pueden dar razones (motivos e intenciones) por preferir una decisión sobre otras decisiones; tercero, se puede decidir entre distintos cursos de acción posibles; cuarto, se puede responder por (hacerse cargo de) los efectos positivos y negativos de sus decisiones y; quinto, al que toma decisiones no le resultan indiferentes las consecuencias o efectos de sus decisiones. (ver: Ramos-Alarcón, Luis. “Dos conceptos de libertad y dos conceptos de responsabilidad en Spinoza”, *Diánoia*, Vol. LX, nº15, 2015, pp. 105-128)

²⁶ Así, “[e]n la naturaleza de las cosas no se da nada contingente, sino que todas son determinadas por la necesidad de la naturaleza divina a existir y obrar de cierto modo” (ética, PI, p29).

puesto que la experiencia de uno puede no convenir al otro y lo que puede convenir en un cierto lugar y tiempo, puede que no lo sea en el instante siguiente. No hay dos vidas iguales, como no hay dos lugares y tiempos para habitar iguales.

Se trata de hacer selecciones, de encontrar a la vez lo que conviene y lo que no conviene, para lo que hay que ser capaz de identificar lo que son capaces de hacer los cuerpos, las ideas, los entes en contacto con otros. En la propuesta ética de Spinoza se trata de un doble proceso: encontrar, mediante la experiencia, qué relaciones convienen, al mismo tiempo que se evitan las relaciones que no convienen. Para la lectura de Spinoza de Deleuze, comprometerse al máximo con las relaciones que convienen es la primera elección de la libertad:

“Bueno, llamo razón o esfuerzo de la razón, conatus de la razón, a esta tendencia a seleccionar, a tomar relaciones, a este aprendizaje de las relaciones que se componen o que no se componen” (Deleuze, 2017)

Necesitamos una dirección como primer acto entre la selección y construcción de hipótesis, un proceso de interpretación y generación de códigos en un determinado contexto. A este modo de pensar Peirce lo denominó **inferencia abductiva**. Según Peirce, el proceso de interpretación se estructura como una argumentación (CP 5.313, 1868) en el que el proceso de pensar y razonar se basa en inferencias que buscan establecer regularidades, hábitos y creencias. "se vuelve más preciso, general y pleno, sin límite. El proceso de este desarrollo [...] se llama pensamiento [...] el juicio antecedente se llama premisa; el juicio consecuente, conclusión" (CP 3.160, 1880).

Es decir, la aducción es el primer paso de la interpretación, al que seguiría la deducción y la inducción, que buscará formar "hipótesis explicativas". La aducción es una anticipación de la mejor explicación que terminará en la "fijación de la creencia" (Peirce, 2007). La aducción es un proceso de reconstrucción inferencial de causas y de intenciones, un proceso de construcción inventiva de teorías. En este modelo la abducción es el "primer estadio" de la interpretación, ya que busca premisas plausibles "formando hipótesis explicativas" (CP 5.171, 1903). La anticipación abductiva de la "mejor explicación" termina en la dinámica de "fijación de la creencia", que para Peirce es el único tipo de razonamiento "que proporciona nuevas ideas" (CP 2.777, 1901). En este sentido, la abducción es un proceso de "selección de códigos sensible al contexto". Ésta es precisamente la manera en que la abducción es relevante al proceso de comprensión. Supone para muchos, la causa por la que los sistemas inteligentes basados en análisis inductivos (*machine learnig*), no pueden ser inteligentes (Larson, 2023).

Es decir, encontramos en la aportación de Peirce un tipo de pensamiento que no es ciencia, sino aprendizaje. No paro de equivocarme, de tener una vaga idea de lo que se es capaz. Hay una invocación intuitiva para precipitarse, con riesgo medido, sobre aquello de lo que se es capaz y dejar escapar aquello de lo que no se es capaz. Es también para Deleuze una experimentación de la capacidad: "intentar experimentar la capacidad y construirla al mismo tiempo con la experimentación" (Deleuze, 2017, p. XX) . Tanto para Peirce como para Deleuze (Ballantyne, 2022), no hay una ciencia de las relaciones, sólo signos (Coyne, 2023) que hay que seguir y experimentar para aprender.

Así, tanto para Deleuze como para Peirce, el problema moderno es el problema de los signos. Dado que los edificios inteligentes son capaces de generar signos dinámicos

(valores) y no solo signos estáticos como hasta ahora, la arquitectura en general (Coyne, 2023), también forma parte del problema.

Sin entrar en las disquisiciones semióticas de Pierce y Saussure, de forma superficial podemos exponer que todo signo tiene una ambigüedad, una ambivalencia. Lo que es un signo para unos no lo es para otros. Hay cadenas asociativas diferentes, una equivocidad, una doble dimensión cotidiana y otra excepcional o imperativa: la primera dimensión de esta variabilidad es la cotidiana, lo que pasa en nuestra vida según nuestra experiencia. Y otra, excepcional, impositiva, la que remite conceptos establecidos por otros, sean estados o creencias; además, hay una segunda ambivalencia. Cada palabra que empleo para los signos no puede ser definida más que por su cadena asociativa; y una tercera, una interpretación, una abstracción que se hace de estos signos.

En la escala jerárquica de Spinoza al seleccionar signos y tomar decisiones que compongan, evitando las que descompongan en función de nuestra propia naturaleza, le corresponden tres tipos de conocimiento, o más bien modos de existencia o maneras de vivir.

Hay un primer género de conocimiento. Se trata de vivir de acuerdo con percepciones, lo que denominó conocimiento por experiencia vaga (opinión o imaginación) (ética, PII, Prop. 40, esolío 2). De acuerdo con mi percepción sensible, asigno una acción, un tamaño, un valor a los signos que percibo. Son impresiones, son efectos, es una impresión de un cuerpo sobre mi cuerpo, de un actuar de algo sobre otro²⁷. Aquí, no tengo conocimiento de la causa, solo conozco efectos separados de su causa: *“cuando algo actúa sobre mi cuerpo, la impresión que deja sobre mi cuerpo indica más la naturaleza de mi cuerpo afectado por el sol que la naturaleza del sol”* (LII, Prop. XVI y Prop. XXXV, esolío). Son ideas inadecuadas, parciales y fragmentarias. También son inadecuadas las que provienen de los signos imperativos, como Justicia, Bello, Eficiencia o Sostenibilidad, por la misma razón: no profundizan y todo son causas externas y, por lo tanto, ignorantes de la asociación de causas que llevan a un acto o decisión.

Existe un segundo género de conocimiento capaz de seleccionar relaciones de composiciones, al que denominó conocimiento racional. La relación seleccionada no es una receta, hay que construirla activamente mediante el pensamiento (recordemos que en Spinoza no hay dualidad mente-cuerpo), siendo propia de cada situación e individuo.

Finalmente, el tercer género de conocimiento lo denomina conocimiento intuitivo. Éste va más allá de las relaciones porque capta la totalidad de las conexiones, la esencia de las composiciones y descomposiciones, de las cuales dependen las mías. Para Deleuze es conocer “el grado de potencia que se tiene de sí mismo y de otros grados de potencia” (Deleuze, 2017, p. XX)

La propuesta de Spinoza para construir nuestro aprendizaje y tomar decisiones —decretum²⁸— es seleccionar nuestras alegrías, para eliminar nuestras tristezas, aprehender las relaciones que se componen, tener un conocimiento aproximativo a través

²⁷ Llamamos “elección” o “decisión” a la imposición del afecto más fuerte sobre otros afectos (Spinoza, Ética PIII, prop.XXXVII)

²⁸ “ [...] nosotros no nos esforzamos, queremos, apetecemos ni deseamos algo porque juzgamos que es bueno, sino que, por el contrario, juzgamos que algo es bueno, porque nos esforzamos por ello, lo queremos, apetecemos y deseamos” (Ética, PIII, p9 Esolío).

de signos de las relaciones que me convienen y de las relaciones que no me convienen para, finalmente, comprender la totalidad de las relaciones que corresponden con a mi naturaleza “en un cierto tiempo y lugar”.

El primer esfuerzo de la razón es hacer todo lo que está en mí para poder aumentar mi potencia de actuar (dando lugar a alegrías pasivas). Un segundo esfuerzo es cómo conocer si hay composición o descomposición, lo que es, ciertamente, un modo de vida. Para ello, se necesita un método, identificar signos y una biografía afectiva. Y, todavía con un esfuerzo superior, comprender las relaciones que se dan en la Naturaleza y vivir en ellas, lo que proporciona la máxima libertad y autonomía, una alegría permanente que no es afectada por las contingencias. Es un conocimiento que proporciona una visión directa e inmediata de la realidad, captando la esencia de las cosas y su interconexión con la totalidad de la Naturaleza. Genera los afectos más elevados y activos, transformando nuestras emociones y conduciendo según Spinoza, a la virtud.

Es decir, en un primer estadio, estoy en los datos del mundo de los signos. Recordamos que no conozco un cuerpo más que por los efectos que tiene sobre el mío (*afectio*). Son afecciones pasivas y siguen siendo pasiones. Selecciono alegrías, es decir, relaciones que componen, aumentan la potencia, pero se permanece en la pasión.. Conozco los cuerpos por el efecto exterior que tienen, por lo que puedo en mi experiencia elegir qué afecciones son adecuadas e inadecuadas, cuáles son de alegría o tristeza. Después, tengo mi potencia, ya no solo conozco los cuerpos exteriores por el simple efecto que tienen sobre el mío, sino que comprendo las cosas a través de la razón, es decir, entendemos las causas de nuestras emociones y cómo nos afectan. Esta comprensión proporciona la “alegría”²⁹ a la vez que incrementa nuestra potencia de actuar. Finalmente, estoy en condición del domino de la pasión. La potencia de mi elección aumenta o disminuye, pero no la poseo. Para poseerla, es preciso que algo haya cambiado. Conozco los cuerpos por las relaciones que las constituyen, en tanto en cuanto esas relaciones se combinan con las relaciones que nos constituyen. No es ya un simple captar los efectos de un cuerpo sobre el mismo, ni de comprenderlas, sino que se trata de composiciones de relaciones entre un cuerpo y el mío. Sin este paso, se quedaría a la espera de un efecto sobre el otro, simple observación. Es en este sentido, se trata de aprender haciendo, implica seleccionar y captar las cosas ya no bajo el efecto que tienen sobre mi cuerpo, esperando ese efecto, sino bajo las composiciones de relaciones entre ellas y mi cuerpo. En ese punto, las cosas no se perciben como objetos, sino como relaciones y composiciones de relaciones. Hay cambio, puesto que comprendo las relaciones y estoy capacitado para tomar decisiones de acuerdo con mi propia naturaleza en particular, y con la Naturaleza en general: “ser consciente de sí mismo, ser consciente de Dios y ser consciente del mundo, no hacen más que uno [...] auto-afección” (Deleuze, 2017, p. 132).

La vía de Spinoza nos proporciona un camino independiente de los juicios y de los valores exteriores tanto a nuestra naturaleza como a la Naturaleza. Evita una toma de decisiones basadas en conceptos abstractos como belleza, eficiencia, modernidad, sostenibilidad o cambio climático. De la misma manera, las simples percepciones, los datos obtenidos del conocimiento sensible próximo o las imágenes inmediatas, también son sólo una forma de

²⁹ Un aspecto fundamental del sistema spinozista es que no puedo componer nada desde la tristeza, puesto que la tristeza es el efecto de un cuerpo, que precisamente, no se compone con el mío, de una idea inadecuada.

conocimiento superficial, dado que no profundizan en las relaciones corpóreas que hay detrás de los efectos. Los datos y su información subyacente, ya sean obtenidos por la experiencia o por recopilación científica, no conforman un verdadero conocimiento (los datos no piensan). Son sólo efectos. Pero hay que ir a las causas para un determinado lugar y tiempo. Implica una selección razonada de relación de composición y descomposición. Como modo de vida, está expuesto al riesgo y el error. Finalmente, hay que acceder a la intuición de los flujos y conexiones con Naturaleza para alcanzar una toma de decisiones verdaderamente libre.

Esto tiene varias consecuencias a la hora de tomar decisiones en arquitectura en general, y en los edificios inteligentes en particular:

- Se puede determinar el fin de un sistema autónomo, o un sistema técnico en particular, en referencia a valores externos. Sin embargo, estos valores no remitirán ni a la propia naturaleza o potencia de actuar del agente que toma decisiones, ni tampoco al lugar y las circunstancias del lugar a construir o edificio a renovar. Es decir, no son valores propios, sino tomados por un sistema externo a esas propias circunstancias.
- Sean diseñadores humanos o sistemas inteligentes los que tomen las decisiones en base a este primer grado de conocimiento, éstas serán siempre superficiales, ya que no se habrán comprendido las relaciones.
- Para tener ideas adecuadas sobre los objetivos de un edificio inteligente o la toma de decisiones arquitectónicas, es necesaria la intuición y selección de estas relaciones, lo que exige una percepción sensible de los signos.
- Dada la naturaleza probabilista de los actuales sistemas inteligentes AI (basada en el análisis de datos), es imposible para éstos tener ideas adecuadas en los términos de Spinoza y Peirce.
- La toma de decisiones adecuadas arquitectónicas implica identificar composiciones (y evitar descomposiciones) apropiadas tanto a la propia naturaleza del diseñador, del lugar y del edificio, como de la Naturaleza.
- El conocimiento práctico y la razón, son el acceso a las ideas adecuadas. No la abstracción.
- Finalmente, para alcanzar el conocimiento más elevado, hace falta un modo práctico, un modo de vida, que desemboque en un conocimiento de los flujos y conexiones que se dan en el habitar en la Naturaleza.

Podemos construir un sistema también capaz de valorar qué es capaz de hacer un arquitecto y qué es capaz de hacer un edificio si seguimos los géneros del conocimiento propuesta en la Ética de Spinoza. En definitiva, qué es capaz de hacer una arquitectura:

1. El conocimiento de la opinión o la imaginación, “experiencia vaga”, se basa en percepciones sensoriales y asociaciones imaginativas, incluidos los valores morales absolutos. Es un pensamiento exterior, estático, que no tiene por qué corresponder ni con la naturaleza del que proyecta ni con el de un proyecto o un edificio. En la arquitectura, las decisiones se fundamentan en valores que remiten signos, como el consumo, o imperativos, como la eficiencia. No suponen un

verdadero conocimiento, ya que el que genera es pasivo, no es extrapolable y proviene de causas externas que no comprendemos completamente. En este género de conocimiento, la decisión no extraña riesgo. Sin embargo, pueden llevar a “tristezas” (edificios que no funcionan, arquitecturas que dañan) efímeras e inestables.

Son lo que se denomina, generalmente en la actualidad, edificios inteligentes, *Smart Building* o arquitectura inteligente, aquellos que sólo pueden tomar decisiones sobre sistemas cerrados y valores preestablecidos con respecto a un fin que no les pertenece.

2. El conocimiento de la razón se basa en la comprensión adecuada de las cosas a través de ella. Aquí las ideas son claras y necesarias, estableciendo conexiones causales con la naturaleza. Se ha experimentado y conocido, se han estudiado las causas internas y externas. Se han seleccionado entre las infinitas señales y signos (del lugar, del edificio, de la cultura, de la sociedad, de la economía), aquellas desde las que se infiere (abducción) que puede aumentar la potencia de actuar del arquitecto, del espacio a construir o del edificio a intervenir. Se piensa en base al conocimiento razonado y a la experiencia y la naturaleza del lugar. Asumen riesgo, dado que exige experimentación, y es posible encontrarse con decisiones que descompongan, que no correspondan. Al comprenderlas, puedo explicar las razones tanto en términos de causas internas al agente que toma la decisión, como externas. Es dinámica, en el sentido de que las relaciones cambian y lo que vale para un determinado lugar y tiempo, puede no serlo en el instante siguiente. Sólo es extrapolable el proceso, pero no la solución, que será específica, aunque en ella se pueden obtener valiosas lecciones aplicables en circunstancias altamente similares. Las decisiones así tomadas aumentan tanto nuestra potencia de actuar, como la potencia de actuar de la arquitectura.

Corresponde a lo que hemos denominado SBE (*Smart Building Environment*), es decir, un entorno físico integrado en tecnología IoT capaz de proporcionar datos con los que generar conocimiento sobre el comportamiento de los edificios en un determinado tiempo y lugar. No puede ser modelado por máquinas inteligentes, puesto que implica una identificación activa de las señales y sistemas que corresponde con una determinada naturaleza de la situación-problema (modos de habitar). La implementación de un sistema SBE genera conocimiento arquitectónico capaz de establecer nuevas relaciones con el medio ambiente, potenciar un habitar más activo y enriquecido al mismo tiempo que es autoconsciente de la afección sobre el medio tanto de las decisiones arquitectónicas como del desempeño del edificio.

3. El conocimiento intuitivo es directo y claro de las relaciones entre las cosas y la Naturaleza. Aquí el conocimiento proporciona una comprensión integral y profunda de la realidad. Soy capaz de comprender el cambio, de provocar devenires. Entiendo la pertenencia al medio. Comprendo el ser parte de la Naturaleza y la arquitectura como una manifestación de nuestros modos de habitar. Los afectos son activos y poderosos, no efímeros. El riesgo de encontrarse con relaciones de descomposición es el mismo, pero la potencia de actuar queda en forma de devenir

y cambio en la propia naturaleza. No puede haber tristeza o decisiones no adecuadas, dado que se comprende con claridad el impulso de cada ser a perseverar en su ser y maximizar su potencia de actuar (*conatus*) ejerciendo su libertad. Esta comprensión profunda de las relaciones evita la posibilidad de dañar o tomar acciones contra la Naturaleza u otros, ya que hemos aprehendido que, a su vez, es una forma de dañarse o disminuir la potencia de actuar de uno mismo. Hay coherencia entre las ideas internas y externas, entre la forma de vivir y las decisiones tomadas. Hemos comprendido que somos parte de la Naturaleza. En este conocimiento, y en las decisiones arquitectónicas que subyacen, hay alegría y atemporalidad.

Es este un habitar salvaje.

BLOQUE 02 ARQUITECTURA RELACIONAL

Modos de habitar

Separación

La propuesta de Uexküll supone una propuesta y una radical crítica al habitar resultante de un medio físico considerado como indiferente a la actividad de los seres vivos. El estudio de la biología se había centrado en el análisis génico, en el comportamiento aislado de cada ser, incluso aislado en laboratorios.

La arquitectura no fue ajena a este modo de pensamiento y de conceptualizar la relación con la Naturaleza. El movimiento moderno se centró en estudiar separadamente las funciones del hombre moderno: circular, trabajar y ocio. Consiste en reducir, simplificar, separar y segmentarizar la vida. La resultante es la ciudad que se entiende según la diferencia funcional entre lo edificado y la calle; en la casa, en sus habitaciones; la fábrica, según sus procesos industriales; el ocio, según los hábitos deportivos. Son todo diagramas casuales de líneas y direcciones. Cada una de ellas, representa un proceso, simplificado, separado. Un programa de necesidades que cuantifica y cualifica en base a unos valores, que se dan por hechos sin reflexión crítica: funcionalidad, eficiencia, utilidad, confort, movilidad. Además, tanto la ciudad como la casa están organizadas de dentro a fuera, en una serie de círculos en la que cada uno representa un proceso, tipos de actividades localizables, fraccionadas. Representan un análisis reduccionista del habitar humano. Se identifica una función, que proviene de valores pre-determinados para estudiarlos separadamente tanto de cómo nos afectan y de cómo se integran en una red de relaciones más amplia.

En consecuencia, en un análisis reduccionista del habitar, los lindes, los bordes, sea del bosque, del pueblo, de la ciudad, del *continuum* habitado que es la vida para Uexküll, resultan problemáticos. También en la envolvente de los edificios, en sus fronteras, entradas, umbrales. Justo en los lugares en los que se produce el intercambio. Son lugares y conceptos que se alejan de las condiciones ideales analizadas. Sin embargo, son justo los lugares y conceptos en los que se producen los intercambios, los flujos. Son los que indican la dirección e intensidad de los procesos. Es tanto así que para Paul Virilio (Virilio, 1999) la arquitectura actúa justamente como controlador y regulador de flujos, como transformadores de movimiento. Así el problema no es del límite como refugio y encierro, sino como restricción del movimiento (Virilio, 1999, p. 19).

Así, no sólo para la arquitectura, los flujos y los intercambios son fundamentales para entender la interacción entre los seres y su entorno. Desde una perspectiva spinozista, estos intercambios, o "occursus", son los encuentros que generan afectos, produciendo cambios en la potencia de actuar de los individuos. En el marco de la cibernética, la retroalimentación es crucial, ya que implica un continuo intercambio y conexión entre el sistema y su entorno, asegurando su autorregulación y adaptación. Este concepto resuena con la idea de Umwelt de Jakob von Uexküll, que describe cómo cada organismo reacciona activamente a su medio ambiente, percibiendo y respondiendo a través de estos flujos de información y energía. Así, tanto en la filosofía de Spinoza como en Uexküll y la cibernética

de Wiener, la interdependencia y la interacción dinámica a través de los flujos son esenciales para comprender la naturaleza relacional de la realidad.

La Etología de Jakob von Uexküll

La etología quedó fuertemente influenciada por el concepto de mundo circundantes o medio ambiente (*Umwelt*) único de cada animal. Introducido por Jakob von Uexküll (1864-1944) se forma desde los estímulos del entorno a los que un ser vivo puede responder, por lo que son relevantes para su supervivencia y reproducción. Uexküll sustituyó la tradicional perspectiva en la que un animal reacciona a un entorno de forma pasiva, por el de seres dinámicos y activos que construyen su propio mundo a través de las interacciones con el medio. Es decir, el *Umwelt* de una especie no es un reflejo objetivo del mundo externo, sino que está construido a través de sus interacciones con el entorno. Para Uexküll, cada especie tiene un *Umwelt* único. Esto implica, además, que el *mundo circundante* de una especie no puede ser comprendido completamente por otra especie, lo que aleja al medio del concepto de mundo-entorno pasivo y objetivo, para ser parte activa de la vida que depende de cómo la perciben los seres que la habitan (Uexküll, 1945). El énfasis en la importancia del ambiente sobre los animales se aleja de forma radical de una perspectiva antropocéntrica de las ciencias de la vida y en una deshumanización total de la naturaleza. Su propuesta explica el funcionamiento y coordinación de una naturaleza infinitamente diversa y multiplicada a través de una estructura. Para Uexküll, siguiendo a Leibniz, esta estructura tiene carácter armónico y musical —“en el mundo biológico es todo armonía, todo melodía”— (Uexküll, 2014, p. XX) . Pero, sobre todo, se basa en el concepto de regulación neuromotora (ley de Uexküll) a la que denominó círculo funcional, que constituyen uno de los primeros modelos de retroalimentación (Lagerspetz, 2001).

Para que la realimentación con la que un ser vivo se ensambla e integra, despliegue todo su potencial en el medio ambiente, es necesario que el viviente pueda percibir estímulos sensoriales del entorno como portador de significado. Sólo aquellos estímulos que se puedan percibir desencadenarán una acción: **su comportamiento en un medio**. Así, el comportamiento no puede explicarse como solo un proceso causal físico-químico o genético sin la interacción entre lo que el sujeto puede percibir, procesar y actuar sobre el medio y otros individuos (Heredia, 2014).

Kantiano y antidarwinista³⁰, podemos encontrar la influencia de Uexküll en ideas tan dispares y contradictorias, como en la separación del hombre del viviente en Heidegger³¹,

³⁰ La evolución de las especies tal y cómo fue propuesto por el enfoque filogenético y el azar de Darwin implican la variación, la adaptación y la supervivencia sin plan. Para Uexküll, eran tres errores. El enfoque filogénico, también pone el énfasis en la ontogenia y cuestiones del origen y la continuidad histórica, cuyo enfoque no es ajeno a lo que ocurrirá en la historiografía de la arquitectura.

³¹ Heidegger después de “Ser y tiempo”, expresa esta separación en los siguientes términos “*la piedra es sin mundo, el animal es pobre de mundo, el hombre es formador de mundo*” (Ver Martin Heidegger, *The Fundamental Concepts of Metaphysics: World, Finitude, Solitude*, trans. William McNeill and Nicholas Walker (Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press, 1995). Así en otro texto añade: “*La piedra es sin mundo. Las plantas y los animales tampoco tienen mundo; pertenecen al impulso encubierto de un medio en el que se encuentran suspendidos. La campesina, en cambio, tiene un mundo, porque mora en lo abierto del ente*” (Ver: Heidegger, 2007, *Los conceptos fundamentales de la metafísica. Mundo, finitud, soledad*, Alianza Editorial, Madrid). Para Heidegger el hombre está entre los divinos y los mortales,

o como cuando Deleuze piensa al humano *en* su devenir animal (Agamben, 2010). También la idea de la técnica como un proceso de adaptación de la naturaleza al hombre en Gasset (Ortega y Gasset, 1982), la teoría de sistemas basada en la realimentación de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1976) o las consecuencias que según Agamben tiene para la ética y la política considerar que el ser humano también tiene su propio Umwelt. No lo hace diferente del resto de los vivientes (Agamben, 2010, 2021).

A la vez, su posición también es contraria a Darwin³² y a Haeckel. Su concepto de afinidades inmanentes pone el énfasis en la interdependencia entre los organismos y su entorno como causa de la evolución, de una forma similar al concepto de simbiogénesis de Lynn Margulis (Margulis, 2002).

Su concepto de Umwelt, no sólo cuestiona la idea de que el mundo existe como una realidad objetiva y universal en el que cada animal experimenta la realidad de una forma diferente, sino que introduce un concepto mucho más complejo y fluido de la naturaleza. La crítica de Uexküll va más allá, al considerar que el darwinismo es una nueva forma de reduccionismo y causalismo al actuar desde las partes (genes como unidad de la vida) al todo (la naturaleza), cuando lo que hay que estudiar es el todo -la Naturaleza- y sus relaciones (sus partes). Es más, la práctica de aislar en laboratorio el comportamiento animal para observarlo en ciertas condiciones para establecer conclusiones generalistas, es para Uexküll errónea. Para Uexküll, los seres vivos no establecen relaciones con un objeto como tal, sino con determinadas significaciones, por lo que ante una misma situación o evento, se pueden desencadenar diferentes respuestas en términos de comportamiento (Uexküll, 2024). En otras palabras, factores como el estado de ánimo determinará diferentes comportamientos frente a la misma situación, lo hace necesario observar el sujeto en su actividad práctica, en el “proceso en el cual recibe impresiones y hace uso de ellas” (Uexküll, 2023, p. 182) . Es decir, es a través de la observación que se puede estudiar cómo el potencial de un individuo y su lógica funcional se desarrollan. O viceversa, si el medio entorno y el individuo despliegan todo su potencial:

“todo lo que el sujeto percibe se torna su mundo perceptual, y todo su obrar se vuelve su mundo efectual. Mundo perceptual y mundo efectual conforman juntos una unidad cerrada: el mundo circundante [...] La primera tarea en la investigación del mundo circundante consiste en extraer los signos perceptuales del animal de entre los signos perceptuales de su medio ambiente, y con ellos reconstruir el mundo circundante del animal” (Uexküll, 2016 Prólogo)

Es decir, para entender el comportamiento de los seres vivos, entre los que se encuentra construir para habitar, no basta con analizar la materia, con establecer las fuerzas, ni aplicar los principios de la termodinámica, sino conocer la lógica estructural que subyace en el comportamiento de un viviente en un medio. Hace falta incluir procesos de regeneración, auto-reparación que distinguen a los seres vivos de las máquinas, que hacen

lo considera algo diferente a su mundo, como Dios. Es decir, el ser humano tiene y es parte de un mundo, pero puede distanciarse de él. Para Heidegger esta es la razón por la que el ser humano tiene una “imagen”, una “visión” del mundo (Ver: Mendieta, E. (2012). El bestiario de Heidegger: el animal sin lenguaje ni historia. Revista Filosofía UIS, 11(1), 17-43. Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafilosofiauis/article/view/3157>).

³² “Estamos en vísperas de una bancarrota científica cuyas consecuencias aún son incalculables. Hay que borrar al darwinismo de la serie de las teorías científicas” en Uexküll, J., *op. cit.*, 1951, p. 11

posible la pluralidad y diversidad de acciones, siempre en función de los órganos receptores y efectores, con las señales perceptuales y efectuales. Por otro lado, hay que reconocer la pluridimensionalidad del espacio motriz, es decir el espacio efectual (espacio táctil, visual + señal direccional, local) y su continuidad. Esto implica que no hay un dentro y un afuera. Se da una continuidad, que al igual que para Margulis (Margulis, 2002) implica contacto, más que separación. Este espacio multidimensional también implica una disparidad temporal en la que hay modos de tiempo, modos de habitar muy diferentes para cada especie, y dentro de la especie, para cada ser. Esta continuidad también es ontológica: la respuesta/adecuación de los vivientes al medio es siempre perfecta y completa, no puede ser de otra manera, **es decir no hay inadecuación**.

Estas relaciones tienen un lugar concreto, se producen en un sitio de la Naturaleza, pero para Uexküll, las relaciones que mantiene un ser vivo con los objetos de su entorno no son el mismo espacio ni tiempo que aquellas que desarrollamos nosotros con nuestro mundo humano, deshaciendo la idea de un medio objetivo y único en el que estarían situados todos los demás seres vivos. Así, la etología fundamentada en Uexküll, en vez de proponer una clasificación taxonómica derivada de Linneo, considera que existen una infinita variedad de mundos perceptivos vinculados por la red que denominamos vida. Por lo tanto, el Umwelt, el medioambiente estaría para cada especie constituido únicamente por los elementos que portan algún tipo de significado. Esto implica, que no sólo es que nuestro punto de vista no es privilegiado con respecto de los demás, sino que, a su vez, cada humano percibe la realidad de su medio con respecto a su experiencia y modo de pensar. Solo hay que recorrer un bosque con un forestal, un cazador, un biólogo, un corredor de trail o un agricultor para entender que la realidad objetiva “bosque”, se diluye.

Para Uexküll el ambiente entendido como Umwelt constituye una realidad cerrada en sí misma que depende de lo que puede captar y procesar perceptivamente cada especie. El biólogo, pero es extrapolable al arquitecto o el ingeniero, reconoce las señales portadoras de significado que construyen el ambiente. Estas señales no pertenecen a la especie, sino que constituyen la malla de la vida, de lo existente, completamente interrelacionadas. Aunque existen independiente de cada ser, sólo es mediante la capacidad sensitiva de cada especie como se puede percibir la marca y, por lo tanto, reaccionar ante ella, hasta el punto de que *“ningún animal puede entrar en relación con un objeto como tal”*. En este sentido, accedemos a la realidad a través de portadores de significado, que Uexküll denominó *Bedeutungsträger* (señales)³³.

Así, Uexküll diferencia el mundo circundante (Umwelt) como construcción específica de cada ser vivo, del entorno físico que denominó *Umgebung* y del mundo en su totalidad, *Welt*. El Umwelt o mundo circundante sería el mundo subjetivo y propio de cada especie animal. Está formado por los estímulos del entorno a los que el animal puede responder y que son relevantes para su supervivencia y reproducción. El Umwelt no es un reflejo objetivo del mundo externo, sino que está construido por el animal a través de sus interacciones con el entorno. *Welt* o mundo, es un concepto más amplio que abarca tanto

³³ Los *Bedeutungsträger* o portadores de significados, son aspectos del entorno que un organismo percibe como relevantes o significativos. No son simplemente objetos físicos, sino elementos que, dentro del contexto de la vida del organismo, tienen un significado especial. A su vez, son percibidos a través de los sentidos del organismo y están integrados en su Umwelt. Esto significa que lo que es un *Bedeutungsträger* para un organismo puede no serlo para otro debido a las diferencias en sus capacidades sensoriales y necesidades.

el Umwelt como el Umgebung. Se refiere al mundo en su totalidad, incluyendo tanto la realidad física como las experiencias subjetivas de los organismos. Para Uexküll el mundo está constituido por el Umwelt, como lo experimenta un animal individual; el Umgebung como mundo físico objetivo que rodea a todos los organismos y, el Welt, como mundo en su totalidad, incluyendo tanto el Umwelt como el Umgebung.

Desde este momento, la etología se constituye como un estudio de los vivientes en un dinámico, activo y complejo sistema de interrelaciones, no un seres aislados, mecánicos e individuales.

Deleuze y Guattari pensaron desde Uexküll para definir que cada ser es la relación con su medio y no vive más que *en* ella y *para* ella. Se define por los afectos activos y pasivos de los que es capaz del animal, en “un agenciamiento individualizado del que forma parte” (Deleuze & Guattari, 2015, p. 261). Ellos, en un camino diferente a Spinoza, llegan a la misma conclusión: no podemos entender la totalidad de las interconexiones que se dan en la Naturaleza. Si bien podemos intuir como animales simples (para los que unas pocas señales les bastan para construir su mundo) como la garrapata (Uexküll, 2016), tampoco para Uexküll podemos entenderlo en su totalidad. Los límites perceptivos de la garrapata determinan los afectos que puede establecer con el mundo, pero a su vez, lo dejan completamente aislado e indiferente del resto del entorno, de su riqueza y variedad de la Naturaleza. Lo que implica, que, si seguimos este principio, tampoco los humanos podemos aprehender en su totalidad la complejidad de las relaciones y capacidad de estimulación del mundo. Es más, implica que los humanos estamos incapacitados para comprender la totalidad de relaciones que nosotros podemos establecer *con* el mundo. Esta incapacidad no significa que el principio de esta etología no sea el mismo para la eucariota, la bacteria, la garrapata o nosotros.

En definitiva, los seres vivos habitamos un mundo definido por los afectos que somos capaces de desplegar, y no un lugar abstracto y pasivo, en el que discurre la existencia.

Relación entre habitar y técnica

La etología así propuesta, constituye más un campo de relaciones que un territorio en el que se despliega el habitar. No es un hábitat neutro. Estas relaciones que no constituyen un territorio, deben producirse en un medio, que según Deleuze afecta. Para ello, solo tenemos que imaginar la diferencia entre un animal sin territorio y otro con territorio. En este último caso, el territorio actúa sobre ellos, incluye un medio exterior, uno interior, un medio, un intercambio. Flujos. Hay límites, membranas, relaciones de dominio, zonas de ambigüedad, hay energía y procesos energéticos, señales que comunican, interacciones táctiles, orgánicas. Todas estas acciones definen el territorio, no por sus aspectos funcionales, sino justo por su expresión. Es decir, “dejan de ser direccionales para devenir dimensionales” (Deleuze & Guattari, 2015, Chapter 9).

Según Uexküll —en un enfoque espacial que supera los psicológicos o metafísicos— cada viviente construye su entorno a partir de una realidad objetiva característica de la que sólo puede captar la propias de sus capacidades de percepción específicas, *Merkwelt*³⁴. Todos

³⁴ "Merkelt para Uexküll es el mundo perceptual" o "mundo de percepción". Es la parte del Umwelt de un organismo que está formada por los estímulos sensoriales que puede percibir y a los que puede reaccionar.

los seres vivos habitan en su propia realidad espacio-tiempo en función de una limitada capacidad de obtener y procesar señales de la realidad (Umgebung). En Deleuze y Guattari, ese territorio en el que habitamos es la “*emergencia de materias de expresión*” (Deleuze & Guattari, 2015, p. 321), concepto en el que devenimos en individuos en un medio-asociado. Es un mundo de efectos-acciones y de percepción, que se realimentan. Pero no es un proceso automático ni directo, es necesaria la mediación, la traducción, de un sujeto activo, a la vez condicionado por su propias experiencias y capacidades. En otras palabras, hay correlación entre las señales y las acciones, pero son propias de cada ser.

De esta forma, se cuestiona tanto un espacio newtoniano como lugar homogéneo e isótropo, pasivo, de la causalidad mecánica en el que ocurren y cuyas leyes determinan la actividad humana. También se cuestiona el espacio darwiniano como medio para el desarrollo biológico del concepto económico de la competencia, lucha por los recursos (limitados) y supervivencia a toda costa del más fuerte. La propuesta de Uexküll sustituye estos conceptos por un campo perceptivo y del comportamiento complejo derivado de la interacción y realimentación (causalidad retroactiva) (Uexküll, 1945, p. 39) entre el viviente y su entorno. Podemos decir que siguiendo a Uexküll, habitamos de forma retroalimentada e irreversible (concepto paralelo al de instantaneidad spinoziana), en el que todas las relaciones están en cambio continuo³⁵.

Uexküll construye un habitar aunando conceptos como el determinismo genético que proporciona las capacidades perceptivas de nuestro organismo (Merkelt), los planes de construcción o principio de organización específicos e inmanente (Bauplan) de la Naturaleza y el constructivismo-relacional al territorializar el entorno enlazadas por el círculo funcional (*Funktionskreis*). *Las tres se entrelazan, intersecan y entrecruzan para constituir el hacer mundo posible de cada animal*, su habitar (Heredia, 2016). Actuar conforme al plan al mismo tiempo que establecen relaciones funcionales, permite entender tanto la diversidad y la competencia adaptativa, pero también la simbiosis y la cooperación, tan difícil de explicar solo desde la competencia darwiniana.

Las capacidades perceptivas de un organismo están determinadas por su estructura biológica, la cual condiciona el plan estructural específico que define su forma y función. Con esta base, los organismos construyen activamente su entorno en una relación dinámica. Este proceso de retroalimentación, o ciclo funcional, describe cómo los organismos interactúan con su entorno a través de ciclos de percepción y acción.

Si bien Uexküll no determinó el Bauplan, la estructura biológica y funcional del ser humano determina su "Umwelt" (mundo circundante). Los humanos percibimos y actuamos en el entorno de manera específica, basada en sus capacidades perceptivas y cognitivas. En este sentido, debido a nuestro "Bauplan", los humanos tenemos la capacidad de modificar y construir activamente su entorno (construcción de viviendas, ciudades, tecnologías). Es decir, actuamos activamente en el entorno físico (arquitectura, urbanismo) como el

La Merkwelt depende de las capacidades sensoriales del organismo. Cada especie tiene una Merkwelt única basada en sus sentidos, como la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto. Así, portadores de significado, son elementos del entorno que un organismo puede detectar dentro de su Merkwelt. Así, la Merkwelt está compuesta de Bedeutungsträger que son relevantes y percibidos por el organismo.

³⁵ “Lo que une a todas las relaciones existentes en un cambio continuo pero reglado es la conformidad a plan. El medio para que esta pueda imponerse lo constituyen los impulsos genéticos, actuantes en el protoplasma. Pero lo primario es la relación” (Uexküll, Cartas biológicas a una dama, carta séptima)

entorno social y cultural (sociedades, sistemas de creencias). La interacción continua entre percepción y acción forma un ciclo de retroalimentación donde los humanos percibimos el entorno, actuamos sobre él y luego percibimos nuevamente los resultados de sus acciones.

Así, la capacidad humana para territorializar y construir *su* entorno es una manifestación directa de su "Bauplan". Esta habilidad ha llevado a la creación de complejas estructuras sociales, económicas y tecnológicas. Es decir, el "Bauplan" humano incluye capacidades biológicas innatas que facilitan la creación y el uso de herramientas, el desarrollo del lenguaje y la formación de estructuras sociales. El Bauplan, no es el objetivo final del habitar, sino el esquema estructural y funcional que posibilitan y guían cómo un organismo habita su entorno. El objetivo del habitar es la supervivencia, la adaptación y el bienestar del organismo y esto se logra a través de la continua interacción dinámica con el entorno, una interacción que está fundamentada en Uexküll en el Bauplan del organismo. Es decir, así como las capacidades perceptivas y motoras básicas están determinadas por el bauplan, también lo están las capacidades que permiten el desarrollo cultural y tecnológico.

El Umwelt humano también incluye elementos culturales y tecnológicos, ya que la manera en que percibimos el mundo está influenciada por nuestra cultura y tecnología. Podemos decir que la tecnología amplía nuestras capacidades perceptivas y de acción, modificando y extendiendo nuestro Umwelt. Construimos activamente el entorno cultural y tecnológico, lo que constituye una extensión de la territorialización del entorno. La construcción de ciudades y edificios, pero también de sistemas IoT y IA son ejemplos de cómo moldeamos el entorno. Esta construcción activa es realimentada, bidireccional: el entorno cultural y tecnológico también moldea a los humanos. Los sistemas culturales y las innovaciones tecnológicas influyen en cómo percibimos y actuamos en el mundo, nuestra cosmovisión. Moldean tanto nuestras percepciones, el modo que comprendemos el mundo y, por ende, nuestro comportamiento.

Esto resulta de lo más relevante en nuestro caso. Como tecnología emergente, los edificios inteligentes, siguiendo el sistema de Uexküll, ampliarían la capacidad de percepción y acción directa con el entorno (Funktionskereich) y a la vez con la interacción con otros dispositivos tecnológicos y construcciones culturales. La tecnología y la cultura forman parte integral de nuestro entorno y cómo interactuamos con él. Es decir, introducen niveles adicionales de retroalimentación compleja, que no sólo modifican el entorno natural, sino también, nuestras futuras percepciones y acciones. Modifican los sistemas de pensamiento con los que construimos los modelos del mundo.

Ahora estamos en condiciones de justificar que la forma con la que establecemos la relación con la naturaleza está muy determinada por la técnica. Podemos rastrear este enfoque en autores muy dispares entre sí. Por ejemplo, Bernard Stiegler (1952-2020) argumenta que la técnica no es una herramienta neutral, sino que da forma a nuestra experiencia del mundo, incluida nuestra relación con la naturaleza (Stiegler, 2018). Gilbert Simondon (1924-1989) propuso el concepto de "individuación técnica" para explicar cómo la técnica y la naturaleza se co-constituyen (Simondon, 2007). Donna Haraway (1944-) desarrolló el concepto de "cyborg" para desafiar la dicotomía tradicional entre naturaleza y cultura, proponiendo una visión del mundo en la que los humanos y las máquinas están inextricablemente ligados (Haraway, 2019a, 2020). Bruno Latour (1947-2022) establece que no hay una distinción clara entre humanos y no-humanos, y que todos los actores,

tanto humanos como no humanos, participan en la construcción de la realidad. En este sentido la técnica participa activamente en la construcción de la realidad, a la que da forma y la transforma. Los instrumentos científicos, no solo permiten observar la naturaleza, sino que permiten construir un concepto de la naturaleza, al tiempo que la modifican (Latour, 2014, 2019). Heidegger (1889-1976) argumenta que la tecnología no es una herramienta neutral, sino que revela nuestra forma de ser en el mundo. La técnica tendría su propia lógica habiéndose perdido el control sobre ella, y estar al dictado de su agenda. Sin embargo, su salida hacia *la poiesis*, lo trascendente y una vuelta a la tierra seudo nostálgica, nos remite un concepto romántico y bucólico de la naturaleza pastoril (Heidegger, n.d., 1994). Sloterdijk argumenta que la naturaleza ha dejado de ser un reino prístino y externo a la cultura humana, para convertirse en un espacio gestionado, manipulado y artificializado por la tecnología a escala e impacto global (conceptos de Antropoceno, tecno-esquema e hiper-objetos) (Sloterdijk, 2014, 2018).

La visión de Heidegger se centra en el conflicto. Para él la relación entre el ser humano y la tierra es conflicto, no en términos de discordia o destrucción, sino de esencia. Es la “subsunción” de la “proveniencia del propio del propio ser”. Es la apertura del propio hombre lo que le da apertura a la tierra, el “libre impulso liberado de su cerrarse”. Si bien reconoce que el mundo “no puede liberarse de la tierra”, el ser humano puede ir más allá. Así en el curso sobre Parménides, la pólis es definida como “lugar esencia del hombre, debe dominar toda oposición extrema”

Ya Walter Benjamin, nos advierte que “la técnica no es el dominio de la naturaleza, sino dominio de la relación entre naturaleza y humanidad. Si bien los hombres como especie, llegaron hace decenas de miles de años al término de su evolución, la humanidad como especie está aún al principio de la suya (Benjamín, Walter, Dirección única, Alfaguara, Madrid, 1987, p. X)

Así, ni es una relación de dominio del ser humano sobre la naturaleza, ni la naturaleza al hombre, ni tampoco, una superación por un tercer término (como podría ser la IA): “la máquina antropológica ya no articula naturaleza y hombre para producir lo humano por medio de la suspensión y la captura de lo inhumano. La máquina [...] se halla en suspenso [...] para lo que quizás no disponemos todavía de nombres y que ya no es ni animal ni hombre, se instala entre naturaleza y humanidad, y se mantiene en la relación dominada” (Agamben, 2010, p. 106)

Para Deleuze y Guattari, la técnica, no es una mera mediación, sino que la determinan en gran medida ya que la técnica está llena de valores, transforma nuestra comprensión de la naturaleza. Es más, la crea, como cuando permite hacer cosas que no eran posibles. No sólo cambia nuestra forma de ver el mundo, sino que también puede transformar la realidad en un proceso continuo de devenir (Deleuze & Guattari, 2015).

La visión de Uexküll implica que no hay vida humana sin habitar un lugar, concreto, definido, con propiedades en un marco conceptual y conjunto de valores, definidos en cómo interpretamos y entendemos el mundo. Desde esta perspectiva, habitar, *hábitus* también es una forma de repensar la inmensa red de relaciones con el mundo, tanto conscientes como inconscientes que podemos establecer con nuestro cuerpo dentro de una estructura del pensamiento. El aforismo de Spinoza “*nadie sabe qué no puede pensar un cuerpo*”, es también una pregunta sobre cómo nos insertamos y sumergimos en el mundo de manera integral (Naess, 1995).

Establecemos así, un habitar que comprende *más Habitare*, es el frecuentativo de *habito*, para Agamben designa no situación fáctica, sino un modo de vida. Así, *habitare*, que significa tener, no denota una *posesión*, sino más bien alcanzar una condición o virtud de vivir: “algunas personas podían morar por largo tiempo como huéspedes en un monasterio, pero no pueden *habitar en él*” (Agamben, 2011, p. XX). Se establece una clara diferencia entre simplemente *estar* y el habitar. *Habitus*, denota tener “un modo de ser o de actuar”, por lo que habitar no significa tan solo compartir un lugar y unas costumbres, (como la vestimenta, también *hábito* o el tipo de vivienda), sino sobre todo compartir un modo de “habitar”, una forma de vida.

En Bourdier, *Habitus*³⁶ (Bourdieu, 1998) se remonta al concepto aristotélico de *hexis*, estado o posesión expresando cómo percibimos el mundo y se actúa en él. Así, habitar conforma un campo de relaciones sociales, más que un lugar concreto. No es así para el también sociólogo francés Bruno Latour, para el cual, el habitar y el *hábitat* están en continuidad, por lo que “definir el primero, es definir a los segundos y viceversa” (Latour, 2021a, p. 22). Es decir, el *hábito* y el habitar, para Latour, conforman lo que denomina *condiciones de habitabilidad del planeta*. **Estas condiciones son las que nos definen**. Por consiguiente, cómo conceptualizamos e interpretamos estas condiciones, somos: no hay urbanita sin ciudad, como no hay “termita sin termitero, araña sin tela e indio sin selva”. Es más, “no pueden existir” (Latour, 2021a, p. xx).

La cultura y la tecnología influyen profundamente en cómo percibimos el mundo, en nuestros comportamientos, y en nuestra cosmovisión, de la cual derivan nuestros valores. En el sistema de Uexküll, estos factores amplían y transforman nuestro *Umwelt* y nuestro círculo funcional, haciendo que nuestras interacciones con el entorno sean aún más complejas y dinámicas. La realimentación constante asegura que nuestro habitar se ajuste y evolucione en respuesta a las nuevas condiciones culturales y tecnológicas, reflejando la complejidad de nuestra existencia y nuestras interacciones.

Mutaciones

En el habitar de Uexküll de forma implícita, y en habitar de Agamben y Bourdier de forma explícita, la cultura y la tecnología son fundamentales para entender cómo percibimos el mundo. Dicho de otra manera, ni la tecnología ni la cultura son neutras en el modo en el que habitamos la Tierra. Por lo tanto, los edificios como resultante de la cultura y de la tecnología, sean inteligentes o no, tampoco son neutros. Ambas se realimentan para establecer un concepto de naturaleza, de la que resulta una forma de entenderla y relacionarse con ella. Una manera de estar en el mundo.

Para Gilles Deleuze³⁷ (Deleuze, 2014) el humanismo y el racionalismo, habían trazado una nítida separación entre los hombres y la naturaleza. Para superarla, Deleuze propone

³⁶ “El *habitus* se define como un sistema de disposiciones durables y transferibles -estructuras estructuradas predispuestas a funcionar como estructuras estructurantes- que integran todas las experiencias pasadas y funciona en cada momento como matriz estructurante de las percepciones, las apreciaciones y las acciones de los agentes cara a una coyuntura o acontecimiento y que él contribuye a producir” (P. BOURDIEU, *Esquisse d'une théorie de la pratique, précédé de trois études d'ethnologie kabyle*, Droz, Ginebra, 1972, p. 17)

³⁷ “Ya no será Dios y ya no será el hombre. Y no es nuestra culpa, no hay nada de malo en decirlo: es la muerte del hombre. Evidentemente es la muerte del hombre en provecho de otro compuesto. Hay cambio de forma. ¿Y de qué nos habla hoy cualquier libro? Ya no se habla del hombre como sujeto. El sujeto, o

pensar en el ser humano³⁸ como “*un tipo de fuerza y únicamente un tipo de fuerza*”. Una fuerza capaz de entrar en relación con otras fuerzas. Cada cambio en esta relación la denominó mutación. Mucho antes, Spinoza había tratado de superar la separación cartesiana entre cuerpo y mente, materia y pensamiento, mediante el poder de afectar y ser afectado. Esto implica una relación dinámica y compleja entre lo que se piensa, la manera de vivir y lo que se construye o se propone. En palabras de Deleuze sobre la teoría de Spinoza:

“Es tan importante lo que lees, escuchas, experimentas como qué está haciendo tu cuerpo cuando lees, escuchas o piensas (beber vino, estar sentado, con música que te desconecta de tu cuerpo, caminando sin conexión con tu cuerpo, o caminando en comunión con tu caminar y el medio en el que estás). El paralelaje implica que son procesos independientes (cuerpo y pensamiento, que no se comunican) pero que todo lo que ocurre en el cuerpo ocurre en el pensamiento, y viceversa. Para el humano, no hay vida sin pensamiento ni vida sin cuerpo. Toda experiencia, sensación o conocimiento, lo es en nuestros dos modos” (Deleuze, 1984a, p. 149)

Como se ha explicado, Spinoza estableció un sistema filosófico completo desde la intuición de la idea de conjunto. “Deus sive Natura”, significa que todo es una manifestación de esta sustancia única que tiene cualidades esenciales, denominadas atributos. De los infinitos atributos que expresan la esencia de esta sustancia única, los seres humanos solo conocemos dos: pensamiento (*mens*) y extensión (*extensio*). Estos atributos para Spinoza son independientes y no interactúan, a esto lo denominó *paralelaje*. Los atributos son *modos*, es decir, formas específicas en las que la sustancia se manifiesta. Así, la mente y el cuerpo son modos de la misma realidad. Cada idea en la mente (un modo de pensamiento) tiene una correlación directa con un estado en el cuerpo (un modo de extensión), y viceversa. Es decir, en el sistema de Spinoza no hay causalidad directa entre estos dos modos, sino que ambos son expresiones paralelas de la misma realidad subyacente, la sustancia única. Desde este sistema, podemos entender el mundo de una manera integrada, donde lo mental y lo físico no están separados, sino que son manifestaciones de una misma esencia³⁹. Este modelo también implica que el cuerpo “supera el conocimiento que de él se tiene, y el pensamiento supera en la misma medida que se tiene de él” (Deleuze, 1984a, p. 29).

Hemos planteado que el sistema de Spinoza implica un pensamiento tal que recoge los efectos, pero ignora la causas. Ya sean el cuerpo o el mundo en su extensión, cada idea en

compuesto, es el sistema llamado hombre-máquina. La máquina energética no formaba un sistema hombre máquina. Lo que forma con el hombre un sistema hombre-máquina son las máquinas de tercera generación, nuestras máquinas, las máquinas de nuestra edad, la edad del silicio” (Deleuze, 2014, p.236)

³⁸ En todo el texto procuraremos referirnos a nosotros mismos como humanos, es decir, *humus*-, procedentes de la tierra. Cuando escribamos “hombre”, se hará en términos históricos, para denotar que ciertas formas de pensamiento no solo implicaban una separación en términos de naturaleza, sino también entre el hombre y la mujer. *Humus*-, -humus-, esa capa casi infinitesimal que poco a poco ha cubierto el planeta, que aprovecha y transforma todo lo que el planeta es capaz de producir. Es decir, somos nosotros. *Humus*-, humo en el que cada cosa que somos, cada cosa que hemos construido acaba disuelta otra vez en la tierra, pero no aniquilada (Lucrecio, 2012, p.93).

³⁹ Para Spinoza, “cuanto más conocemos las cosas singulares, tanto más conocemos a la Naturaleza” Spinoza, Parte V, Proposición XXIV. Para Naess, el concepto del “relaciones internas” son útiles precisando la interconexión de las partes y el todo. (Ver: Naess, Arne. Spinoza: His Thought and Work, Israel Academy of Sciences and Humanities, 1938, 160-75)

el pensamiento está constituida por relaciones que incorporan las partes de ese cuerpo. Se trata pues, de relaciones y de encuentros (*occursus*), no todos iguales. Un encuentro puede componer formando algo nuevo, más poderoso, o bien descomponer y destruir (ética II, 15). El orden de las cosas está constituido por un devenir continuo de composición y descomposición de relaciones que afectan constantemente a toda la naturaleza. Así expresado, lo que percibimos son los efectos de estos encuentros. Como se ha desarrollado, para los vivientes, estos encuentros generan alegría cuando un cuerpo o una idea se compone con nosotros; o de tristeza, cuando descompone. Sólo recogemos lo que le sucede a nuestro cuerpo o a nuestro pensamiento, es decir, el efecto de un cuerpo sobre el nuestro, de una idea sobre la nuestra (Spinoza, Ética II 28-29).

Siguiendo a Spinoza, para Deleuze tampoco podemos separar las cosas que llamamos naturales de las artificiales. El artificio forma parte por completo del plan de la Naturaleza, que no se define por objetos, sino por movimientos dinámicos que se interrelacionan continuamente. En términos spinozistas, la vida y la capa en la que ocurre —biosfera⁴⁰—, serían el conjunto de afectos y afecciones entre la Tierra y los seres vivos. Es decir, el comportamiento de los seres vivos en un medio. La tecnosfera, el conjunto de relaciones entre los vivientes y la tecnología, cuyo uso es capaz de modificar la biosfera, es lo que podría denominarse también “*tecnosimbiosis*”. Ésta es la etología⁴¹ propuesta, una capaz de estudiar los afectos que se establecen entre lo orgánico y lo inorgánico, entre los animales y los seres humanos, no entendidos ni como objetos, ni como individuos, sino como relaciones. Una que fuera capaz de establecer las conexiones entre la naturaleza y el modo en el que los humanos habitamos la Tierra. Y que, por lo tanto, pudiera aplicarse al estudio y despliegue activo de la arquitectura.

La combinación de las interrelaciones entre tecnología y cultura da lugar a nuevas mutaciones que incluyen nuevos conceptos de naturaleza y, por lo tanto, la forma en la que habitamos. La actual emergencia de las tecnologías digitales no puede ser considerada como la primera de las mutaciones, ni por supuesto, la última. Para Deleuze, durante el s.XVII el ser humano entra en relación con la noción de infinito, “Dios”, lo que supuso un cambio radical hacia la abstracción. En el s.XIX Deleuze detecta otra mutación, otro cambio de relaciones. Esta vez se trataría de una relación con las fuerzas de lo finito. Se clasifica y separa desde la biología hasta el trabajo, incluyendo el lenguaje. Todo es objeto de cuantificación, económica y energética. Se establece la ciencia como una disciplina descubridora, contabilizadora y clasificadora. Lo importante para Deleuze es que estas fuerzas de lo finito son exteriores, es decir, se imponen sobre el ser humano. **El trabajo**

⁴⁰ El término fue acuñado por el geólogo Eduard Suess en 1875 pero el concepto ecológico de biósfera se inicia en la década de 1920 con Vladimir I. Vernadsky, precediendo a la introducción en 1935 del término ecosistema por Arthur Tansley. La biosfera es un concepto de la mayor importancia en astronomía, geología, climatología, paleogeografía, biogeografía, evolución y, en general, en todas las ciencias que tratan sobre la vida de la Tierra. Incluye a todos los ecosistemas, ya sean gigantes o extremadamente pequeños. Abarca todo lo que está vivo o ha estado vivo. Por tanto, si algo tiene vida es parte de la biosfera. La biosfera es tan antigua como el primer organismo vivo y se calcula que tiene unos 3.500 millones de años. Se estima que esta capa se extiende desde 10 km sobre el nivel del mar, hasta 10 km bajo la tierra y unos 7 km bajo el océano. Solo se conoce vida dentro de la biosfera. La energía solar constituye su fuente primaria de energía. La vida de la biosfera está interrelacionada, por lo que, si se afecta a una zona, se está afectando al resto.

⁴¹ Del griego «ἦθος» *ethos*, costumbre, y «λόγος» *logos*, razonamiento, estudio, ciencia. La etología estudia el comportamiento de los seres vivos en su medio natural. Podemos considerar a Uexküll como un precursor de la etiología antes que Konrad Lorenz.

como esfuerzo y tiempo. La finitud entendida como nuestros propios límites. La resultante es que nos pone en el centro: “ya no es Dios, es el hombre”. Las fuerzas de relación están en mutación. Las formas de estas fuerzas en continuo cambio, lo que implica un cambio de la *forma-humano* en otro *forma-humano*. Es el mismo principio que en Uexküll, pero expresado de forma que se extienda más allá de la biología. Para Deleuze, debe entenderse *forma* como un compuesto de fuerzas que entran en relación con las fuerzas del afuera. De esta combinación sale algo nuevo. Cada una de estas mutaciones, para nosotros, supone un nuevo habitar.

En ningún caso decimos que el ser humano vaya a desaparecer, o que la vida de la Tierra vaya a terminar. Sino que estamos en tiempos convulsos con el “advenimiento” de unas nuevas formas de relación entre las que destaca la propia (re)definición del ser humano con respecto a la naturaleza. La hipótesis de que el ser humano es algo distinto de la naturaleza, ya no se sostiene: tras un largo proceso el hombre “re-deviene” animal (Kojève, 2013, p. 436). Cuando estas nuevas fuerzas se componen con el ser humano, es cuando podemos hablar de mutación. Hay mutación cuando las fuerzas que componen al ser humano —que son variables—, entran en relación con nuevas fuerzas del afuera. Repetimos, no es que vayamos a desaparecer en medio de catástrofes insalvables, sino que nos enfrentamos con nuevas formas de entender el mundo y la vida, nuevas formas de entender el modo en el concebimos nuestra existencia y, por ende, el habitar como expresión de la forma en la que los seres humanos habitamos en el medio. La arquitectura, solo puede ser la forma construida de estos modos.

Es decir, **nuevos problemas-modos de habitar que no hay que resolver, sino que nos definen.** Ya no podemos pensar en arquitectura cómo clásicos, ni menos como románticos o modernos, no nos podemos aquietar con simplificaciones idealistas o reduccionismos materialistas. Es en este sentido que decimos, “estamos mutando”. Los problemas han cambiado y nosotros mutamos con ellos⁴², ya que las fuerzas que nos definen son otras. Las fuerzas del presente eran inimaginables ayer. Su construcción definirá nuestro habitar.

Es decir, la pregunta que se lanza ahora es, ¿con qué nuevas fuerzas nos estamos conformando? ¿Son interiores o del afuera? Si partimos de la cibernética, se podría introducir la realimentación como la fuerza que se despliega. Si definimos **proceso** en términos de Whitehead (Whitehead, 1956) encontramos que la realimentación está en la base de la biología así como lo está en nuestros actuales sistemas técnicos.

Expliquémonos con un ejemplo simple. Cuando, arquitectos o no, entramos en contacto con un sistema con realimentación como un ordenador, la forma en la que nosotros, en cuanto que compuestos de fuerzas, nos relacionamos con él, cambia⁴³. Pero no sólo cambia la relación de nosotros con la arquitectura como técnica de representación, sino

⁴² Se actúa como si la discusión estuviera aún si somos o no somos el centro del universo, si la teoría de la evolución basada en la selección y el azar, fuera solamente una entre miles de opciones que todavía hay que probar, o como si el hombre fuera una creación ex novo, sobre una naturaleza para su dominio —y extracción—. Está bien para mentes que necesitan el equilibrio; respuestas simples y reconfortantes que dieron base a sistemas de pensamiento del pasado. Algunos, todavía no parecen entender que ya no hay más centros locales, ni somos la única especie sobre un planeta, que definitivamente no nos tenía como fin(alidad).

⁴³ “¿Qué nueva fuerza enfrenta el hombre? Es bien sabido. ¡Hablemos del ordenador! ¿Por qué no hablamos del ordenador, si todo el mundo habla de él? Desde el momento en que tocan un ordenador las fuerzas componentes en ustedes entran en relación -no tienen necesidad de saberlo- con una fuerza de tipo completamente distinto” (Deleuze, 2014, p. 287).

que cambia, también, cómo concebimos el habitar. Para el arquitecto el concepto de habitar ha cambiado a lo largo del tiempo. Desde cuando el arquitecto entraba en contacto con las máquinas de primera generación — mecánicas de la época clásica: como los nuevos materiales y estructuras, a cuando contactaba con las de segunda generación — las máquinas energéticas: calderas y aire acondicionados⁴⁴ —, a las que se les escondía en sótanos y patinillos, relegadas por la arquitectura a ser acondicionadores ambientales. El encuentro del ser humano, y por lo tanto de la arquitectura, con las máquinas informáticas —tercera generación—, para Deleuze, es otro tipo de fuerza⁴⁵. Cuando actuamos con ella se establece un nuevo sistema (humano-tablet, móvil, ordenador, internet...) donde hay cambio de forma y aparece un nuevo compuesto, del que se deriva un nuevo habitar.

Máquinas no triviales.

La cuestión es preguntarse por esta diferencia entre las fuerzas que introducen las máquinas clásicas (como poleas, relojería, mecánicas en general) o termodinámicas (calderas, motores, turbinas, etc.) con las fuerzas que introducen las fuerzas cibernéticas o de segundo orden. Para Deleuze, éstas son completamente a las anteriores ya que “las fuerzas componentes en el hombre afrontan o van a afrontar fuerzas del afuera de otra naturaleza” (Deleuze, 2014, p. 239), producirán, están produciendo, un nuevo compuesto.

En primer lugar, las máquinas clásicas, los mecanismos y engranajes remiten al Siglo de las Luces, “el Todopoderoso se convierte sobre todo en el Gran Relojero” (Peirano, 2009, p. ix). La precisión del movimiento perpetuo, mecánico, infinito, calculable, medible y predecible del reloj corresponde un Universo con las mismas propiedades. Para Julien Offray de La Mettrie en su tratado “El hombre máquina”, el “el cuerpo humano no es más que un reloj cuyo relojero es cada nuevo inquilino [...] el cuerpo humano es un reloj, aunque inmenso” (La Mettrie, 1963, p. 92). Para la época clásica, la Naturaleza es racional, y por lo tanto inteligible y asimilable. Es decir, las fuerzas de lo infinito producen la metáfora de los seres vivos como “autómatas” y la Naturaleza, regida por leyes inmutables y perpetuas a las que el *hombre*, mediante su mente, es capaz de acceder.

Descartes⁴⁶ con su concepto de mente (racional) inextensa llevaría la escisión entre el cuerpo como máquina y la mente, como pensante y atributo único de los humanos y de

⁴⁴ Los sistemas de climatización han permitido generar unas condiciones homogéneas independientemente de la configuración arquitectónica y urbanística. Estos sistemas, además, han sido pasivos y unidireccionales, no generando apenas información sobre cómo se vive las ciudades y en las viviendas (Ver: Manifiesto termodinámico; Ábalos, Iñaki, XX)

⁴⁵ “El silicio releva al carbono con máquinas llamadas de tercera generación. ¡Justamente, es maravilloso! Pues las máquinas de primera generación, del tipo polea, mecanismos de relojería, etc., remiten a la edad clásica. Las máquinas de segunda generación, llamadas energéticas, la máquina a vapor, remiten al siglo XIX. Y se nos dice que actualmente es la época de las máquinas de tercer tipo, las máquinas informáticas, de calcular, etc., etc. Las fuerzas componentes en el hombre entran en relación con un nuevo tipo de fuerzas. ¿Qué será ese compuesto? Ibid., p. 287

⁴⁶ Esta idea la reafirma en Objeciones y respuestas: Porque en la Sexta Meditación, donde traté la distinción entre la mente y el cuerpo, también probé al mismo tiempo que la mente está sustancialmente unida con el cuerpo. Y los argumentos que usé para probar esto son tan fuertes como cualquiera que pueda recordar haber leído. Ahora bien, quien dice que el brazo de un hombre es una sustancia realmente distinta del resto

Dios, a una dualidad tan extrema como operativa. En su sistema, el cuerpo es solo un mecanismo⁴⁷, y los animales, solo mecanismos. Su argumento central es que solo los seres humanos están compuestos por dos partes, el cuerpo (*res extensa*) y una mente (*res cogitans*) que interactúan entre sí. Lo fundamental para nosotros de esta aproximación cartesiana, es que los cuerpos se encuentran en un espacio finito, divisible, mensurable y se rigen por las mismas leyes mecánicas que el resto de los objetos y procesos del mundo. Presupone extensión, “no se es más que un modo de esa cosa extensa” (Descartes, 1969a, LIII, p. 240). Por el contrario, la mente estaría fuera de esta categoría, no ocupando ni un espacio concreto ni sigue las leyes de la mecánica. Presupone inextensión e indivisibilidad, “cosa pensante”⁴⁸. De todo ello se deriva un modo de habitar dissociado de la Tierra y del cuerpo, una Naturaleza como Ley, de la que emergería toda la arquitectura clásica (abstracta, ordenada y matemática).

Es decir, nuestras mentes están en nuestro cuerpo solo de forma circunstancial, dado que no ocupan espacio⁴⁹. Una de sus bases es que nuestra mente solo es accesible para cada uno de nosotros por medio del pensamiento, mientras que solo podemos conocer a las demás de forma indirecta, por medio de la interacción de los cuerpos. Sin bien el sistema de Descartes es muy complejo, y él mismo consideraba que la mente y el cuerpo estaban juntas y unidas “no estoy solamente alojado en mi cuerpo como un piloto en su navío, sino que estoy unido a él muy estrechamente, confundido y mezclando de tal manera que compongo como él como un solo todo” (Descartes, 1969b, p. 192). El dualismo no solo ha dominado el debate en psicología, con el énfasis entre la psique y el cuerpo, sino que reforzó la primacía del espíritu sobre el cuerpo. Parece que hubiera habido una

de su cuerpo, no niega que por ello que el brazo pertenece a la naturaleza del hombre total. Y decir que el brazo pertenece a la naturaleza del hombre entero no hace sospechar que no pueda subsistir por sí mismo.

De la misma manera, no creo haber probado demasiado al mostrar que la mente puede existir aparte del cuerpo. Tampoco creo haber demostrado demasiado al decir que la mente está sustancialmente unida al cuerpo, ya que esa unión sustancial no impide que tengamos un concepto claro y distinto de la mente en sí misma, como una cosa completa. El concepto es, pues, muy diferente del de superficie o de línea, que no pueden entenderse como cosas completas a menos que les atribuyamos no solo largo y ancho, sino también profundidad (Descartes, 1985a, p. 160). Descartes, R. (1985a). Fourth Set of Objections. En J. Cottingham, R. Stoothoff & D. Murdoch (Trans.), *The Philosophical Writing of Descartes* (vol. 2, pp. 138-178). Cambridge University Press, doi:10.1017/CBO9780511818998.021

⁴⁷ “Estos hombres de los que hablo estarán compuestos por una alma y un cuerpo [...] Supongo que el cuerpo no es otra cosa que una estatua o máquina de tierra a la que Dios forma con el propósito de hacerla tan semejante a nosotros como sea posible, de modo que no solo confiere al exterior de la misma el color y la forma de todos nuestros miembros, sino que también dispone en su interior todas las piezas requeridas para lograr que se mueva, coma, respire, y en resumen, imite todas las funciones que nos son propias, así como cuantas podemos imaginar que tienen su origen en la materia y solo dependen de la disposición de los órganos. Conocemos relojes, fuentes artificiales, molinos y otras máquinas similares [...] supongo que son iguales en todas aquellas partes de nuestro cuerpo” René Descartes, *Tratado del Hombre*,

⁴⁸ Hoy en día, cuando se afirma que la Inteligencia Artificial es Inteligente, se sigue cayendo en el error cartesiano de que la inteligencia radica en el pensamiento abstracto, sin vinculación no solo con la Tierra y los otros seres vivos, sino incluso, con el propio cuerpo. El sistema cartesiano es enormemente operativo, no solo porque supo conciliar los principios del cristianismo con la ciencia, sino porque ponía al ser humano por encima de todo el resto de los vivientes, y la Naturaleza, en cuanto previsible, al servicio de la ciencia y la tecnología.

⁴⁹ Descartes sí que la localizó: “Recordando lo que se ha dicho antes acerca de la máquina de nuestro cuerpo [...] es posible añadir ahora que la pequeña glándula, sede principal del alma (Descartes, 1969c, XXXIV, p. 347)

transformación del concepto del alma, hacia la mente, para convertirse en la actualidad en el concepto de inteligencia.

En segundo lugar, el ser humano enfrenta con las fuerzas termodinámicas o energéticas. Para Michael Serres, estas fuerzas trastocaron el mundo tradicional dando lugar al actual, que impulsado por la energía proporcionada por las fuentes del carbono, ha sido capaz de erigirse en fuerza planetaria. Este nuevo mundo reemplazó la mecánica newtoniana de por una cultura del calor y la energía cinética (Serres, 1982, pp. 36-71). La termodinámica impulsa los procesos energéticos, con el que el ser humano puede habitar independientemente de sus condiciones biológicas. El ser humano consigue moverse, trasladar alimentos y resguardarse de la adversidad de las condiciones climáticas por medio de procesos termodinámicos. Son máquinas que proceden por diferenciación y especialización de componentes, de ramificaciones de procesos, de separación por componentes. A su vez, el carácter probabilístico que Ludwing Boltzmann (Ludwig, 1986) da a la termodinámica, altera los cimientos mismos de la ciencia y rompe con la imagen armoniosa y precisa de la realidad. La primera y segunda ley de la termodinámica imponían férreos límites a la propia Naturaleza a la par que sustituyen el carácter determinista de las leyes clásicas por la contingencia y el azar.

Para Deleuze, la irrupción de la termodinámica supone la deflagración y dislocación de la naturaleza, toda la fuerza del hombre se “repliega” (Deleuze, 2014, p. 339) sobre fuerzas del afuera que ahora son de finitud, segmentación y clasificación: *“la casa está segmentarizada según el destino de sus habitaciones; las calles, según el orden de la ciudad; la fábrica según la naturaleza de los trabajos y las operaciones. Estamos segmentarizados binariamente”* (Deleuze & Guattari, 2015, p. 214).

Para el arquitecto Luis Fernández-Galiano estas fuerzas de lo infinito y lo limitado se convierten en dos arquitecturas (Fernández-Galiano, 1991). Una basada en las leyes solares y otra, las del fuego. Así, la primera *“supone un aprovechamiento pasivo del mundo ordenado de las trayectorias”*; las segundas, *“un aprovechamiento activo del mundo caótico de la combustión. El orden construido se opone al desorden combustible, la mecánica celeste a la termodinámica terrestre, el sol relojero al fuego impredecible [...] esta oposición formidable, ontológica y existencia, entre el sol y el fuego alimenta y devora toda nuestra cultura”*. Para Fernández-Galiano, Le Corbusier representa la primera: una arquitectura que solar, con sus ciclos y trayectorias matemáticas, llenas de precisiones, elementos cartesianos y previsibles: *“el sol diseña [para Le Corbusier] la arquitectura, unívoca y obligadamente, a través de los ciclos regulares y ordenados de la revolución y la órbita anual”*. Por el contrario, la arquitectura de F.L. Wright representa para Fernández-Galiano, la termodinámica. Encuentra en la obra de Wright que es el calor, incluido el del sol, la impulsora de cambios, de *“agitación e intercambio, movimiento y nacimientos, interacción e imprevisibilidad [...] el fuego, fuente de transformaciones”* (Fernández-Galiano, 1991, pp. 44-45).

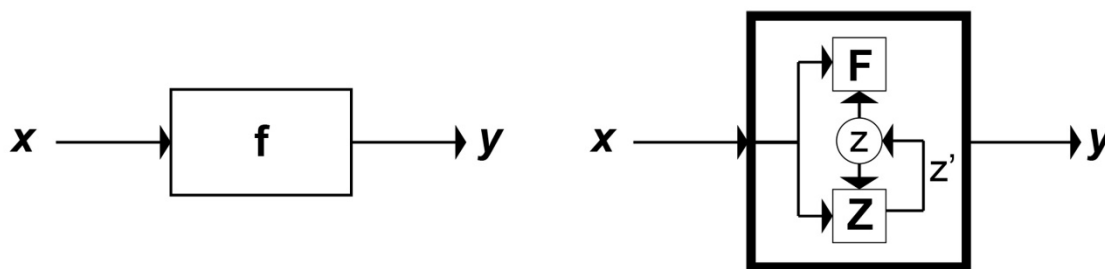
En tercer lugar, están las máquinas cibernéticas, dispositivos informáticos y computadoras de segundo orden. La cibernética de primer orden, desarrollada por Norbert Wiener, como termostatos y otros automatismos, se centra en el estudio de los sistemas desde una perspectiva externa y objetiva. Se enfoca en cómo los sistemas pueden ser controlados y regulados mediante realimentación negativa para alcanzar objetivos definidos. La

cibernética de segundo orden, desarrollada por Heinz von Foerster (Foerster, 2005; Foerster et al., 2008; von Foerster, 2003) incorpora al observador dentro del sistema, estableciéndose una influencia mutua entre observador y el sistema observado. Esto introduce que el observador es parte integral del sistema: la observación y la descripción del sistema no son independientes del observador. Introduce la autorreferencia y reflexividad, es decir, cómo los sistemas se describen a sí mismos y cómo intervienen los observadores. En este caso, la realimentación es recursiva, es decir, no solo de control interno sino en cómo los sistemas cambian en respuesta a sus propias acciones y percepciones. Para Niklas Luhmann, no tan solo las computadoras o la inteligencia artificial son cibernética de segundo orden, sino también cualquier sistema en el que la observación y las acciones del observador afectan al comportamiento del sistema.

Así, para Deleuze el ser humano entra en relación con una fuerza completamente diferente. No se trata sólo de que es una fuerza de origen inorgánico, esto es, basada en el silicio, que se contrapone con las anteriores basadas en el carbono, sino que es una fuerza que, por su propio funcionamiento, su comportamiento es dependiente de la historia, analíticamente indeterminable e impredecible (Foerster, 2005, p. 153). Para von Foerster que este tipo de máquinas sean analíticamente indeterminables, suponen añadir más limitaciones, que junto el Teorema de incompletud de Gödel, el Principio de incertidumbre de Heisenberg y el Principio de indeterminación de Gill, suponen el marco del alcance del conocimiento. Suponen un concepto en el que infinito, el concepto Naturaleza como un todo carece de sentido. Para Jorge León Casero, esto significa que solo tiene sentido hablar de distintos sistemas, sistemas que inter-conectan. Hay sistemas interconectados, no un sistema. Deleuze lo denominará, lo finito ilimitado⁵⁰. Es decir, lo único que tiene sentido es el límite de un sistema. Para Jorge León, sin hay límite es porque luego hay otra cosa. Estas limitaciones nos llevan a pensar que “lo único que hace falta es no reducir la naturaleza a un sistema”. Para Luhmann, para que la cibernética opere, es necesario que existan diferencias, que se puedan hacer distinciones.

Foerster, llamó a estas máquinas de segundo orden, máquinas no-triviales para distinguirla de las máquinas cibernéticas de primer orden, o triviales. Para von Foerster una máquina trivial es un sistema determinista que siempre produce la misma salida para una entrada dada, por lo que su comportamiento es predecible y repetitivo, sin posibilidad de sorpresa o cambio. Por el contrario, una máquina no-trivial es un sistema estocástico o caótico que puede producir diferentes salidas para la misma entrada, dependiendo de su estado interno y condiciones iniciales, por lo que su comportamiento es impredecible y puede mostrar patrones complejos o caóticos (León Casero, 2019). Es decir, las máquinas no-triviales cambian su comportamiento en función de la señal de entrada, por lo que pueden generar nueva información: “el funcionamiento de una máquina no-trivial es tal que “una respuesta observada una vez para un estímulo dado puede no ser la misma para el mismo estímulo ofrecido ulteriormente” (Foerster, 2005, p. 150). Un sistema vivo conceptualizado como máquina no-trivial, tendría como objetivo procesar mejor la energía disponible (exergía) para adaptarse a un medio en constante cambio (sobrevivir).

⁵⁰ “¿Qué es esta fuerza de agrupamiento? Esta fuerza de agrupamiento es, creo yo, lo que se podría llamar -a falta de un término mejor, habría que encontrar otro- lo finito ilimitado. No es ni finito ni infinito” (Deleuze, 2014, 272)



Máquinas triviales (izquierda) y máquinas no-triviales (derecha) según los principios de von Foerster (Foerster, 2005). (Tomado de León Casero, 2021).

Lo que está implícito en esta aproximación sobre las máquinas no-triviales es también un cambio en el modo de pensar la técnica. Tanto para Ortega y Gasset como para Heidegger, la técnica moviliza energías y materiales que ya estaban ahí para su manipulación humana. En la realimentación, la técnica en su acción coproduce el medio (agenciamiento para Deleuze) modificando tanto al ser humano como al medio (León Casero, 2021).

Es decir, mientras que la máquina-energética no formaba un sistema humano-máquina, el compuesto, o el sujeto, que se confronta con estas máquinas cibernéticas, para Deleuze, sí lo hace (Deleuze, 2014). Desde esta perspectiva, la exposición a este tipo de máquinas conlleva una serie de nuevos problemas, que redefinen el concepto de ser-humano.

Lejos de las predicciones catastrofistas que la irrupción de máquinas no-triviales como la AI o los dispositivos IoT, como los de Nick Bostrom (Bostrom, 2016; Deleuze, 2014) o Ray Kurzweil (Kurzweil, 2012), para nosotros, existen problemas a los que debe confrontarse, este “compuesto”, ser humano-máquina-cibernética. Entre ellos, esta nueva especie humano-cibernético se encuentra inmerso en una exacerbada dualidad cartesiana⁵¹. Las máquinas cibernéticas operan de manera abstracta a través de otras máquinas cuya *interface* con nosotros es una pantalla. La mayoría de nuestras acciones y pensamientos, son mediadas por pantallas, por lo que se está expuesto a sistemas cada vez más abstractos. Contenidos perceptivos que provienen de imágenes, textos y sonidos de las pantallas, que lo alejan cada vez más del mundo físico en general, pero también de su realidad corporal y entorno humano, en particular. También, el construido, y por ende del habitar. La interacción con el medio desde el ocio, las relaciones y el trabajo, se *producen* mediadas por unas computadoras algorítmicas a través de pantallas. Estos procesos excluyen la experiencia de la tierra, de sus olores, de sus flujos, de sus profundas interrelaciones, de nuestro *habitar animal* (Abram, 2021). Servidos por las incesantes e invisibles corrientes de materiales, conectados a *watios* de energía incolora e inodora, imbuidos en *teras* de información, disociamos aún más nuestras mentes del cuerpo y de la tierra como soporte vital, simplificando en este proceso, nuestro habitar.

Recapitulando, podemos identificar los problemas derivados de estos nuevos compuestos en términos del habitar humano. En un primer momento, las arquitecturas del s. XVIII disocian entre la representación y la materialidad; en el s. XIX, las máquinas energéticas y

⁵¹ Seguimos aquí de nuevo a Deleuze y Guattari (ver: ¿Qué es filosofía?, Anagrama, Madrid, 2013, p.30) para los que carece de sentido preguntarse si Descartes tenía o no razón. Cada uno de los conceptos que se proponen, tanto en filosofía como en arquitectura, tienen que ser valorados en función de los problemas a los que dan respuestas. Para estos autores, “un concepto siempre tiene la verdad que le corresponde en función de las condiciones de su creación [...] los problemas hay que plantearlos [...] tienen que estar relacionados con problemas que sean nuestros, con nuestra historia y sobre todo con nuestros devenires”

nuevos materiales separan la arquitectura entre la composición y la función como refugio; en el s. XX máquinas triviales permiten alcanzar condiciones homogéneas y estandarizadas, aplicando un modelo reduccionista del habitar y generando modelos centrados en resolver condiciones ambientales generalistas y; finalmente, las máquinas cibernéticas disocian el habitar del espacio físico. En este último caso, entre pantallas y sistemas informáticos, la vida parece discurrir (producirse) en un espacio virtual sin interrelación con la Naturaleza. El habitar resultante de este humano-pantalla, se realimenta en sí mismo en el sentido que somos capaces de convertir nuestro trabajo mental en suministros para vivir, sin tener que obtenerlos materialmente. Estos problemas entran en relación directa no solo con la arquitectura sino con las profundas transformaciones a las que sometemos a la Tierra.

Cada uno de estos compuestos definen un modo de habitar, una arquitectura, una configuración física de cómo se entiende la relación con la naturaleza, una cosmología. Unos valores. La época clásica, define una relación entre la arquitectura y el *hombre* basada en el concepto de orden jerárquico y lo ilimitado. El siglo XIX extiende una visión extractiva de la naturaleza como fuente inagotable de materias primas y energía. Las máquinas energéticas proporcionaron y ampliaron la potencia y la energía disponible por persona, pero a su vez, formaron los principios del nuevo compuesto y permitieron que la arquitectura, la construcción y los sistemas energéticos, se disociaran. Se puede decir, que hubo *neos*, pero no *kainós*⁵² en el diseño arquitectónico.

Cibernética, una nueva fuerza para los modos de habitar

Cada uno de estos modos de habitar, corresponde una relación de composición con diversas fuerzas. En este sentido, la cibernética⁵³ es una fuerza diferente⁵⁴ de las anteriores, debida precisamente a que se basa en la realimentación. Wiener definió cibernética desde la biología, *“hemos decidido llamar a toda la materia referente al control y teoría de la comunicación, ya sea en la maquina o en el animal, con el nombre de Cibernética, que procede del término griego Κυβερνήτης, timonel”* (Wiener, 1960, p. 22), enfatizando su capacidad para dirigir hacia una dirección, un proceso. También W. Ross Ashby en su clásico *“Introducción a la Cibernética”*, incide en su capacidad para gobernar

⁵² Kainós, (Καινή) nuevo en el sentido de renovado, no sólo nuevo en cuanto a su tiempo, sino a su especie

⁵³ Desde el comienzo de la cibernética hay una gran relación entre los mecanismos de regulación de máquinas y seres biológicos, disolviendo la clásica distinción entre autómatas y animales que se había establecido entre otros muchos por René Descartes. En *“El tratado del hombre”*, Descartes aseguró que el hombre era la suma de un mecanismo y un alma, es decir, tenía dos naturalezas: *“el cuerpo no es otra cosa que una estatua o máquina de tierra a la que Dios forma con el propósito de hacerla tan semejante a nosotros como sea posible [...] dispone en su interior de todas las piezas requeridas para lograr que se mueva, coma y, en resumen, imite todas las funciones que nos son propias [...] que tienen origen en la materia”* (Peirano, 2009, p. 33). Es decir, si no fuera por el alma divina, todos seríamos autómatas, androides (en el sentido que le dieron Diderot y D’Ambert en su Enciclopedia: *“Adroide: autómata con figura humana que por medio de ciertos reforestes [...] Actúa y realiza otras funciones en apariencia similares a las del hombre. Ver “autómata”, vocablo compuesto del griego, άνήρ, hombre y, είδος forma). Todos los animales eran pues, mecanismos justificando intelectualmente nuestra posición extractiva, no empática y productiva de considerarlos.*

⁵⁴ ¿Por qué no hablamos del ordenador, si todo el mundo habla de él? Desde el momento en que tocan un ordenador las fuerzas componentes en ustedes entran en relación -no tienen necesidad de saberlo- con una fuerza de tipo completamente distinto [...] No es el carbono, es el silicio” (Deleuze, 2014, p. XX)

sistemas y servir de base para la biología: “*Cybernetics [...] in a word, as the art of steersmanship, and it is to this aspect that the book will be addressed. Co-ordination, regulation and control will be its themes, for these are of the greatest biological and practical interest*” (Ashby, 1956, p. 1).

Ashby considera que los procesos de realimentación son clave para que los organismos sean capaces de adaptarse al medio. Esta adaptación al medio se refiere a la capacidad de un organismo para ajustarse a las demandas y desafíos del entorno en el que habita, lleno de situaciones cambiantes. Es decir, a su capacidad de resolver problemas de manera efectiva. A su vez, la adaptación al medio es una de las dimensiones que se han utilizado para medir⁵⁵ la inteligencia en diferentes teorías humanas (Arenas & Fogué, 2011). Por ejemplo, la **teoría de la inteligencia** de Sternberg (Sternberg, 1999), se refiere a la capacidad para ajustarse a situaciones nuevas y desconocidas, y para utilizar la experiencia previa para resolver problemas en un entorno específico. Así, la adaptación al medio se considera una muestra de inteligencia porque permite a los organismos responder con éxito a las oportunidades de su entorno.

Esta **adaptación inteligente al medio** también se observa en el mundo vegetal y su adaptación efectiva al medio ambiente. Es determinante que las plantas, con sus ciclos del carbono y agua, llevan millones de años autorregulando las condiciones ambientales del planeta, alcanzado la configuración más adecuada para su propio desarrollo. Esto ha dado lugar a una configuración específica de la atmosfera, en la que ha emergido la existencia humana, determinando las condiciones de posibilidad y los límites biológicos de su desarrollo. Esta configuración dinámica presenta interrelaciones con todas las formas de vida. Aquí, lo relevante es un concepto de inteligencia que se manifiesta en forma de adaptación, emergencia y autorregulación del mundo vegetal, que se refleja en los siguientes aspectos:

- **Configuración geológica de la superficie terrestre.** La actividad anabólica y metabólica de los seres vivos, con sus infinitos ciclos vida-muerte, son responsables de modelar valles, transportar compuestos minerales, dirigir cauces e, indirectamente, de la actual civilización humana termodinámica basada en el carbono (Smil, 2021).
- **Composición atmosférica de la biosfera.** La biosfera es un sistema complejo capaz de bio-secuestrar 550 Gigatonnes de CO₂ (10⁹ t o 10¹⁵ g), con lo que se moldean los ciclos biogeoquímicos globales (Bar-On et al., 2018). Así, la biomasa es una forma de entender la cantidad de elementos que se mueven: aunque la Tierra es un 71,5% de agua de los océanos, la biomasa de los seres vivos terrestres supone 2 órdenes de magnitud superior a la biomasa marina.
- **Presencia ubicua en todos los ecosistemas terrestres.** El 80% de los taxones de la Tierra son plantas (mayoritariamente plantas terrestres, embriófitas), a las que le siguen las bacterias con un 15%. Los animales constituimos sólo un 2 % del total,

⁵⁵ A estos efectos, no se trata de sustituir el omnipresente medir geométrico, por una medición de la energía la huella de carbono, ni los grados de inteligencia. Como bien identificó Luis Arenas: “resulta conmovedor es comprobar que los veinte sibles que separan el trabado de Vitrubio del programa funcionalista de Le Corbuser han dejado casi intacta la veneración de la arquitectura por el pitagorismo” (Ver: Arenas, Luis; Uriel, Fogué: “Plantos de [inter]sección”, 2011)

siendo los artrópodos terrestres un ínfimo 0,2%. La biomasa aérea de las plantas es un 60%, unos 320 GtC⁵⁶.

- **Agentes activos que reaccionan a un medio.** En este mundo denominado “natural” los agentes activos son principalmente las plantas que, con su actividad, modelan y configuran el territorio. Es decir, no se trata de un sistema de agentes pasivos sobre una tierra estéril y neutra con ciertas condiciones para que apareciera la vida, sino un proceso infinitamente repetitivo de adaptación al medio. En ese proceso, el resultado actual parece presentar un comportamiento “inteligente” en el que las plantas dominan la composición terrestre y atmosférica de la biosfera.
- **Capacidad de autorregulación.** Las aportaciones de James Lovelock y Lynn Margulis fueron claves para entender que la composición atmosférica fuera del equilibrio presentaba rasgos de “inteligencia distribuida”. Una organización descentralizada, donde ninguna parte es del todo indispensable, y su extensión general, hace que el resto de la biota dependa de ellas. Su ciclo del carbono es el “motor del planeta”: un motor que, según cómo se defina la inteligencia, se puede denominar “motor inteligente” ya que todos los procesos tendrían un fin: el propio mantenimiento de la vida.
- **Sistemas complejos resilientes.** Los ecosistemas y comunidades de plantas que tienen la capacidad de adaptarse, recuperarse y mantener su funcionalidad ante perturbaciones y cambios en el entorno. Estos sistemas incluyen bosques, praderas, humedales, y otros tipos de vegetación que muestran propiedades de resiliencia y complejidad. Esta resiliencia se manifiesta en forma de diversidad, redundancia funcional, estructuras en forma de estratos, mecanismos de recuperación, mutualismos simbióticos y redes tróficas, (De Montis et al., 2019).

En resumen, el concepto de inteligencia tradicionalmente ligado a la capacidad autoconsciente para la toma de decisiones en entornos con incertidumbre (en los que para los humanos la movilidad es un aspecto relevante) se compara con un tipo de inteligencia en el que la consciencia y la movilidad, no son los factores decisivos. En decir, este **dominio vegetal inteligente proporciona las condiciones de habitabilidad humanas y tiene** una triple influencia en el hábitat: es regulador atmosférico, es la base trófica de la cadena nutricional que nos aporta endoenergía, y sus residuos en forma de fósiles, son la base exo-energética en la que se ha desarrollado nuestra sociedad tecno-industrial cuyas emisiones están modificando el equilibrio atmosférico.

En este sentido, hay un paralelismo entre los entornos construidos y el mundo vegetal. Al igual que las plantas los edificios están muy ligados a una ubicación concreta, en la que permanecen con una movilidad limitada. Se deben adaptar a las condiciones ambientales concretas. Su construcción y funcionamiento transforman el terreno en el que se sitúan y el sumatorio de sus emisiones puede también cambiar la atmósfera. Además, los edificios

⁵⁶ Ciclo del carbono Término que describe el flujo de carbono (en forma, por ejemplo, de dióxido de carbono) en la atmósfera, el océano, la biosfera terrestre y marina y la litosfera. En este informe, la unidad de referencia para el ciclo del carbono global es la gigatonelada (GtC) o su equivalente el petagramo (PgC) (1015 g) (Ver: Glosario de términos IPCC)

requieren de suministro de agua y evacuación. Se interconectan entre sí formando un sistema, la ciudad, que tanto para Bettencourt y Batty, es un sistema complejo⁵⁷ (Batty, 2007; Bettencourt, 2015) y pueden transformar energía solar mediante sistemas fotovoltaicos. Aunque actualmente los edificios no presentan características de autoorganización, el tipo de inteligencia que despliegan las plantas podrían proporcionar valiosas lecciones para los sistemas inteligentes diseñados por los humanos para los entornos construidos.

Las investigaciones han demostrado que las plantas pueden recibir estímulos del ambiente a través de estructuras especializadas que les permiten detectar y responder a cambios en su entorno (Wohlleben, 2016). Se ha comprobado que los árboles poseen células sensores⁵⁸ con las que pueden conocer la humedad del suelo, la intensidad de la luz y la temperatura ambiente; además, pueden detectar la presencia de herbívoros y algunos patógenos, reaccionando antes ellos con la producción de ciertos compuestos químicos (Chamovitz, 2012). Exhiben patrones de crecimiento que dependen de la gravedad, la ubicación de minerales, las composiciones acuosas, la presencia de otras especies y el viento, entre otros muchos factores. Incluso emiten señales químicas y eléctricas con las que se comunican entre sí, intercambiando información.

Por lo tanto, las plantas tienen una capacidad de adaptación inteligente hacia sus condiciones óptimas de desarrollo obteniendo información sobre el entorno. Las plantas exhiben un comportamiento activo ante el medio que puede **ser extrapolable a los entornos construidos humanos** ya que “*no hay comportamiento simple aquí. Todo comportamiento es complejo. Lo que cambia es el número de iteraciones [...]*” (Baluška et al., 2010). Mediante sistemas IoT, tal y como realizan las plantas, podemos añadir a los edificios sistemas capaces de captar señales del entorno, elaborar con ellas información, procesarla y proporcionar un comportamiento más adaptado —por lo tanto, inteligente— (Sternberg et al., 2022), tanto a las condiciones de habitabilidad como con los medios de los que dispone.

En la actualidad esta capacidad de adaptación al entorno está siendo investigada por la biología y la informática, para los que las plantas son “*efficient green computers per se [...] are highly intelligent organisms*”. Es decir, podrían ser utilizadas para aprender acerca de la inteligencia distribuida (Trewavas, 2017) como arquitecturas informáticas para resolver problemas matemáticos y de ingeniería utilizando sus estructuras biológicas de forma controlada (Adamatzky et al., 2018). Este enfoque de inteligencia distribuida, tanto para las

⁵⁷ Ver Paul Virilio, Vitesse et politique, ed. Galilée, pp. 21-22 y siguientes: “No solo la “ciudad” es impensable independientemente de los flujos exteriores con los que está en contacto, y cuya circulación regula, sino que también conjuntos arquitectónicos precisos, por ejemplo, la fortaleza, son verdaderos transformadores, gracias a sus espacios interiores que permiten un análisis, una prolongación o una restitución del movimiento”

⁵⁸ Es más, para Paco Serón, se puede decir “metafóricamente” que un ser vivo es “un sistema que setán inmerso en un mundo externo a él con el que interacciona y para conseguir esa información dispone de un conjunto de sensores externos a través de los que recibe información del mundo. En este contexto, dichos señores se denominan sentidos que son receptores a través de los cuales recibimos las señales externas, que son caracterizables por diferentes tipos de energía, y las transforman en señales eléctricas internas que se propagan por el sistema nervioso” (Ver: Serón, 2023, 25). Para Serón, es básico que existe una capacidad de procesar señales eléctricas mediante percepciones sensoriales o sensaciones, capacidad de analizar la información dada por éstas y la capacidad de toma conscientes o no apartir de este análisis de la información, que a su vez puede intentar modificar el mundo mediante un conjunto de actuadores que llevan a cabo las decisiones.

plantas como para los edificios permite superar el concepto de individuo (y objeto). Se centra en comportamientos complejos y altamente colaborativos en los que emerge la inteligencia. Por lo tanto, para que los edificios puedan ser definidos como inteligentes, al igual que las plantas, un entorno **IoT debería ser capaz de obtener datos del entorno, procesarlos y analizarlos para tomar decisiones de forma global, colaborativa e interrelacionada.**

Hacia una etología de los modos de Habitar

El **entorno construido es la forma en las que los humanos estamos en el mundo, pero también la forma en la que entendemos la relación con la naturaleza** (Hui, 2020). Los edificios no son un medio, una herramienta o un objeto, son nuestra extensión. Ésta es la razón biológica por la que pasamos tanto tiempo en ellos. En los mismos términos que **no existe hormiga sin hormiguero, termita sin termitero, abeja sin colmena** (Hölldobler & Wilson, 2009), **no existe humano sin entornos construidos**. Los edificios son parte de los humanos no por una razón de comodidad, bienestar o confort, sino porque los edificios son el modo por el que el ser humano se adapta al medio: *“We are, if nothing else, builders, and that leads us to admire other builders”* (Hansell, 2007a). Es decir, también nos definimos por cómo construimos.

Definir los edificios como procesos cuyo objetivo es el habitar del ser humano presenta dificultades. Una de ellas es que el diseño de cualquier sistema debe establecer las limitaciones y condiciones de contorno para lograr un fin u objetivo. Los entornos construidos como sistemas complejos han sido capaces de resistir y adaptarse a fuertes cambios y fuertes presiones del entorno en un proceso evolutivo que ha permitido alcanzar nuevas y resilientes configuraciones, al mismo tiempo que han sido capaces de proporcionar mayor bienestar tal y como ocurre con los ecosistemas (Shaw, 2012). La dificultad la encontramos en la evaluación de las funciones internas de un sistema complejo y la selección de un conjunto adecuado de indicadores. Por otro lado, nuestras necesidades de protección, si bien son compartidas por otras especies, sí que presentan características únicas. Los sistemas constructivos animales siempre han respondido a requisitos de protección frente al clima, enemigos y competidores como factores determinantes. Pero los sistemas humanos van mucho más allá ya que son también la manifestación de valores culturales y sistemas de pensamiento. En este sentido podemos describir diferentes *modos de habitar* resultantes de los diferentes entornos construidos. Actualmente consideramos que todos los modos de habitar definibles conviven, por lo que es fundamental determinar qué modo es el prevalente para una propuesta de diseño inteligente.

Desde esta perspectiva, cuando se definen objetivos y fines del habitar, es necesario establecer a qué modo de habitar se está refiriendo ya que los objetivos del sistema serán muy diferentes y, por lo tanto, también los medios para conseguirlo. Si lo que se pretende es saber con qué y para qué se pueden establecer composiciones, con qué se puede potenciar o no cierto habitar, resulta para nosotros fundamental definir estos modos de habitar.

Antes de establecer cualquier proceso que tuviera que ver con definir qué se pretende o qué se quiere hacer con cierta arquitectura, de forma deliberadamente abierta, definimos unos modos de habitar que no tienen el carácter de absolutos sino tan solo incitan a un

proceso reflexivo de identificación. Así, en función de las fuerzas principales que se detectan podemos establecer una prevalencia, siendo conscientes de que la arquitectura —en respuesta a lo que ocurre en la sociedad—, siempre estará compuesta de todos ellos, pero no de forma homogénea ni neutra. Los modos de habitar que proponemos son:

- **Defensiva.** Los edificios se entienden como refugios de un mundo hostil, pero del que el ser humano forma parte por lo que es habitado como un todo formando parte de él. Este habitar está en consonancia con las leyes, normas y patrones que el ser humano puede inferir de los fenómenos naturales.
- **Mágica.** Una de las características fundamentales del ser humano es su imaginación para imaginar lo que puede suceder, pero también para inventar razones, mitos, o plantearse si hay más realidad de la que obtenemos de nuestros sentidos. Tanto la metafísica, la magia, la mitología, como la religión pueden indicar que la existencia en la Tierra es un tránsito. De esta manera, el habitar es temporal, un paso en un camino de transición y transformación que no son morada definitiva. El ser humano dedica sus mejores esfuerzos constructivos y arquitectónicos a la construcción de templos y monumentos, ya sean funerarios o públicos, a los que dota de un significado más allá de las propias funciones o materiales que las componen.
- **Científica.** El pensamiento científico permite calcular y prever el resultado de una acción. Aparece la noción de leyes de la naturaleza que responden a formulación matemática, que conlleva a su vez a un análisis reduccionista de las partes para comprender el todo. El pensamiento cartesiano establece una escisión clara entre cuerpo y mente, lo que permite que el pensamiento se desvincule del habitar corpóreo. El mundo se convierte en un medio para un fin, el pensamiento abstracto humano, lo que conlleva que también se puede adaptar cualquier espacio a nuestro pensamiento. Tanto conocer las leyes de la naturaleza como la independencia de nuestro pensamiento del habitar, permite establecer un habitar “fuera” de la naturaleza. El entorno construido sigue siendo un tránsito temporal de la mente pero ahora también es un centro de mando de nuestra mente desde los que extender el dominio sobre la naturaleza y extrapolarlo al resto del universo. El concepto cartesiano también incluye un mundo isótropo y homogéneo que permite entender el territorio como un mapa en el que desplegar el pensamiento occidental (sin límites).
- **Termodinámica.** Hay límites, los procesos son finitos y están condicionados por ciertas leyes de naturaleza empírica. Producimos máquinas, fabricamos compuestos, movemos objetos, pero todo tiene un límite. Se puede procesar la energía vegetal fósil almacenada durante eones. Todo espacio puede ser acondicionado térmicamente independientemente de las condiciones exteriores y las condiciones locales. Es decir, la condición de habitar se puede convertir en térmicamente confortable por medio de la energía. Así, la combinación de un espacio exterior y homogéneo más la capacidad para convertir cualquier espacio interior en habitable diluye la noción de adaptación al medio, para ser el medio el que es adaptado al ser humano.
- **Subjetivo.** Aparece un tercer espacio-habitacional interior, la subjetividad. Una mirada introspectiva en la que habitamos y construimos un yo fuerte. Para ese yo

sigue habiendo un límite en el envejecimiento y la muerte, pero los avances en la medicina mejoran las condiciones de vida con independencia de dónde o cómo habitamos. La identificación de patógenos externos que pueden destruir el yo ponen el énfasis en reforzar un sistema inmunitario por medio del aislamiento y la higiene. En consecuencia, el habitar se vuelve homogéneo, cerrado e higiénico, reforzando el aislamiento y la separación con la naturaleza. Es decir, si todo hogar se puede adaptar a unas condiciones térmicas confortables y la salud se puede mejorar con medicamentos, el papel del habitar como el modo en el que el ser humano está en el mundo se relativiza. El habitar, y con ello la arquitectura, sigue el criterio de la subjetividad -cuestión de moda opinión o gusto-, y la mirada se vuelve preferentemente visual y estética.

- **Compleja e interconectada.** Desde los límites individuales descubrimos que no estamos aislados, nuestras acciones afectan al resto y a nosotros mismos. Cada acción tiene su reacción. Son sistemas realimentados pero no son newtonianos, no es casual ni azaroso, sino que es complejo e imprevisible. Hay patrones, no leyes. Hay posibilidades, no certezas. Pertenece a una red (la vida) llena de conexiones entre nosotros y con los otros; la Naturaleza no es un ser externo sino que nosotros somos la naturaleza misma. Adaptamos el medio a nosotros a la vez que nosotros nos adaptamos al medio en realimentación. Así, todo habitar es identidad, interconexión, realimentación y, por tanto, sistemas complejos.

Estos modos de pensamiento implican diferentes **modos de habitar en la Tierra**. Sus velocidades y duraciones no son comparables pero coexisten. Ya a lo largo de pocas generaciones se transita por todos ellos. A su vez, todos los modos conviven en cada uno de nosotros. A lo largo de los cambios que experimentamos en nuestra vida podemos sentir que transcurrimos por todos esos modos. El modo defensivo es inevitable ya que somos seres vivos que quieren sobrevivir en un medio. Como seres humanos la imaginación nos permite acceder a lo que no existe, y por lo tanto inventar. El *modo científico* es el modelo teórico en la que se basa nuestra educación clásica. El *termodinámico* del que vivimos, nuestro aire-agua-tierra (Schmitt, 2019). Subjetivo y replegado en el yo, es una manera de vivir centrado en la identidad y la construcción del yo que se defiende y protege. El medio cultural que nos hace posible la tecnosfera es complejo y está interconectado y no se puede obviar. La crisis pandémica, energética y medioambiental, tal y cómo nos ha mostrado Latour, definirán nuestros modos de habitar en lo que está por venir (Latour & Schultz, 2023).

Cada uno de estos modos de habitar se manifiesta mediante patrones tanto constructivos como del comportamiento de las personas en sus edificios. En esta tesis defendemos que es mediante la ampliación de nuestros sentidos proporcionada por la IoT y la ampliación de la información procesada por la Inteligencia Artificial con las que podemos reconocer patrones de comportamiento de los edificios y sus habitantes así como de cómo afectan al medio en el que se sitúan.

Es decir, en un realidad compleja e interconectada es **mediante el reconocimiento de patrones desde el que podemos comprender nuestro hábitat dinámico y aportar soluciones abiertas, flexibles, innovadoras y transversales y proponer soluciones para un modo, a su vez, complejo e interconectado. Antes de proyectar, nuestra tarea será definir a qué problema respondemos y cómo afectan las soluciones a nuestros**

entornos construidos. Así, si se quiere componer afectos en un cierto sentido es necesario comprender nuestro hábitat.

Este proceso de ampliar el conocimiento arquitectónico a través del estudio del comportamiento de los edificios y cómo responden sus edificios a ellos en un medioambiente dado, para unas circunstancias precisas, únicas y situadas, es el camino propuesto para la digitalización de la arquitectura que camine hacia la inteligencia de los edificios. Exige entender tanto el modo de habitar que se propone como establecer un criterio de qué significa ser inteligente.

Dicho de otra manera, se propone que la relación entre los edificios y las relaciones concretas con el medio natural será productiva si se piensa en relación con el mundo al que pertenece. Hemos construido un pensamiento, en el que el mundo al que pertenecemos está ligado de forma inexorable al destino de la Tierra. Un destino que ahora sabemos, también, podemos modificar.

Debido a que describir un modo de habitar, saber cómo proyectar y generar información a través de nuestros sentidos y capacidad de procesar información son tareas muy distintas, la complejidad aplicada a la arquitectura también abraza la interdisciplinariedad (Boulton et al., 2015a).

Sistemas Complejos.

El pensamiento constructivo implica que todo nuestro conocimiento de la naturaleza se “construye” a partir de las percepciones y de cómo entendemos nuestras propias experiencias. Esta experiencia está, a su vez, condicionada por la cosmovisión y los sistemas de organización social. El conocimiento depende tanto de lo que un cuerpo puede hacer, y, tal y como se ha propuesto en esta tesis, de qué conceptos-fuerzas entran en relación. Es decir, lo que un cuerpo puede hacer depende de qué capacidades de intervención, observación y detección se dispone para un ambiente, entre los que la cultura, la tecnología y el entorno construido, son factores fundamentales. Estos nuevos campos de fuerzas, conceptos y paradigmas pueden producir a su vez, nuevos compuestos y especies de relaciones (Deleuze, 2014).

Podemos definir la época del Antropoceno y la Tecnosfera por el paradigma de la complejidad, el cambio de posición del ser humano respecto a su lugar en el mundo, y la emergencia de la inteligencia artificial. Estos conceptos-fuerza, a su vez también nuevos problemas, pueden ser identificados como los campos capaces de modificar cómo entendemos nuestras relaciones con el entorno, y tal y cómo describe Uexküll, cómo percibimos y creamos nuestra posición respecto a la naturaleza. A su vez, la definición del problema y del sistema, supone una descripción y observación que inciden en el sistema, que muta y evoluciona (Kaneko & Tsuda, 2001; Neves & Neves, 2006).

Así, la teoría de la complejidad cuestiona la física newtoniana mecanicista, reversible, causal y determinista, construyendo un mundo indeterminado, no lineal, retroalimentado y múltiple en el que el comportamiento del todo no puede determinarse a partir de las partes. La teoría de los sistemas simbióticos y autopoieticos cuestiona el paradigma de competitividad y el azar darwinista, destacando en su lugar la cooperación, la interdependencia y la capacidad de autoorganización de los sistemas biológicos en un entorno que modifican y que los modifica, como factores fundamentales de la evolución de los seres vivos. Los algoritmos generativos cuestionan la exclusividad humana para producir contenidos creativos (imágenes, textos, música, arquitectura, etc.), proporcionando una capacidad de exploración de posibilidades y la habilidad para trabajar con ingentes cantidades de datos, con los que los sistemas de IA pueden aprender para adaptarse y producir nuevos contenidos. Esto representa una forma de conocimiento técnico dinámico y adaptativo, en contraposición con los sistemas técnicos tradicionales. Por último, el Antropoceno supone un reposicionamiento radical del ser humano en la Tierra, que pasa de ser el centro y un lugar para su desarrollo, a una posición en la que la red de interdependencias hace que su destino esté anudado irremediabilmente con la evolución del planeta y sus condiciones de habitabilidad.

En este último sentido, el cambio climático representa la autoconciencia de que el ser humano es una fuerza planetaria capaz de modificar el entorno a escala global y de influir sobre la biodiversidad. En resumen, la arquitectura se encuentra ante un cambio sustancial del modo en el que conceptualizamos la Naturaleza —de la propiedad al pertenecer—, en el que la emergencia de la inteligencia artificial como una nueva tecnología cibernética de segundo orden y la escatología del cambio climático como amenaza vital, configuran una situación que puede dar lugar a nuevos modos de habitar. Así, para Phillipe Rahm, son conceptos como los límites de la energía, el cambio climático y una nueva forma de habitar los que ya han producido cambios en la manera de proyectar *“ya no recurrimos a la geometría, a la morfología, a la combinación de puntos, líneas y superficies, a las*

relaciones de proporción entre conjuntos”, sino que recurrimos a los conceptos que tienen que ver con la energía —“la convección, la conducción, la evaporación la presión, la radiación” (Rahm, 2021, p. 78).

El paradigma de los sistemas complejos

El paradigma de la complejidad se puede entender como una reinterpretación de la máxima “el todo es más que la suma de las partes”. Para la teoría de la complejidad, el comportamiento de un sistema no se puede prever conociendo las propiedades o el comportamiento de sus partes aisladamente. Es decir, aparecen propiedades que no se pueden deducir de las partes que las componen, sino que emergen de sus interacciones y relaciones tanto entre sí como con su entorno. Estas nuevas características del sistema se denominan propiedades emergentes. Conceptos como la biodiversidad o la resiliencia de los ecosistemas, pueden entenderse como propiedades emergentes derivadas de la interacción entre los seres vivos y su entorno físico. En este sentido, todos los organismos multicelulares como los seres humanos están compuestos por células que interactúan de manera coordinada —“somos holobiontes”—. Fenómenos como la homeostasis, o la capacidad de mantener un ambiente interno estable son propiedades emergentes que resultan de la interacción de diferentes sistemas de órganos y tejidos (Kaneko, 2006). También fenómenos como la conciencia, la inteligencia y la memoria, pueden derivarse de la interacción de millones de neuronas. A su vez, la economía (Brian, 1999) o internet (Park, 2005), formadas por innumerables agentes y nodos interactuando, también pueden considerarse propiedades emergentes de sistema complejos. Entornos construidos por agentes biológicos que muestran un gran comportamiento social, como los termiteros, los hormigueros o las ciudades (Hölldobler & Wilson, 2009), se componen de millones de interacciones que interactúan desde múltiples propiedades emergentes⁵⁹ (Steven, 2003).

En este sentido fue Jane Jacobs⁶⁰ que en 1961 propuso la ciudad como un problema de complejidad organizada⁶¹, como la resultante emergente de un sistema complejo biológico (humano-tierra) y siendo a su vez, un subsistema complejo y emergente de la tecnosfera. Para el arquitecto y matemático Christopher Alexander, la arquitectura es un fenómeno complejo, “*architecture presents a new King of insight into complexity because it is one of the human endeavor where we most explicitly deal with complexity and have to create it*”

⁵⁹ Para Johnson las ciudades presentan un claro comportamiento emergético en las que “*interacciones locales aleatorias conducen a un orden global; componentes especializados que crean una inteligencia no especializada; barrios de individuos que resuelven problema sin que ningún de ellos se dé cuenta*” (Steven, 2003, p.85)

⁶⁰ “Sucede entonces que las ciudades son problemas de complejidad organizada, como las ciencias de la vida. Las ciudades presentan “situaciones en las que media docena y también varias docenas de cantidades varían simultáneamente y de manera sutilmente interconectada [...] Las ciudades como las ciencias de la vida, nos plantean un problema de complejidad organizada, que si esa comprendido, lo explica todo [...] Las variables son muchas, pero no son un batiburrillo, más bien están interrelacionadas en un todo orgánico” (Ver: Jacobs, J.,1991, pp. 471-472)

⁶¹ “Problems of Organized Complexity” tal y como los definió Warren Weaver en “Science and Complexity”, American Siencitis, 36:536 (1948): “*The problems in this middle region, in fact, will often involve a considerable number of variables. The really important characteristic of the problems of this middle region, which science has as yet little explored or conquered, lies in the fact that these problems, as contrasted with the disorganized situations with which statistics can cope, show the essential feature of organization. In fact, one a refer to this group of problems as those of organized complexity*”

(Alexander, 2021, p. 3) . Es más: *“we thus have a situation, perhaps new, where architecture, generally, in the past very much the recipient of received wisdom from the natural sciences, is now generating new material, and new ideas of its own, which have direct bearing on the solution of problems now classed as “complexity theory”, and doing so in ways which, though obviously helpful to anyone concerned with building, have not arise before in the mother fields of science itself”* (Alexander, 2021, p. 2)

En resumen, la teoría de los sistemas complejos propone una teoría en la que las propiedades del sistema se definen por sus relaciones más que por su forma, unidad o función. En este sentido, tal y como se ha expuesto, el énfasis puesto por Spinoza en las relaciones es compatible con la teoría de los sistemas complejos (Carriero, 2011; Lord, 2015).

Qué es un sistema complejo

Existen tantas definiciones para definir un sistema complejo como autores, todos inciden en conceptos clave como “comportamiento”, “autoorganización”, “emergencia”, “evolutivos”, “realimentados”, “sensibles a la variación de las condiciones”, “no lineales” o “no deterministas”. Para la “Encyclopaedia of Complexity and Systems Science” (2009), la complejidad aparece como:

“... systems that comprise many interacting parts with the ability to generate a new quality of collective behaviour through self-organization, e. g. the spontaneous formation of temporal, spatial or functional structures. They are therefore adaptive as they evolve and may contain self-driving feedback loops. Thus, complex systems are much more than a sum of their parts. Complex systems are often characterized as having extreme sensitivity to initial conditions as well as emergent behavior that are not readily predictable” (Meyers, 2017)

El pensamiento sistémico y de la complejidad también son una forma de re-plantear los problemas y a su vez, una nueva manera de entender el mundo (Ladyman & Wiesner, 2020b; Torres et al., 2021). Implican la imposibilidad ontológica de comprender la realidad en su totalidad, tal y como Spinoza había propuesto⁶². Asumir la posibilidad de comportamientos emergentes (Steven, 2003) es también la renuncia a una explicación causal completa de la interrelaciones y comportamientos de la Naturaleza. Para Nicholas Rescher, cualquier sistema, proceso o ente que sea un todo estructurado con partes interrelacionadas, será hasta cierto punto complejo por lo que la emergencia no es una de

⁶² Como seres finitos, el sistema de Spinoza implica que no podremos comprender en su totalidad la Naturaleza (o Dios) dado que esta es todas las sustancias y modos (sustancia infinita, eterna y autosuficiente”) y nuestro conocimiento es limitado (como finitos y modos de esta sustancia infinita, solo podemos comprender una fracción). Encontramos que el conocimiento humano es solo una parte del entendimiento de infinito, en varios pasajes de la Ética, como su Parte II, Proposición 11, Escolio, podemos leer, “La mente humana es parte del entendimiento infinito de Dios; y cuando decimos que la mente humana percibe esto o aquello, estamos diciendo que Dios, en cuanto que se explica por medio de la naturaleza de la mente humana, o que la mente humana, es tal o cual” o en arte II, Proposición 44, Corolario 2, “Sigue de esto, que la mente humana es parte del entendimiento infinito de Dios; por consiguiente, cuando decimos que la mente humana percibe esto o aquello, decimos que Dios, en cuanto que se explica a través de la naturaleza humana, o que la mente humana, tal o cual percepción”

las características de las cosas, sino una forma de nombrar lo que no entendemos (Rescher, 1998).

James Ladyman y Karoline Wiesner han tratado de responder a qué es un sistema complejo desde el punto de vista de la ciencia y de la teoría de sistemas. En *What is a Complex System?*, la complejidad “*is an ensemble of many elements which are interacting in a disordered way, resulting in robust organization and memory*” (Ladyman & Wiesner, 2020). Proponen aspectos que consideran necesarios (pero no suficientes) para que un sistema dado, ya sea biológico, no-físico (como los sociales) o físico (como los meteorológicos), pueda ser considerado complejo:

1. Dispone de muchos elementos, de similar naturaleza y comportamiento que interactúan, desarrollando patrones coherentes. La interacción se define como el intercambio de energía, materia o información. Se entiende por similar naturaleza de los elementos, aquellos formados por partículas y/o elementos con características comunes en sistemas físicos; organismos celulares similares o estructuras sociales con carácter, comportamiento o reglas similares. La interacción produce algún tipo de estructura “superior”, con la que interactúa. Es decir, todo sistema complejo tiene muchas partes en las cuales hay muchas copias similares interactuando. Es decir, para que los sistemas puedan interactuar o comunicarse (en el sentido más amplio) entre sí, deben poder intercambiar energía, materia o información.
2. Los elementos de un sistema complejo deben tener medios para interactuar. Es decir, tiene que haber posibilidad de intercambio de materia, energía o información (o de todas ellas). Sin interacción, los elementos no podrían formar un patrón y presentar una estructura o comportamiento. Esta interacción tiene que ser directa, no por mediación de un tercero. Lo importante es la dependencia entre los estados y los elementos.
3. Pueden ser entendidos como aquellos sistemas en los que desde el “desorden” surge el “orden”. Ambos conceptos entendidos en términos probabilísticos, es decir, como ausencia o presencia de correlaciones entre variables construidas.
4. Estas correlaciones, estructuras o patrones, esta interacción aleatoria de elementos interaccionando, producen estructuras, macro-estados temporal y espacialmente estables.
5. El anterior punto nos lleva directamente al siguiente corolario: “*system remembers through the persistence of internal structure*” (Holland, 1992), es decir, tienen memoria.

En definitiva, para Ladyman y Wiesner los sistemas complejos implican muchas interacciones entre numerosos componentes, ni controladas, ni coordinadas centralmente dando lugar a fenómenos emergentes. Estos componentes son diversos e interactúan y se retroalimentan en una escala temporal relevante para la dinámica del sistema. Normalmente, no están en equilibrio, son abiertos al entorno y, a menudo, son impulsados por fuentes externas de energía. Presentan una autoorganización espontánea y no lineal en relación con parámetros internos y externos que se manifiestan en forma de orden, periodicidad o patrón. Además, muestran robustez, es decir, mantienen una funcionalidad y estructura estable frente a perturbaciones. Esta estructura y funcionalidad presentan características de anidamiento, agrupación y especialización a diversas escalas. Una característica muy importante para sistemas complejos como los entornos

construidos, es que presentan memoria e historia, es decir, requieren una evolución temporal significativa y poseen algún tipo de memoria que almacena información sobre su pasado. Por último, exhiben un comportamiento adaptativo, siendo capaces de modificar su comportamiento en función del estado del entorno y de las predicciones que puedan hacer sobre él (Ladyman & Wiesner, 2020, pp. 12–13)

De entre todas estas características, la adaptación al entorno, para John H. Holland es fundamental. Para Holland, la complejidad son “*systems that change and reorganize their component parts to adapt themselves to the problems posed by their surroundings*” (Holland et al., 1992). También para Stuart Kauffman, autor de una de la primeras obras sobre sistemas complejos, “*life exists at the edge of chaos I suspect that the fate of all complex adapting systems in the biosphere—from single cells to economies—is to evolve to a natural state between order and chaos, a grand compromise between structure and surprise*”⁶³ (Kauffman, 1995, p. 10) . Esta aproximación trata de explicar cómo los sistemas vivos o derivados de los sistemas biológicos, como la tecnología, la economía o la sociedad pueden ser tan variados y diversos, estables, a la vez que pueden cambiar en función de las características del entorno. También, acciones como cuándo las hormigas se decantan por la construcción de un puente para sortear un obstáculo en vez de rodearlo o cómo pueden las neuronas del cerebro tomar decisiones colectivamente, son ejemplos de problemas de adaptación.

El principio de la adaptación implica para John H. Holland que todos los sistemas complejos construidos por los humanos tienen un propósito o función. Esto no es óbice para que el comportamiento adaptativo dé lugar a fenómenos emergentes. Es importante resaltar que, aún sin ser el fin del sistema complejo, la resultante derive en eficacia, por ejemplo para la supervivencia, y eficiencia. La adaptación a un medio dinámico hace que estos sistemas siempre estén en evolución, por lo que en el proceso aparecen nuevas posibilidades y combinaciones, todas coherentes con el sistema y el entorno (Holland, 2004).

Esta constante adaptación a un medio que cambia y que los seres vivos cambian con su habitar, hace que el paradigma de la complejidad implique que nuestras posibilidades de ejercer un control sobre la naturaleza estén destinadas a ser imperfectas e inoperativas, conclusión a la que ya había llegado Spinoza mediante su método geométrico. Sin embargo, no son acciones sin dirección ni tampoco basadas en el puro azar, sino que, desde toda situación presente se establece la posibilidad de mejora, de forma que es realizable⁶⁴. Es en estos términos evolutivos de composiciones y recomposiciones en los que se puede hablar de progreso.

Esta idea de progreso implica movimiento, pero no un movimiento entendido como desplazamiento que parte de un inicio y evoluciona hacia un fin, un objetivo o meta. Los

⁶³ Para Kaufman, la importancia de la biosfera a la que nos adaptamos y adaptamos, es fundamental: “The biosphere around us sustains us, is created by us, grafts the energy flux from the sun into the great web of biochemical, biological, geologic, economic, and political exchanges that envelopes the world” (Ver Kauffman, 1995, p.7)

⁶⁴ Tanto Kauffman como Holland comparten con Spinoza la imposibilidad de conocer en su totalidad. Si bien Kauffman, cree que la computación podría ser un camino si se conocieran las leyes de los sistemas en no equilibrio - Some believe that they may never be discovered. The failure may not be a lack of cleverness on our part, but a consequence of a well-founded area of mathematics called the theory of computation” (Ver Kaufman, 1995, p.13).

conceptos principio y fin suponen una medición relativa a algo, ya sea valores, estrategias o propósitos, sean prácticos o ideales. Tanto desde la teoría de Spinoza, como desde la teoría de complejidad, hemos visto que los valores no pueden considerarse absolutos. La idea de devenir deleuziano como progreso es un movimiento hacia nuevos compuestos. Devenir, si bien también implica una metodología, una forma práctica de medir y de determinar o pensar cómo continuar, no presupone la llegada a un destino definido sino que se trata de avanzar en el conocimiento y hacer continuas mejoras a la posición ya alcanzada. Dicho de otro modo, los sistemas complejos están en proceso continuo de mantener su complejidad (Ladyman et al., 2013).

Sobre esta forma de entender el progreso podemos construir pruebas de diagnóstico, idear nuevos dispositivos de medida, ampliar nuestros sensores biológicos a través de la técnica, ser capaces de contrastar nuestra capacidad de adaptación a las fuerzas impulsoras que hemos ideados y conceptualizado. Este proceso-progreso, en principio, nos permitiría prepararnos “inteligentemente” para un futuro que sólo se puede prever en parte. Conforme se aumenta el conocimiento también se multiplican las opciones, las metas y el sentido de las acciones. El paradigma de la complejidad indica que cualquier acción no pueden ser ni tan fija, simple, teleológica y determinada como en anteriores sistemas de pensamiento. Es decir, la idea de progreso como recorrido hacia una meta-destino se ve también cuestionada desde el paradigma de la complejidad.

El modo propositivo en continua evolución sin una meta, fin u objetivo, está sobre nuestro esquema de conocimiento como una posibilidad cierta. En arquitectura, como en el resto de las disciplinas, se comienza experimentando para elaborar teorías basadas en el principio metodológico de “probar primero las soluciones más simples”, que funcionen tan bien como sea posible. Ésto es una propuesta de inicio que una vez aceptada conlleva a que siempre que haya movimiento, éste no llevará hacia complejidad.

La teoría de sistemas complejos también implica que no podemos prever cómo pequeñas variaciones, modificaciones o “complicaciones” introducidas consciente o inconscientemente en un sistema, no lleven a variaciones sustanciales sobre ese sistema y el conocimiento que tenemos sobre él, con consecuencias no sólo para ese sistema sino para el meta-sistema en el que está conectado (Boulton et al., 2015).

Los patrones, una forma de entender y trabajar con la complejidad

El quid de la cuestión es que la realidad es demasiado compleja para una adecuada manipulación cognitiva (Rescher, 1998). Para sortear esta dificultad, Rescher y otros autores⁶⁵ (Batty, 2007; Boulton et al., 2015; Dennett, 2008; Ladyman & Wiesner, 2020;

⁶⁵ Ladyman y Wiesner nos ofrecen algunas referencias más de otros autores: “Complexity theory indicates that large populations of units can self-organize into aggregations **that generate pattern**, store information, and engage in collective decision-making.” (Parrish and Edelstein-Keshet 1999, p. 99); “Complexity in natural landform patterns is a manifestation of two key characteristics. Natural patterns form from processes that are nonlinear, those that modify the properties of the environment in which they operate or that are strongly coupled; **and natural patterns** form in systems that are open, driven from equilibrium by the exchange of energy, momentum, material, or information across their boundaries.” (Werner 1999, p. 102); “A complex system is literally one in which there are multiple interactions between many different

Luhmann, 1996; Steven, 2003; Wallace, 2003), consideran que la complejidad se manifiesta a través de patrones, por lo que la realidad por muy compleja que sea, no obstaculiza la mayor parte de lo que hacemos ya que podemos ejecutar esquemas que reducen el nivel de complejidad. Es más, para el Niklas Luhmann, podemos hacerlo porque “observamos” esos patrones.

Para estos autores, el comportamiento de los sistemas complejos se manifiesta a través de patrones repetitivos observables como conjunto, y no como patrones individuales. Es importante matizar que, los fenómenos aleatorios aun pudiendo producir patrones (Shalizi & Crutchfield, 1999) no serían sistemas complejos según los parámetros que se han expuesto hasta aquí. Para Edgar Morin esta aleatoriedad es esencial en todo proceso complejo (Morin, 2011) como fuente necesaria para la construcción de correlaciones, pero no lo es como aspecto fundamental del comportamiento adaptativo. Esto significa que aunque los elementos del sistema puedan interactuar de forma desordenada, se conservan los patrones y estructuras generales para un fin (la adaptación). Es decir, los patrones son el nivel macroscópico de una interacción microscópica estable pero dinámica capaz de adaptarse a cambios en el tiempo (Ladyman et al., 2013).

En fenómenos complejos, como la arquitectura y el urbanismo (Bettencourt, 2015), la observación de patrones-repetición sería la manifestación observable de la complejidad. Por lo tanto, bajo la teoría de sistemas complejos, su identificación y estudio, serían un camino para una mejor comprensión capaz de incorporar y entender la complejidad de las interacciones que se producen (Batty, 2009). Esto corresponde con el segundo modo de conocimiento o vía “racional” de Spinoza. En definitiva, **para comprender cómo, por qué y para qué se adapta un edificio en un medio dado** — biosfera, tecnosfera— y, por lo tanto, aumentar el conocimiento para mejorar su diseño y desempeño arquitectónico (progreso, tal y cómo hemos descrito) **nuestra propuesta es estudiar los patrones de comportamiento del edificio y de las personas que habitan en él.**

En coherencia con la teoría de los sistemas complejos, los elementos o subsistemas que conforman la arquitectura por separado no explican el fenómeno arquitectónico y urbano, y por lo tanto, no explican nuestro modo de habitar. Serían la interacción entre éstos, aplicando los principios de Rescher y Holland, los que se manifestarían en patrones observables. Para Uexküll, la capacidad de observar define nuestro “entorno”. A su vez, los sistemas cibernéticos de segundo orden o no-triviales, son sistemas que observan (Observing Systems). Luhmann, desde el pensamiento constructivo, incide en que es esta capacidad de un sistema de observarse a sí mismo, ampliada por los seres humanos mediante la técnica, la que da acceso a la realidad (Neves & Neves, 2006).

Focalizarse en patrones como manifestación de las complejas y profundas interacciones de la materia presenta dos cosmovisiones diferentes. La cosmovisión realista considera que los patrones realmente existen y la cosmovisión constructiva considera que son una forma más de entender el conocimiento. En un enfoque realista, los patrones realmente existen. Así para Kauffman, el “orden” de los cristales de hielo es una prueba de autoorganización. Este enfoque podría caer en el problema de la reducción, intentado encontrar las causas en el nivel más básico de la materia y así construir modelos capaces

components.” (Rind 1999, p. 105); “Common to all studies on complexity are systems with multiple elements adapting or **reacting to the pattern** these elements create.” (Brian Arthur 1999, p. 107)

de predecir con precisión el sistema. Sin embargo, este enfoque se ha mostrado inoperativo para sistemas con muchos componentes en interacción con el medio (Dennett, 2008). Para el enfoque constructivista, encontrar las causas últimas y las leyes generales que subyacen al comportamiento no es relevante, por lo que se centra en el estudio de los **patrones de comportamiento** a costa de perder precisión y renunciando de hecho, a toda explicación causal de la naturaleza – “*A tiger is any pattern which behaves as a tiger*” (Wallace, 2003). Al igual que Deleuze interpretó a Spinoza, no buscar una definición o ley sino qué relaciones subyacen detrás de un cierto comportamiento (Deleuze, 2004).

Es decir, los patrones pueden ser operativos para encontrar una explicación realista del mundo físico pero suponen una simplificación de los modelos para simular la realidad con menor capacidad predictiva. En todo caso para Ladyman y Holland, los patrones inferidos y representados por computación son actualmente el medio más preciso y simple para representar el comportamiento del sistema que describen (Ladyman et al., 2013b).

Teoría de patrones de Christopher Alexander

Desde un enfoque constructivista, el comportamiento, la estructura y organización de los sistemas complejos se manifiesta en forma de patrones observables. Para Luhmann, “*solo por medio de la observación de las regularidades externas [al sistema] es posible acceder a las estructuras del sistema*” (Luhmann, 1996, p. 23). Para Luhmann lo más relevante de nuestra organización social es que se compone de un sistema observable por otros sistemas. Esto permite al ser humano tener acceso a una realidad medida y computable con la que es posible identificar alguna forma de patrón o estructura⁶⁶. Reiteramos que, en la aproximación constructivista, todos los patrones son construcciones en el sentido de que dependen tanto de nuestra identificación y selección, como de la capacidad de observación. Para Luhmann, su modelo de la realidad es de “caja negra” (black box) en el que todo lo que podemos observar es “*la interacción input/output*” (Luhmann, 1996, p. 24)

Los patrones también se pueden considerar parte inherente de la estructura de la materia. Así, el arquitecto y matemático Christopher Alexander postula que los patrones son la manifestación de las leyes de la naturaleza. Más concretamente, la arquitectura son patrones (de acontecimientos) que se manifiestan en el espacio:

“Sabemos por tanto que lo que importa en un edificio o en una ciudad no es tanto su forma exterior, su geometría física, como los acontecimientos que allí tienen lugar [...] el mundo también tiene una estructura, precisamente porque estos patrones de acontecimientos que se repiten a sí mismos están siempre anclados en el espacio. No puedo imaginar un patrón de acontecimientos sin imaginar un lugar en el que estos ocurran [...] La acción y el espacio son indivisibles. La acción se apoya en el tipo de espacio. El espacio apoya este tipo de acción. Ambos forman una unidad, un patrón de acontecimientos del espacio” (Alexander, 2019).

⁶⁶ Para Luhmann, el modelo de la cibernética de segundo orden, “nunca se preguntó por las características del sistema que hacía que todo esto fuera posible”. Esto permitió “avances relevantes [...] en contabilizar el rendimiento de los sistemas” pero la ausencia de respuesta a la pregunta evitó que la teoría sistemas “pudiera ser útil a la sociología” (Ver: Luhmann, 1996, p. 54)

Los patrones para Alexander —patterns⁶⁷— “*describen un problema que ocurre una y otra vez en un determinado contexto y describe una solución al problema de tal manera que esta solución puede ser utilizada millones de veces de forma recurrente*”⁶⁸ (Alexander et al., 1980, p. X). Como estos patrones son la manifestación de leyes universales generalizables, una vez entendidas, conllevan a una teoría general del diseño arquitectónico (y de la vida en general) (Alexander, 1981^a). Es decir, para él, la arquitectura es un sistema complejo (Alexander, 2003) que sigue las leyes de la teoría de los sistemas complejos pero que tiende a un fin que se deriva de las leyes que la rigen.

Alexander propuso un método intuitivo (en cierta medida una mirada epitémica hacia arquitecturas pasadas⁶⁹) de reconocimiento y creación de los patrones. Este método constituye toda una teoría unificada⁷⁰ y realista sobre el diseño arquitectónico, cuyo fin sería la “armonía” y “belleza” de toda creación⁷¹. Alexander pensaba que, si estos patrones se repiten es porque contienen o reflejan un “orden natural”. La denominada, en su teoría

⁶⁷ Para Alexander, existe un modo atemporal de construir que define como aquel capaz de seguir los criterios de la vida y el espíritu de los hombres, sea una ciudad o un edificio, es decir que tengan lo que denominó “cualidad sin nombre”. Para Alexander esta cualidad indica los momentos y lugares por los que “estamos más vivos”. Para buscarlos, se debe empezar por “comprender que todo lugar adquiere su carácter a partir de ciertos patrones de acontecimientos” que allí ocurren (Ver: Alexander, 1979, p.11). Lo fundamental es que para Alexander estos patrones son “los átomos y las moléculas con que se levanta una ciudad o un edificio” (Ibid., p.11). Si conocemos los patrones que dan lugar a la cualidad sin nombre, podemos utilizarlos por nosotros mismos como si fuera un lenguaje. Ya que “todo acto de construcción se halla gobernado en su totalidad por un lenguaje de patrones” (Ibid., p.12), no sería necesario el arquitecto. Los patrones son para Alexander la red de relaciones que crea la estructura de este lenguaje. Estos patrones son los que definen nuestro habitar ya que “todas nuestras experiencias en él [edificios] no dependen sencillamente del medio ambiente físico, sino de los patrones de acontecimientos que allí experimentamos [...] estos patrones de acontecimientos no son necesariamente, acontecimientos humanos” (Ibid., 64-65).

⁶⁸ Es este carácter relacionado con la reiteración de los problemas el que interesa a los ingenieros informáticos. Para Alexander, el patrón es un “intento por descubrir una característica invariable que diferencia buenos lugares de malos lugares con respecto a un sistema de fuerzas específico”. Los patrones tratarían de captar la “esencia -ese campo de relaciones- que es común a todas las soluciones posibles al problema señalado en el contexto señalado”. Para Alexander, el patrón es la “invariable que se oculta” detrás de cada forma de resolver un problema específico en tiempo y lugar (Ver: Alexander, 1979, 206). Cada vez que Alexander habla de patrones en edificios y ciudades, lo que es útil para la informática es que hay un diseño orientado hacia ciertos problemas recurrentes que pueden ser expresados en términos de objetos e interconexiones, como puertas y muros en arquitectura, es decir, una solución de un problema en un determinado contexto fácil de adaptar y reiteradamente utilizable.

⁶⁹ El énfasis que muestran las ilustraciones de los libros de Alexander repletos de ejemplos de arquitectura vernácula y del pasado, así como la ausencia de arquitectura contemporánea ha sido entendida como una mirada nostálgica hacia el pasado. Esta visión ha sido refutada por el matemático Nikos Salingaros (Ver: Salingaros, N. (2020). Beauty and the nature of matter: the legacy of Christopher Alexander. <https://patterns.architexturez.net/doc/az-cf-198826>)

⁷⁰ “La tarea fundamental de la ‘arquitectura’ es la creación de un único lenguaje de patrones compartido y evolutivo al que todo el mundo contribuye y que todos pueden utilizar” (Ver: Alexander, 1981, p.194).

⁷¹ La premisa de Alexander, en sintonía con la de Le Corbusier es “luchar” contra la escisión entre ciencia y arte. Según él, en la era moderna tanto la filosofía como la ciencia abandonaron la creación de una definición objetiva de belleza y calidad del diseño. La separación entre mente y materia también devino entre hecho y valor. La ciencia trata de explicar los hechos y la belleza se considera subjetiva ubicada en los ojos del observador y su percepción. Algo es hermoso porque alguien la considera así, pero no es una propiedad del hecho u objeto. Su propósito fue encontrar patrones que generaran objetos y edificios bellos como propiedad intrínseca al mismo tiempo que los propios patrones debían tener esa calidad en sí mismos. Su último libro, “Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe” (2006) es un intento de romper esa escisión incorporando criterios objetivos sobre la belleza en la ciencia (Ver: Alexander, 2003; Gabriel et Alt., 2019)

“cualidad sin nombre”⁷² sería el reflejo de los momentos y situaciones dónde nos sentimos más vivos⁷³ y por lo tanto, más en sintonía con estos patrones y objetivos.

Para Alexander los patrones (de acontecimientos) siempre están relacionados con determinados patrones geométricos del espacio. Es más, las ciudades y edificios “surgen” y emergen de estos patrones del espacio. De alguna manera, Alexander considera estos patrones como “átomos y moléculas”, su unidad fundamental⁷⁴: *“cada edificio y cada ciudad surgen, en última instancia, de estos patrones del espacio: son los átomos y las moléculas con las que se levanta un edificio o una ciudad”* (Alexander, 1981^a, p. 11). De forma similar de los afectos “alegres” y “tristes” de Spinoza, Alexander distingue dos categorías de patrones, los que considera “vivos” y los que considera “muertos”⁷⁵. Los “vivos” intensifican nuestras fuerzas; los “muertos” los conflictos interiores: *“lo relevante es que solo los edificios erigidos con patrones “vivos” se convierten en parte de la naturaleza”* (Alexander et al., 1980).

En esta lógica, para Alexander resulta fundamental la existencia de un criterio de valor y de éxito para un sistema complejo que es posible descubrir, compartir y aplicar. Si no hay arquitectura sin valores, tampoco hay ciencia sin valores. Considera que el valor es *“a necessary part of any complex system”* (Alexander, 2021, p. 5). Este valor está para él relacionado con la belleza. Comparte con Kauffman, Ian Stewart y Brian Goodwin que si aún no tenemos una visión global de la naturaleza es porque no tenemos aún ni las leyes que la gobiernan o bien, ni la suficiente capacidad computacional como para alcanzar ese conocimiento.

Al contrario, para constructivistas como Niklas Luhmann o Bruno Latour⁷⁶ ese conocimiento completo de la naturaleza nunca se podrá alcanzar (Latour, 2003). Recordemos que para Uexküll la realidad de cada especie depende de su capacidad perceptiva, o lo que es lo mismo, su teoría del Umwelt determina su capacidad de lo que

⁷² “el hecho de que esta cualidad no pueda ser nombrada no significa que sea vaga o imprecisa. No es posible darle nombre porque es radicalmente precisa. Las palabras fracasan al intentar capturarla, ya que es mucho más exacta que cualquier palabra. La cualidad propiamente dicha es nítida, justa, sin ningún tipo de imprecisión. Pero cualquier palabra que escojas para capturarla tiene límites borrosos y prolongaciones que desdibujan el significado central de la cualidad”.

⁷³ *“Puesto que el espacio está compuesto por elementos vivos, por estos patrones marcados de acontecimientos en el espacio, observamos que lo que a primera vista parece la geometría muerta que denominamos edificio o ciudad es en realidad algo dinámico, un sistema vivo, una colección de patrones que interactúan y son contiguos a acontecimientos en el espacio, cada uno repitiendo ciertos acontecimientos una y otra vez, aunque siempre caracterizados por su lugar concreto en el espacio. Si queremos comprender la vida que tiene lugar en un edificio o en una ciudad, debemos tratar de comprender antes la estructura del propio espacio”* (Ver: Alexander, 1981, p.37)

⁷⁴ Alexander en el “Modo intemporal de construir”, afirma que también la física considerará que los átomos “son meras ondulaciones en un campo más profundo, y persistirá en el hecho de que hay entidades de cierto tipo que corresponden a las cosas que un día llamamos átomos”. Es decir, para él los patrones que forman las ciudades y edificios son “átomos” fundamentales: “cada lugar está hecho a partir de unos pocos cientos de patrones, sencillamente, de la complejidad de estos pocos patrones” (Ver: Alexander, 1981, p.90)

⁷⁵ El propio Alexander reconoce a Spinoza —“especially Spinoza” — como una de sus influencias fundamentales junto con Hubert, Benoit, Aldous Huxley, Gregory Bateson, Ruth Benedikt y Jane Resture (Ver: Alexander, “<https://www.firstthings.com/article/2016/02/making-the-garden>”, 2016, <https://www.firstthings.com/article/2016/02/making-the-garden>)

⁷⁶ “Any architect, mason, city planner, tenant, in accounting for the reality of the building they designed, built, planned or inhabit will consider the amount of work done as one of the reasons why the building is well designed, well built, well planned or well furnished” (Ver: Latour, 2003)

puede o no observar (Uexküll, 2016, 2023) para construir su realidad. En este sentido, tanto la aproximación realista como la constructivista requieren medios adecuados para observar patrones, representarlos y analizarlos. Los primeros, como manifestaciones de leyes, hay que descubrirlos; los segundos, como creación del entendimiento humano para comprender el mundo, hay que construirlos. Ambos enfoques pretenden reducir la complejidad inherente del mundo, pero de forma muy diferente. De esta manera, Alexander considera que sus patrones son una vía objetiva hacia el conocimiento y su fin último la belleza. Mientras, para Latour⁷⁷, el constructivismo — o como quería llamarle él, composicionismo — insiste en “*on the inevitable tropism of mediations, on the power of all those intermediaries that make impossible any direct access to objectivity, truth, morality, divinities, or beauty*” (Latour, 2003, p. 16).

Patrones generativos

Un patrón se puede utilizar para almacenar de forma documentada soluciones a problemas que se consideran tipo (que se repiten) y que pueden ser aplicadas con rapidez cada vez que aparezcan esos mismos problemas. Ésto presenta el inconveniente de que no nos exigen empezar de cero en presencia de un problema conocido bloqueando la creación de soluciones nuevas.

La aproximación que podría ser de interés, más allá de la carga simbólica que contenía la propuesta de Alexander, sería generalizar el patrón de diseño definiendo una entidad en base a una serie de propiedades y a la que se relaciona con un conjunto de propiedades físicas. De esta forma se permite la reutilización de la experiencia invertida en un diseño que se corresponde exactamente con un problema acotado y único —para nosotros contextual y situado en términos de Haraway (Haraway, 1988)—, pero que se puede adaptar y utilizar en otras muchas situaciones. Es decir, los patrones de diseño definidos de esta forma representan soluciones a problemas que aparecen en el desarrollo de un problema en un determinado contexto.

Lo interesante de los patrones propuestos por Alexander y desarrollados por la ingeniería informática es que esta noción está “orientada a resolver problemas en el diseño”, pero más relevante aún, hacia la forma concreta que repite una solución a un problema recurrente. El problema ocurre dentro de un cierto contexto y en presencia de numerosos afectos e intereses. Tanto en arquitectura como en ingeniería la solución propuesta involucra algún tipo de estructura que equilibre estos afectos que le conciernen, o “fuerzas”, de la manera más apropiada para el contexto dado. Usando la forma de patrón la descripción de la solución trata de capturar la idea de la que proviene para que otros puedan aprender de ella y usarla en situaciones similares.

Para construir un patrón debemos poner un nombre que hará de identificador conceptual para facilitar la discusión, su intercomunicabilidad, representando su núcleo de

⁷⁷ Bruno Latour añade en “The promises of constructivism” de 2003: “To convince the critically minded that constructivism means our only slow and progressive access to objectivity, morality, civil peace and piety, and that, for this reason, all the subtle mediations of practice, should be protected and cherished instead of being debunked and slowly destroyed, would require such a deep alteration in our intellectual ecology that it is hard to see how it would come about [...] How long will it be before the word is heard not as a war cry to take up arms or hammers, but as an appeal for the extension of care and caution, a request to raise again the question : “How can it be built better ?”” (Ver: Latour B, 2003, p.17)

información. Definir el patrón exige una identificación previa. Una definición que podría reflejar más de cerca su uso sería:

“A pattern is a named nugget of instructive information that captures the essential structure and insight of a successful family of proven solutions to a recurring problem that arises within a certain context and system of forces” (Appleton, 2000)

O de forma más compacta:

“A pattern is a named nugget of insight that conveys the essence of a proven solution to a recurring problem within a certain context amidst competing concerns” (Appleton, 2000)

Para Richard Gabriel, Alexander lo describe aún más concisamente ya que cada patrón es una regla de tres partes que expresa una relación entre un determinado **contexto, un problema y una solución**. Se insiste en que, como elemento del mundo, cada patrón es una relación entre un cierto contexto, un cierto sistema de fuerzas que ocurre repetidamente en ese contexto, y una cierta configuración espacial que permite que estas fuerzas se resuelvan ellas mismos (Gabriel, 1998).

Como elemento de un lenguaje un patrón es una instrucción que muestra cómo se puede utilizar esta configuración espacial una y otra vez para resolver un sistema de fuerzas dado dondequiera que el contexto lo haga relevante. El patrón es, en suma, al mismo tiempo una cosa que sucede en el mundo y la regla que nos dice cómo crear esa cosa, cuándo y cómo debemos crearla. Es, a la vez, un proceso y una cosa; tanto una descripción de una cosa que está viva, como una descripción del proceso que generará esa cosa (Alexander, 1979, p. 247). Entendemos que un patrón implica una descripción general de una solución recurrente a un problema, a su vez también recurrente, repleto de varios objetivos y restricciones, a la vez que también explica por qué se necesita la solución.

En *El modo atemporal de construir*, Alexander explica que los patrones más útiles son los que denomina generativos. Estos patrones son, más o menos, imágenes mentales de los patrones en el mundo. También son representaciones mentales abstractas de las mismas reglas morfológicas que definen los patrones. Los patrones generativos en nuestras mentes son dinámicos, tienen fuerza y son creativos. Nos dicen qué hacer, nos dicen cómo los generaremos y nos dicen también que, bajo ciertas circunstancias, debemos crearlos. Cada patrón es una regla que describe qué tienes que hacer para generar la entidad que define ese mismo patrón (Alexander, 1979, pp. 181-182).

Sin embargo, para nosotros, tanto los sistemas como los patrones se construyen, no se descubren. No existen a priori como una propiedad de la cosa sino que son una construcción mental limitada por nuestra configuración biológica y sensorial que hemos conseguido ampliar por medio de lo que podemos medir y ver a través de nuestros dispositivos técnicos (D. J. Haraway, 1988; Simondon, 2007^a).

Los patrones generativos nos dicen cómo crear algo y se pueden observar en las arquitecturas ~~de sistemas~~ resultantes que ayudaron a formar. Los patrones no generativos describen fenómenos recurrentes sin decir necesariamente cómo reproducirlos. Alexander nos propone documentar patrones generativos ya que no sólo nos muestran las características de los buenos sistemas, sino que nos enseñan cómo llevarlos a la práctica.

Para Alexander, sin embargo, este elemento “instructivo” es sólo una faceta de lo que él llama generatividad. Quiere patrones y, sobre todo, lenguajes de patrones que sean capaces de generar estructuras enteras y vivas. Alexander parte del deseo de crear

arquitecturas que emulen la vida ya que ahí radica la capacidad extraordinariamente única de los seres vivos para evolucionar y adaptarse a sus entornos en constante cambio (no sólo por el bien de la supervivencia individual, sino también de la supervivencia de la especie). Alexander quiere dotar de estas mismas cualidades a la arquitectura. De manera similar, en el ámbito del software, las buenas arquitecturas de software⁷⁸ tienen que ver con ser adaptables y resistentes al cambio. Así que otro aspecto de la generatividad es crear arquitecturas y programas “vivos” capaces de adaptarse dinámicamente para satisfacer necesidades cambiantes y demandas.

Según Brad Appleton, en el concepto de patrón generativo propuesto por Alexander hay más que la propia “generatividad” incorporada en sus instrucciones. Además de construir algo y su capacidad de adaptabilidad, la aplicación sucesiva de varios patrones, cada uno de los cuales “encapsula” su propio problema y fuerzas, despliega una solución mayor que emerge indirectamente como resultado de las soluciones más pequeñas. Es la generación de tal comportamiento emergente, lo que para Appleton, se podría entender por la generatividad de Alexander, y lo que lo conectaría directamente con los sistemas complejos. De esta manera, los patrones y los lenguajes de patrones deben guiar a sus “constructores” —tanto arquitectos como informáticos— para generar arquitecturas completas que tengan “calidad”. Este aspecto particular del paradigma de Alexander, la belleza como parámetro objetivo, es el que se considera trascendente y subjetivo, y puede derivar en rechazo de sus propuestas para sus lectores, especialmente en el caso de arquitectos (Galle, 2020).

Encontramos que una aproximación que considere proyectar como “generar lo que aún no existe, plantear, tratar problemas y disponer de principios organizativos que permitan unir y dar sentido a los saberes hasta definir cada objetivo, in-formando y poder precisar si la solución es satisfactoria” (Azulay Tapiero, 2011) puede ser compatible con lo que Alexander considera como la tarea arquitectónica:

*“No obstante, muchas personas estarán de acuerdo en que la fuerza creativa de un arquitecto, su habilidad para hacer algo hermoso, **reside en su capacidad de observación correcta y profunda** [...] la habilidad de un arquitecto también proviene de su capacidad para observar las relaciones que realmente importan: las que están en lo profundo, las que hacen la obra. En este sentido, entonces, un lenguaje de patrones subyacente consiste en una serie de patrones que corresponden a observaciones profundas acerca de qué hace hermoso a un edificio” (Alexander, 1981b, p. 179)*

Los patrones son interesantes desde un enfoque de diseño y construcción de sistemas porque pueden ser un medio para captar el sentido común (lo que vemos) y también pueden ser un medio para realizar abstracciones que no se pueden hacer de otra manera. En Alexander, los usuarios somos personas que habitamos una construcción que está en evolución y puede ser diseñada, construida, reparada y mantenida por sus propios habitantes. Esto no ocurre para los usuarios de software. El objetivo del lenguaje de patrones de Alexander fue encontrar un significado objetivo para la belleza, para la vivacidad que tienen ciertos edificios, lugar y actividades humanas de “calidad”. Calidad

⁷⁸ “In computer science such beauty is exactly mathematical beauty—Occam’s razor slicing away fat, eliminating ornamentation, the hard chill beauty of a compact, precisely clever theorem” (Ver: R. Gabriel, 1998, p.46). Aunque sea controvertido, nosotros también consideramos que también Alexander, tiene a asemejar la belleza con relaciones matemáticas (Ver: R. Gabriel & Quillien, 2019; Galle, 2020).

entendida como una buena correspondencia subyacente entre la estructura del problema y la estructura de la solución. El proceso de un buen diseño comienza escribiendo los requisitos, analizando las desviaciones entre el patrón y el problema produciendo una descomposición jerárquica de las partes y recomponiendo una estructura cuya jerarquía estructural es la contrapartida exacta de la jerarquía funcional establecida durante el análisis del programa (Alexander, 1964).

Para Alexander, no bastaba con que un sistema cumpliera sus requisitos, sino que el sistema debía llegar a un acuerdo consigo mismo y estar en equilibrio con las fuerzas que se generaban internamente en el sistema, y no que fuera tan solo satisfacer objetivos. Para él, hay realidades que emergían del sistema y que, si lo lograbas o no, tenía que ver con si creabas una configuración que era estable con respecto a estas realidades (Grabow, 1983). Muchas de las características clave de un sistema provienen de fuerzas internas y no de requisitos externos, como pueden ser los propios intereses del proyectista⁷⁹.

La imagen común de un arquitecto es aquel profesional al que se le encarga un problema que normalmente ya está acotado, con restricciones muy fuertes (económicas, normativas, espaciales, etc.), del que se conocen sus soluciones “patrón”, con algunas especificaciones muy genéricas sobre su uso y sobre lo que sus habitantes “necesitan”. El arquitecto habla con los usuarios, conoce los códigos, observa el lugar y los edificios vecinos, considera los materiales y los sistemas de construcción, las tradiciones, pudiendo incorporar sus puntos de vista, mediante dibujos, croquis, diagramas y bocetos. Un boceto que ya, per se, da identidad personal, indica un camino que expresa su creatividad del propio arquitecto, no la del usuario. El boceto es traducido a una documentación técnica que se pasará a contratistas que, a su vez, construirán trabajando con la materia y las ideas un objeto fisco. El arquitecto sería, además, el garante de que la construcción siga sus instrucciones en el proyecto.

Alexander luchó contra este esquema y rechazó la separación entre constructor y arquitecto. Propuso centrar el diseño en el usuario, capaz de diseñar y construir sus propios edificios. Por lo que el arquitecto sería un arquitecto-constructor que coordina las actividades de diseño y construcción, siendo el lenguaje de patrones el mecanismo que utiliza para llevarlo a cabo. Para Alexander, las variaciones de los patrones no son sistemáticas sino que dependen de otros patrones, de lo que contienen y del contexto.

Sin embargo, al igual que ocurrió en la informática, dónde todo usuario con la formación adecuada podría, en teoría, crear y personalizar sus propios programas, en arquitectura el usuario-constructor-arquitecto podría autoconstruir. Pero la realidad es que no todo el mundo tiene ni tiempo, ni competencia para programar o construir. El enfoque de Alexander centrado en la auto-construcción y la capacidad humana para construir pierde realismo en

⁷⁹ Alexander era muy crítico con la figura del arquitecto: “lugar no tiene vida o es irreal, casi siempre hay una mente maestra detrás de él. Está tan lleno de la voluntad del creador que no hay lugar para su propia naturaleza”. Sin embargo, para nosotros, consideramos que en el proceso de proyectar y construir no es posible realizarla sin incorporar algo de la personalidad del constructor, sea arquitecto o no. Como seguramente ocurre en el resto de los animales que construyen, en la mayoría de los casos somos incapaces de distinguir que rasgos de esa construcción se deben a las fuerzas, contingencias y adaptación del sistema constructivo y cuales, a las incorporadas por el su constructor-proyectista. Sabemos, no obstante, que no hay dos construcciones iguales hechas por la biosfera, incluidas las construcciones humanas, por mucho que cierta modernidad lo haya intentado.

cuanto aumenta la complejidad y dificultad de las interrelaciones que intervienen actualmente en la arquitectura.

Reconocimiento de patrones

El reconocimiento de patrones es absolutamente clave en la ciencia de los sistemas complejos y en la inteligencia artificial. También para las ciencias sociales, la ecología y en parte para los seguidores de Alexander, en arquitectura. Desde el paradigma del pensamiento complejo, reconocer estos patrones es esencial para entender cómo funciona un sistema y por lo tanto, poder hacer previsiones sobre su comportamiento o el efecto de ciertos cambios. Sin embargo, hay una gran distancia entre los conceptos y la investigación orientada al reconocimiento y análisis de patrones y el estudio de la complejidad en la epistemología. De lo que resulta una incomunicación entre ambas aproximaciones y una falta de convergencia cuando se trata de ciertos objetivos del análisis social (Latour, Castells o Barbasi) o arquitectónico (Alexander) (Pieters, 2001).

El sociólogo Niklas Luhmann trató de proponer conceptos capaces de superar esta brecha con una reformulación de la teoría de sistemas propuesta por Bertalanffy, Wiener, Ashby y Forrester. En todos ellos la noción de sistema se fundamenta en los conceptos de entorno, límite, retroalimentación e intercambio. Estos conceptos definen el grado de conocimiento sobre cada sistema. En función de este conocimiento se distinguen tres tipos de sistemas. En el primero, denominado “caja blanca”, el observador puede describir completamente el sistema. En el segundo, denominado “caja gris”, sólo algunas partes. Y en el tercero, los modelos “*caja negra*”, desconocemos la estructura interna y sólo podemos observar sus entradas y salidas con el entorno. Todas estas aproximaciones, para Luhmann, tienden a ignorar la evolución del entorno y la capacidad del sistema para modificarlo. Es decir, la retroalimentación cambia la dinámica del sistema, pero también, la de su entorno. Lo que hace que las nociones de “interior” y “exterior” del sistema sean discutibles y no simples (Cilliers, 2001). Esto, añade más complejidad y dificulta que realmente existan sistemas ideales tipo “caja blanca”.

El análisis de caja negra es fundamental para el aprendizaje automático, pero también para el análisis urbano y de edificios, donde los grados de relaciones y anidamientos entre subsistemas hace inviable observar la totalidad de las relaciones. En otras palabras, para entender estos sistemas de manera holística la identificación de patrones es clave ya que no se puede acceder a la complejidad de las interrelaciones (Batty, 2017; Simon, 1962).

Aquí podemos distinguir entre los patrones que se utilizan como “bloques de construcción” con los que modelar y construir sistemas complejos (Holland, 2004); patrones como señales de reiteraciones observables en el comportamiento de un sistema y patrones como señales-solución que pueden recombinarse para ser aplicadas a otros contextos. Lo que conecta estos diferentes conceptos de patrón y sus objetivos es que pueden ser matemáticamente expresados por medio de algoritmos e informáticamente analizados. Por ejemplo, para Holland estos “buildings block” pueden modelarse mediante algoritmos genéticos con los que entender el comportamiento del sistema (Holland, 2012). Para Luhmann, los patrones nos muestran el comportamiento sociológico y, como hemos visto,

los patrones de Alexander son reiteraciones-soluciones para problemas constructivos⁸⁰ susceptibles también de matematizarse (Alexander, 2006a, 2006b; Steenson, 2017).

A este respecto, en teoría de sistemas complejos no existe de forma unánime una definición de patrón. Para Trigve Reenskaug, “*A pattern tells the reader how to solve a problem*” (Reenskaug et al., 2020^a, p. 31), es decir, una descripción en un determinado formato que informa cómo se soluciona un cierto tipo de problema⁸¹ (Reenskaug et al., 2020b). Otros lo entienden de manera más cerrada como una estructura arquetípica de objetos colaboradores —un mecanismo— para construir un modelo⁸² a seguir, una guía para solucionar problemas (Miller & Page, 2007). El patrón indicaría al lector cómo resolver un problema. Para Brad Appleton es,

“usually concerned with some kind of architecture or organization of constituent parts to produce a greater whole [...] A pattern is a named nugget of insight that conveys the essence of a proven solution to a recurring problem within a certain context amidst competing concerns” (Appleton, 2000)

Dirk Riehle y Heinz Zlighoven (Riehle et al., 2000) proporcionan otra definición del término patrón:

“A pattern is the abstraction from a concrete form which keeps recurring in specific non-arbitrary context”

Por su parte, la ingeniería de software suele distinguir tres categorías principales de patrones: estructurales, creacionales y de comportamiento. Cada categoría aborda diferentes aspectos del diseño del software y ayuda a resolver problemas específicos de manera eficiente y reutilizable. Los patrones creacionales abstraen y controlan la forma en que se crean los objetos. Su objetivo es promover la flexibilidad y la reutilización del código. Los patrones estructurales se centran en cómo componer objetos y clases en estructuras más grandes y flexibles, asegurando que el sistema sea fácil de mantener y escalar. Por último, los patrones de comportamiento se enfocan en la interacción y responsabilidad entre los objetos definiendo cómo se comunican y cooperan entre sí para realizar tareas complejas.

⁸⁰ “A pattern defines an arrangement of parts in the environment, which is needed to solve a recurrent social, psychological, or technical problem. Each pattern has three [...] sections: context, solution, and problem” “The context defines a set of conditions. The problem defines a complex of needs which always occurs in the given context. The solution defines the spatial arrangement of parts which must be present in the given context in order to solve the problem” (Ver: Alexander et al., 1969)

⁸¹ Reenskaug, enfatiza el proceso “must be guided by an appropriate work process”. Para ellos “a pattern tells the reader how to solve a problem”, añadiendo en relación a Alexander: “in the early seventies, the architect Alexander. proposed patterns as an interesting way for communicating important ideas among professionals. An enthusiastic group of computer professionals have adapted these ideas to our field, and a book on Design Patterns has been published. In the Alexander sense of the word, **a pattern is a specification of a problem and a guide to its solution.** For problems in object-oriented design, the solution frequently involves an archetypical structure of objects. In these cases, the solution can often be described in terms of a role model. But this is to be construed as a communication device only, and not as a canned solution” (Ver: Reenskaug et al., 20220, pp.31-32).

⁸² “Regardless of the approach, the quest of any model is to ease thinking while still retaining some ability to illuminate reality” (Miller & Page, 2007, p.11).

En este sentido, el patrón creacional⁸³ informático puede considerarse tomado de la teoría de Alexander⁸⁴. “A pattern language”, aún siendo uno de los libros más vendidos en el campo de la arquitectura, su influencia ha sido mayor en la informática (Mehaffy, 2007; N. A. Salingaros, 2020) y en otras disciplinas de diseño (Peter Baumgartner et al., 2017).

La influencia de los patrones de Alexander sobre los patrones de diseño en informática está ampliamente recogida y documentada (Coplien, 1998; Garzas, 2013), tanto en los creadores de lo que hoy se conoce como lenguaje de patrones⁸⁵ (informáticos), como en la programación orientada a objeto y la filosofía “wiki”⁸⁶. En analogía con los patrones como solución adaptativa a ciertos problemas contextuales en arquitectura, los patrones de Alexander son utilizados en ingeniería de software para documentar y transmitir la experiencia en la resolución de problemas tipo que pueden aparecer en diferentes contextos (García-Peñalvo, 1998).

Ingenieros Informáticos como Erich Gamma, fundador de “Gangs of Four”, desarrolló las ideas de Alexander en libros de *software engineering* como “Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software” (Gamma et al., 1994^a). No sólo utilizaron el concepto

⁸³ Aunque para Jame Coplien, tampoco en este campo las ideas de Alexander han sido bien comprendidas: “los patrones son escritos en comunidad y basados en décadas de reflexión sobre prácticas en el mundo real. Pocos estudiantes pueden decir que están involucrados en la comunidad de patrones y todavía menos cuentan con canas en su cabeza. Para aquellos que estén interesados en aprender la teoría, te recomiendo bucear en la literatura la teoría del diseño de la década de 1980: Christopher Alexander, John Thackara, Nigel Cross, y otros de la época, que fueron algunos de los primeros en comprender los retos de los sistemas complejos. Pasando a los libros de Alexander. Me llevó más de una década de estudio conseguir entender la esencia de ellos. Hay que empezar alguna vez, y no hay mejor momento que el presente” (Ver: Garzas, 2013).

⁸⁴ En todo caso, y en palabras de James Coplien: “*Christopher Alexander uses the term “architecture” only 14 times in The Timeless Way of Building, and 8 of the uses are pejorative*” (Ver: James Coplien, 2021). Alexander considera, de forma generalizada, que los edificios y ciudades contemporáneas no responden a patrones de acontecimientos que den lugar a “la cualidad sin nombre” y, por lo tanto, son sin vida. Además de no ser parte de la naturaleza, ni ser orgánicos, son fuente de conflictos.

⁸⁵ El origen del lenguaje de patrones en informática se puede situar en el libro de Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson y John Vlissides, “*Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*” de 1995. Los autores no nos dejan dudas sobre dónde partió la idea: “*The importance of patterns in crafting complex systems has been long recognized in other disciplines. In particular, Christopher Alexander and his colleagues were perhaps the first to propose the idea of using a pattern language to architect buildings and cities. His ideas and the contributions of others have now taken root in the object-oriented software community. In short, the concept of the design pattern in software provides a key to helping developers leverage the expertise of other skilled architects*” (Ver: Gamma et al., 1994)

⁸⁶ Entre los lectores no-arquitectos, se encontraron Ward Cunningham and Kent Beck, informáticos que leyeron a las ideas de Alexander y las aplicaron a la informática para crear los patrones de programación (“patterns”) en 1987, así como también el primer sitio Wiki (1995). Siguieron con la idea, de que al igual que Alexander había propuesto identificar patrones en la arquitectura para que cualquier pudiera construirse “una casa bella”, Ward y Kent, pensaron que cualquier usuario podría utilizar patrones para programar. “*in August of 1993, KentBeck and GradyBooch sponsored a mountain retreat in Colorado where a group of us converged on foundations for software patterns. Ward Cunningham, Ralph Johnson, Ken Auer, Hal Hildebrand, Grady Booch, Kent Beck and Jim Coplien struggled with Alexander's ideas and our own experiences to forge a marriage of objects and patterns. We agreed that we were ready to build on Erich Gamma's foundation work studying object-oriented patterns, to use patterns in a generative way in the sense that Christopher Alexander uses patterns for urban planning and building architecture. We then used the term generative to mean creational to distinguish them from Gamma patterns that captured observations*” (Ver: Cunningham & Mehaffy, 2013; wiki.c2.com)

de Alexander de patrón como un elemento reutilizable que contiene experiencia⁸⁷, sino que además lo modificaron para su aplicación en sistemas informáticos.

Hay muchos aspectos de uso de patrones que parten de Alexander y son utilizados por los patrones informáticos. Ambos se basan en observar los sistemas existentes y buscar patrones. Ambos tienen plantillas para describir patrones. Ambos consideran que los patrones conforman un cierto lenguaje natural. Ambos dan fundamentos para la descripción de cada patrón. Sin embargo, según Gamma, podemos enumerar algunas diferencias entre los patrones de Alexander y los patrones informáticos (Gamma et al., 1994b, p. 356):

1. Los seres humanos hemos estado construyendo edificios durante miles de años, por lo que hay muchos ejemplos a los que recurrir. La informática lleva poco tiempo creando sistemas de software y pocas soluciones se consideran clásicas.
2. Alexander busca un orden y jerarquía orientada a la belleza y la armonía, mientras que, en la informática, se busca la eficiencia y la funcionalidad.
3. Los patrones de Alexander enfatizan los problemas que abordan, mientras que los patrones de diseño informático describen las soluciones con gran detalle.
4. Alexander busca generar con sus patrones edificios completos. Los patrones informáticos, solo partes para generar programas completos.

Es decir, cuando Alexander afirma que se puede diseñar una casa simplemente aplicando sus patrones uno tras otro, tiene objetivos similares a los de los metodólogos del diseño orientado a objetos que dan reglas de diseño paso a paso. Alexander no niega la necesidad de creatividad sino todo lo contrario. Algunos de sus patrones requieren comprender los hábitos de vida de las personas que utilizarán el edificio y su creencia en la “belleza” del diseño implica un nivel de experiencia más allá del lenguaje de patrones en sí. Pero su descripción de cómo los patrones generan diseños implica que un lenguaje de patrones puede hacer que el proceso de diseño sea determinista y repetible. Este enfoque de Alexander es un aspecto difícil de trasladar a la informática. Gamma remarca:

“The Alexandrian point of view has helped us focus on design trade-offs—the different “forces” that help shape a design. His influence made us work harder to understand the applicability and consequences of our patterns. It also kept us from worrying about defining a formal representation of patterns. Although such a representation might make automating patterns possible, at this stage it’s more important to explore the space of design patterns than to formalize it” (Gamma et al., 1994b, p. 357)

En definitiva, dada la variedad de sistemas de software que construye la gente, los patrones informáticos derivados de la teoría de Alexander se utilizan como soluciones parciales. Paradójicamente para Alexander, pese a no proporcionar un conjunto “completo” —*hink it’s unlikely that there will ever be a complete pattern language for software*— (Gamma et al., 1994b, p. 357)— de patrones que ofrezcan instrucciones paso a paso para diseñar una aplicación, la caracterización de un problema-solución que se puede extrapolar a otro contexto es mucho más utilizada en informática que en arquitectura. La influencia de

⁸⁷ “Christopher Alexander is the architect who first studied patterns in buildings and communities and developed a “pattern language” for generating them. His work has inspired us time and again. So it’s fitting and worthwhile to compare our work to his. Then we’ll look at others’ work in software-related patterns” (Ver: Gamma et al., 1994, pp. 356–357).

Alexander en la práctica constructiva se puede considerar irrelevante pese a los esfuerzos de algunos de sus seguidores como Nikos Salingaros (N. Salingaros, 2014, 2020).

Como hemos expuesto, la más evidente de las diferencias entre el concepto de patrón de Alexander y la manera en la que se utiliza en informática, es que en arquitectura el patrón refleja larga la historia del habitar humano, que han dejado sus huellas en forma de construcciones. En éstas podemos rastrear e identificar las relaciones complejas entre los materiales disponibles, el clima, la cosmovisión formada por los conceptos—fuerza y la tecnología de un lugar en un tiempo concreto, lo que hemos definido como los “modos de habitar”. A través de estos patrones los humanos, solamente viendo sus construcciones, podemos reconocer la forma en la que nos relacionamos y organizamos tanto entre nosotros como con el resto de la naturaleza. Este carácter temporal y material de los patrones constructivos, sin embargo, no es posible para los patrones informáticos.

Los patrones de Alexander generalmente se relacionan con algún tipo de arquitectura u organización de partes constituyentes para producir un todo mayor. *Richard Gabriel, autor de “Patterns of Software: Tales From the Software Community”* se centra en el concepto regla y en un planteamiento problemático del lenguaje de patrones:

*“The mechanism he [Alexander] proposed to accomplish his new model was the pattern language. A pattern language is a set of patterns used by a process to generate artifacts. These artifacts can be considered complexes of patterns. **Each pattern is a kind of rule that states a problem to be solved and a solution to that problem. The means of designing a building, let’s say, using a pattern language is to determine the most general problem to be solved and to select patterns that solve that problem. Each pattern defines subproblems that are similarly solved by other, smaller patterns. Thus we see that the solution to a large problem is a nested set of patterns**” (Gabriel, 1998, p. 46)*

Es decir, la metodología de Alexander son reglas que tienen un objetivo trascendental más allá de la física relacionadas con el orden y la belleza, basados en la observación experimental de lo construido⁸⁸. Parten de una larga tradición visible, establecen un orden y una secuencia desde una escala espacial amplia (regiones) hasta el detalle. Se centran en los problemas que abordan y se crean con una idea concreta y *complexa*, para generar un edificio “bello y humano”. De forma disímil, en informática no se disponía de experiencia previa observable en los algoritmos ni se estableció un orden como objetivo. La informática se centra en las soluciones y objetivos que funcionan para un determinado fin normalmente no completo. Además, los patrones arquitectónicos requieren comprender el comportamiento humano, requisito no tan necesario en la informática. Exige aprender de las construcciones vernáculas que han entendido el “orden natural” y percibir la “cualidad sin nombre”. Estas dos ideas, implican incorporar conceptos que va mucho más allá de lo expresable y definible matemáticamente. Estos aspectos se escapan del sistema propuesto por Gamma y sus colegas para definir los patrones informáticos, abiertos, enfocados en la solución, que renunciaba conscientemente a generar un conjunto completo y un lenguaje universal. La realimentación con la comunidad, la interoperabilidad de un lenguaje mínimo común, son conceptos básicos que no han sido posibles en el sistema arquitectónico de Alexander.

⁸⁸ De ahí, que se pueda hacer una lectura fenomenológica de su trabajo.

Una posible causa es que la complejidad en arquitectura para establecer patrones, es decir el “contexto-problema-fuerzas-configuración”, es mayor que la que está implícita en la propuesta por Alexander. Los patrones responden en cada momento, por definición, a los problemas que se plantean. Es decir, si obtenemos una cierta repetición en la configuración urbana, o en la edificación, o en un órgano, o en un nido, o en un río, debemos preguntarnos a qué “fuerzas” responden. Si se repite en un cierto contexto durante años puede significar bien, que el patrón está adaptado a sus fuerzas o bien, que las fuerzas y el propio contexto que lo han configurado han sufrido pocas variaciones. La primera incide en la estabilidad del sistema, en que hay un “orden natural”, o una ley *universal*. Éste es el que sigue Alexander. Por ejemplo, Alexander explica la simetría como una propiedad de las estructuras vivas⁸⁹ (Pratt & McLain, 2002). Pero desde el segundo enfoque, la simetría puede ser la resultante de una configuración de fuerzas que consumen menos energía para moverse o en impulsar flujos internos (Lin, 2001) y que cambiará, si se modifican esas fuerzas.

En este sentido, la tecnosfera ha supuesto cambios de tal magnitud (geológicos) que es obvio que también ha afectado a la configuración no sólo de ciudades y edificios sino a la totalidad del sistema. Es más, precisamente identificamos la tecnosfera de origen tecnológico-industrial a través de la existencia de las reiteraciones o patrones que indicarían la presencia de “fuerzas” complejas (Kelly, 2016a): nuevas ciudades distantes pero que se parecen⁹⁰ entre sí, con hábitos de comportamiento humano similares que dan lugar a edificios y viviendas casi indiferenciables; temperaturas de confort idénticas gracias a la existencia de sistemas tecnológicos independientes del contexto ambiental y cultural, comportamientos de movilidad análogos. Un largo etcétera de similitudes que identificamos como patrones.

Distinguir, observar e identificar patrones

Para Alexander “la tarea fundamental de la ‘arquitectura’ es la creación de un único lenguaje de patrones compartido y evolutivo al que todo el mundo contribuye y que todos pueden utilizar” (Alexander, 2003). Como es de esperar, esta delimitación de la tarea fundamental de la arquitectura ha suscitado severas críticas y fuertes cuestionamientos además de una fuerte inoperatividad.

Si para el enfoque constructivo todo lo que podemos saber de un sistema es su comportamiento en forma de patrón, entonces, como sistema complejo, para generar nuevo conocimiento arquitectónico debemos ser capaces de identificar patrones, seleccionarlos y observarlos. Por lo tanto, la tarea no es la creación de ningún lenguaje unificado. No se trata de ninguna sintaxis, se trata de que los patrones como manifestación de un fenómeno complejo —habitar— nos permitir aprender lecciones de la interacción entre los edificios construidos, su comportamiento, los acontecimientos y eventos y los

⁸⁹ Aunque no siempre, como en el cangrejo violista donde una de sus pinzas, o *quelas*, es mucho más grande que la otra (Ver: Pratt, 2002) debido a su asimetría fluctuante.

⁹⁰ “las ciudades contemporáneas, por ejemplo, que en su mayoría corresponden a estructuras espaciales que cabe reducir a unos pocos tipos, los cuales proporcionan ciertos índices sobre la estructura social subyacente” (Ver: Lévi-strauss, 1995, p.347).

procesos que tienen lugar para proporcionar un habitar, especialmente en su interconexión con la naturaleza.

No se trataría de construir una biblioteca de patrones o soluciones constructivas. Siendo señales, los patrones podrían descubrirse a partir de la intuición a la manera de Alexander o construirse mediante la sensorización (IoT), aplicación de análisis de datos o minería de datos para extraer información de un gran conjunto de datos. La clave es disponer de datos significativos, bien con nuestra percepción y experiencia, o bien mediante la extensión que proporciona la sensorización y la inteligencia artificial.

Los datos significativos que generan conocimiento arquitectónico provienen de eventos no estructurados como es el habitar en un medio. El patrón para Luhmann es que el dato “ha tomado forma”. Un patrón estaría en una posición intermedia entre los datos y la información. Para Luhmann el proceso de extraer información se produce justamente porque podemos distinguir entre series de números, de acontecimientos o de sistemas. Los datos en sí, en cuanto agrupaciones de números que aún no tienen forma, no proporcionan información y por lo tanto, no son un nuevo conocimiento.

Para la distinción es imprescindible la comparación. De esta forma, para caminar hacia la comprensión de un sistema debemos poder distinguir el patrón del resto de información y comparar con patrones existentes a partir de otras observaciones, o de otro conjunto de patrones predefinidos o separados de antemano desde algún criterio. Solo así es posible realizar un emparejamiento, una comparación y una categorización de la forma de patrón, convirtiéndose así en información. Por decirlo de alguna manera, entra en juego disponer de una biblioteca de patrones que proporcionan un contexto con el que establecer comparaciones. Estas bibliotecas de información son una preforma capaz de establecer cierta comunicación interdisciplinaria.

Es decir, desde la aproximación constructiva los patrones como característica observada de la realidad no son una herramienta de modelado tipo patrón de diseño. Un patrón observado no está diseñado a partir de un problema sino que es una manifestación de procesos que interactúan de cierta manera. Todo en la realidad tiene la potencia de ser observado y convertirse en datos, pero estos datos, desde y para la perspectiva del observador, pueden ser insignificantes o significativos. Por lo tanto, para la generación de conocimiento en arquitectura o en cualquier otra disciplina es necesario que los datos percibidos se conviertan en información. Para ello, hay que **seleccionar lo observado, identificarlo y definir el para qué**. Una vez hecho esto, la información aparecerá superponiendo datos con otro conjunto de datos.

En un proceso de construcción de patrones el observador es una entidad activa ya que está haciendo activamente distinciones en los datos. La observación es un **proceso de selección más que de organización de las reglas o procesos** (Pieters, 2001). Luhmann define la observación como un “**process of distinguishing and describing**”. Ahora bien, este proceso de distinguir y describir para su “*empleo en la teoría de sistemas para observar la sociedad, lleva implícito un momento de arbitrariedad*” (Luhmann, 1998, p. 17). Esto es sumamente importante porque esta arbitrariedad en la identificación y selección de lo observable hace que la evolución del sistema no pueda estar determinada. Corresponde en cierta medida a la intuición del observador. Es decir, si incluimos la capacidad de modificación que tiene la observación sobre el propio sistema y la decisión

sobre qué observar, llegamos necesariamente a cierta arbitrariedad por lo que la evolución del sistema es indeterminable. Así la realidad se configura como el *“trasfondo en que distintos observadores podrán observar lo mismo de distinta manera [...] todo sistema con capacidad de observar conduce a que lo observado adquiere [...] por ser observado una forma desdoblada”* (Luhmann, 1998, p. 22). Luhmann remarca como característica fundamental de la observación el que pueda modificar la realidad. Expresado de otra forma, la observación es creativa y de la misma manera se podría hablar de *“ganancia explosiva de realidad”*. En una cosmovisión constructivista la realidad no sólo es *lo que es*, sino que además, es también lo que la observación acciona como construcción.

Así, el concepto de función u objetivo también queda abierto ya que los sistemas autorreferenciales son capaces de observarse, describirse a sí mismos y descubrir relaciones, generando así nuevas funciones. Ésto es lo que convierte al concepto de habitar “salvaje” en un modo siempre en evolución, ya que observar el sistema amplía “explosivamente” el sistema.

De la misma manera, una de las características que más sobresale en un fenómeno con una escala temporal tan amplia como la arquitectura es la memoria o información que queda incorporada en sus formas y organización de la materia. Esta “memoria” que era clave para Alexander en su búsqueda de leyes universales de diseño, es en el enfoque constructivo *“el nexo entre acontecimiento de información y la transformada manera de operación”* (Luhmann, 1998, p. 84). Es decir, sólo al observador que tenga información del sistema se le presenta un patrón como “memoria”. Los procesos del sistema mismo sólo se reproducen en el presente y para ello no necesitan memoria. Pero de la auto-observación sí que es posible adquirir más información sobre el propio estado y cómo éste reacciona ante ciertas afecciones. Pero esto no cambia que la memoria sólo existe para un observador “informado”.

La observación es pues un proceso que sólo puede operar por distinciones para lo cual es necesario una comprensión previa del sistema. El proceso de diferenciación no será posible si no conocemos el sistema ya que el sistema será indistinguible. En otras palabras, sin este conocimiento, no será posible seleccionar qué observar y cómo indentificar cierta arquitectura y la manera que se habita.

Entre todas las distinciones que se pueden realizar, para Luhmann es fundamental la distinción entre sistema y entorno, y no sólo la tradicional forma y fondo, o textual y contexto. Desde esta perspectiva, para Luhmann la diferenciación del sistema y del entorno *“ha de comprenderse como un sistema que se orienta, pleno de sentido hacia su entorno”* (Luhmann, 1998, p. 101), lo que conlleva, en el caso de los edificios una posición hacia la ciudad, hacia la Naturaleza, hacia un entorno socioeconómico, etc. En todo caso, exige siempre una toma de posición acerca de desde qué posición se observa y cuál es el “entorno”. De esta posición y la consideración de qué es el entorno se deriva siempre una cierta realidad que, automáticamente, depende de la comprensión que de sí mismo tenga el sistema que observa. De ahí, que como en el caso de Spinoza en la toma de decisiones, la “distinción de expectativas verificables” siempre conlleva “una absorción aceptada del riesgo” (Luhmann, 1998, p. 112).

Por lo tanto, el paso previo **a la indentificación de patrones es observar y seleccionar la distinción entre sistema y entorno**. Para ello, resulta fundamental la identificación de lo que relaciona, de los intercambios y de las conexiones, al mismo tiempo que permanezca sensible a los requerimientos específicos de cada situación (arquitectónica). Además, y en

consonancia con los modos de habitar que hemos definidos, para Luhmann sólo “*la sociedad hace posible identificar los nexos de expectativas (personas, roles, programas, valores) que pueden aplicarse a las respectivas interacciones, pero que, en sus referencias de sentido, las exceden*” (Luhmann, 1998, p. 378). Es decir, la diferenciación de las expectativas, los valores y las formas de interdependencia, “son socialmente preconstruidas”.

En arquitectura, además, nos preguntamos cuál es el sistema *conductualmente relevante*. Si el fin/objetivo de la arquitectura es el de habitar, ese habitar puede explicitarse, por ejemplo, en forma de confort térmico o de seguridad estructural pero, también se puede explicitar explorando una secuencia controlada de combinaciones que consideramos racionales⁹¹ o plausibles sobre el habitar⁹². La estrategia arquitectónica inicial pasará pues, por definir un “habitar” o modos de habitar basados en patrones de comportamiento⁹³ observados. Estas construcciones a su vez, también parten de la información obtenida de los datos disponibles de combinaciones que funcionan (incluyendo sus fracasos, deficiencias y limitaciones) en un determinado contexto. También es posible disponer de la suficiente comprensión del sistema para generar estrategias capaces de explorar nuevas combinaciones que a su vez podrían producir nuevos patrones. En ambos casos, se debe modelizar, simular, analizar y realimentar modelos. Pero si se quiere minimizar el riesgo y aumentar la exploración, especialmente cuando se introducen variaciones significativas, se debe disponer de algún modelo. En el caso de la arquitectura, la ausencia de modelos explica la resistencia a introducir grandes cambios sobre sistemas que ya funcionan.

Como se ha argumentado, no basta con tener un conocimiento basado en datos y modelos. La construcción de una estrategia arquitectónica pasa por seleccionar e identificar “influencias” y “afecciones” y observar sus efectos. En definitiva y como se ha propuesto, retomando a Spinoza, pasa por intuir qué encuentros componen, qué es capaz de hacer un patrón dentro de una arquitectura.

⁹¹ Para el investigador belga Heylighen en evolución, complejidad y cognición, es la combinación y dar alternativas, en dónde encontramos, no solo nuestra capacidad de racionalidad, o de adaptación sino también de creatividad: “*The fact that different combinations of concepts can be conceived without experiencing them in contiguity, can be interpreted as a basic form of imagination or creativity. The fact that there is a control mechanism allowing the choice between a set of alternatives conceived in this way, can be understood as the basis for free will. The fact that a controlled sequence of combinations can be generated and explored as to its consequences may be called rationality or the capacity for thinking. The fact that an individual can have a concept of himself, and can combine it with other concepts in order to think about himself and compare himself with others can be called self-consciousness. By combining the concepts of situations he want to achieve with the concepts of things he has at his disposal he may conceive ways to use these things as tools*” (Ver: Heylighen, 1991)

⁹² Por ejemplo. para el Arquitecto Pérez-Herreras, de la “*revolución aeronáutica que Prandtl provocó con su teoría de las capas límite ha seguido una revolución arquitectónica que se reconoce en aquellas nuevas arquitecturas públicas de Oriente. Sus estructuras dan habitación a otra modernidad*”, con una tesis que defiende que en la arquitectura “*confluyen distintas disciplinas científicas*” (Ver: Pérez-Herreras 2003). Las combinaciones de la estructura, la circulación del aire y su cambio de densidades, se materializan en nuevos espacios, nuevas habitaciones, nuevas formas de vivir. (Ver: Pérez-Herreras, 2014)

⁹³ Los humanos solemos comportarnos (tomar decisiones) en base a nuestro conocimiento fáctico sobre el mundo (experiencia) y las orientaciones normativas. Procesamos ambos conceptos y los vinculamos de forma compleja para tomar una decisión. Para un pensamiento estratégico es básico el máximo conocimiento sobre el entorno (contexto) y la propia capacidad de valoración de nuestras capacidades, de las de los demás, o de la del ambiente.

Es decir, se trata de comprender tanto las potencialidades de un sistema mediante su diferenciación con sus limitaciones (legales, económicas, tecnológicos, afección al medio, etc.) en forma de restricciones, como de establecer los posibles estados y combinaciones de un sistema (muchas limitaciones, constriñen el número de soluciones posibles) (Bossel, 2007, p. 36). La solución queda constreñida tanto por las limitaciones que se han impuesto en la propia definición del problema como por la identificación y selección entre las infinitas posibilidades contextuales de un edificio, a partir del conocimiento y experiencia y de la relación sistema/entorno para unos fines que dependerán en gran medida de construcciones sociales.

Para intentar solucionar este problema hemos buscado en un concepto básico aplicado ya en cibernética, la diferencia. Es decir, al observar algo siempre se hace una distinción, sea entre las varias cosas que observamos, sea la diferente evolución temporal. Así, para definir un sistema en base a diferencias dependemos de los conocimientos, de la experiencia, de los recursos y de las técnicas involucradas, lo que implica que la totalidad del sistema no puede describirse, controlarse o calcularse por completo.

Esto es clave para nosotros, ya que en múltiples disciplinas existe la tendencia a confundir los datos con cierta realidad objetiva. Máxime si estos datos se refieren a parámetros fácilmente medibles como cuestiones monetarias o energéticas. Esta aproximación “objetiva” establece valores transdisciplinares que olvidan que todo observador procede por diferenciaciones internas para explicar (y reducir) la complejidad. Es decir, el acceso a la realidad, ya sea individual o por sistemas sociales, se da con construcciones internas del proceso de observación. Dicho de otra manera, todas las referencias al entorno son referencias propias, lo que conduce de hecho a una selección y observación siempre específica que, a su vez, implica una relación diferente entre sistema y ambiente. Esta perspectiva hace que los intercambios de energía e información que aparentemente son objetivos sólo permitan comparar en la medida en la que somos conscientes y se explicita la posición y el modo de observación. Es más, para Humberto Maturana y Varela, en su concepto de autopoiesis, los sistemas se definen mediante sus propias operaciones, en coherencia con la teoría de Uexküll, dan sentido sólo a la información procedente del entorno a través de su capacidad perceptiva y en consecuencia, pueden distinguirse del mismo.

En definitiva, para Luhmann, el pensamiento humano es el modo en el que, según la experiencia y el conocimiento, se es capaz de seleccionar e identificar las características a estudiar por medio de patrones observables. Este será pues un requisito para estudiar qué es un edificio (inteligente) sensorizado y automatizado. Para qué sensorizar. Qué patrones puedo observar y para qué y con qué los observo.

BLOQUE 03 EDIFICIOS INTELIGENTES

Qué se considera un edificio inteligente

Los edificios inteligentes fueron definidos ya en 1986 por Stubbing en “Intelligent Buildings” como “a building which totally controls its own environment”. El término “intelligent building” está asociado desde el principio con la capacidad de “automated environmental control” (Powell, 1990). Ésto se alcanza mediante la combinación de la capacidad de control de la computación electrónica, la gestión de datos informática, la obtención y transmisión telemática de datos obtenido del propio edificio (bien cableada o IoT), y los sistemas automáticos para realizar procesos específicos sin intervención humana directa.

En 1984 se definió los edificios inteligentes como “a marriage of two technologies—old-fashioned building management and telecommunications” (Sinopoli, 2010b), es decir, una combinación entre los últimos avances de la industria de las telecomunicaciones y las empresas de ofrecían estos servicios y los ordenadores personales, capaces de generar una primera conexión entre la edificación, los servicios de telecomunicación y la tecnología de la automatización. Esta combinación, para la gran mayoría de los diseñadores no era más que una última capa que se añadía al edificio sin relación alguna con su arquitectura. Sin embargo, comprobó que esta combinación era mucho más que una nueva capa, era algo que permitía operar el edificio para un fin. Las tecnologías existentes que actuaban de forma independiente como la los relacionados con la seguridad de incendios, la climatización, los controles de acceso, o la iluminación, podían entrar en relación para proporcionar espacios productivos, seguros y saludables para sus ocupantes, mejorar la eficiencia y diferenciar el edificio para aumentar su valor inmobiliario.

Los edificios inteligentes son diferentes de los otros edificios, pero *¿qué es un edificio inteligente*⁹⁴? ¿Qué características debe poseer para que podamos denominarlos así? Desde la perspectiva técnica “inteligencia”, remite a la toma autónoma de decisiones en contextos con incertidumbre (Serón Arbeloa, 2023) pero en los contextos de la edificación, se suele denominar “smart”, a todo edificio que incorpora tecnologías capaces de controlar diferentes sistemas del edificio⁹⁵. De esta manera, se puede confundir *inteligencia* con

⁹⁴ Desde un punto de vista tecnológico, la distinción entre un edificio “smart” y un edificio “intelligent” puede estar relacionada con el nivel de automatización y capacidad de adaptación que poseen, muy en relación con la inteligencia artificial (IA). Un edificio “smart” puede incorporar sistemas automatizados de control del edificio, como la gestión eficiente de recursos, la seguridad y el control de acceso, sin necesariamente depender de la inteligencia artificial. Por otro lado, un edificio “intelligent” podría ir más allá al integrar sistemas de IA que le permiten aprender y adaptarse de manera continua. La dificultad en español es que tanto “smart” como “intelligent” se traducen habitualmente por inteligente. En este texto utilizaremos indistintamente ambas acepciones, sin profundizar en los matices que se derivan del inglés.

⁹⁵ Para Paco Serón, hay muchas personas que no diferencian entre “smart” e “intelligence”. Para él, hay una diferencia importante: “Smart” se aplica a las inferencias aprendidas. Cuando estudiamos algo y aprendemos, nosotros mejoramos nuestra inteligencia en relación con la materia estudiada”. Serón afirma, sin embargo, que “intelligence”, es algo consustancial con cada persona, “se nace”. Es decir, “intelligence” es la “capacidad mayor o menor que una persona tiene para pensar, resolver problemas, razonar, pensar, comprender [...] inteligencia es una medida de su habilidad para poder llegar a ser más “smart” a través del aprendizaje (Ver: Serón, 2023, p.60).

automatización (Batov, 2015) y por otro, inteligencia, con sistemas informáticos controlados por inteligencia artificial.

La primera, remite a la domótica, al control, en las que todas las decisiones que tienen que ver con el edificio, las establecen los diseñadores y, posteriormente, sus habitantes. Es decir, son los diseñadores y los usuarios los que deciden cómo el edificio se adaptará a sus contextos, incluido el para qué, cómo y qué gestiona la tecnología. Es decir, son edificios que simplemente, están automatizados por dispositivos de regulación y control, programados para realizar ciertas acciones. Por lo tanto, se puede hablar de edificios ingeniosos, en términos de “smart”⁹⁶ pero no hay inteligencia en el sentido “artificial”⁹⁷. Además, en muchas ocasiones, las decisiones que toman estos sistemas automáticos pueden colisionar con los deseos o con las costumbres de los propios habitantes que terminan en la desconexión de estos sistemas (Ploennigs et al., 2014) dada alta variabilidad en nuestras acciones y las limitaciones de adaptabilidad de estos sistemas.

Para evitar esta limitación conceptual (Mozer, 2004), muchas de las definiciones de edificios inteligentes (Buckman et al., 2014; Latifah et al., 2020) ponen énfasis en la capacidad para monitorizar un entorno, detectar acciones realizadas por sus habitantes, construir patrones de ocupación, aprender de ellos, para en base a esta información tomar decisiones futuras autónomas.

Desde este enfoque, para que pueda ser considerado inteligente identificamos varios procesos. El primero se refiere a la capacidad de reconocer lo que sucede en su entorno próximo —tanto interior como exterior—. El segundo, a su capacidad de aprendizaje. El tercero, su capacidad para cambiar el estado del edificio y, por último, una realimentación capaz de prever ante ciertos contextos, acciones futuras. Estos aspectos son esenciales para que un edificio sea capaz de aprender de sus habitantes, adaptarse a sus ciclos de vida y tomar decisiones (Volkov & Batov, 2015) del propio edificio (Volkov & Batov, 2015).

En otras palabras, deben poseer sistemas ser capaces de leer el contexto y determinar tanto el comportamiento del edificio como de sus ocupantes, a la vez que deben poder realizar acciones de acuerdo con los parámetros que los rodean (Katz & Skopek, 2009).

Estos sistemas debían interactuar con el edificio construido, sus procesos, los ocupantes y el desempeño de la construcción. Una de las primeras definiciones como la del “Conseil International du Batiment Working Groups defined an Intelligent Building”, considera este enfoque:

⁹⁶ Este término proviene del inglés antiguo “*smeart*”, que hace referencia a “picar, a causar un dolor agudo”. Por lo tanto, no tienen un término equivalente en los idiomas latinos. Esta referencia al dolor evolucionó hacia lo “impertinente, descarado”, pero también “impertinente pero ingenioso” haciendo referencia a personas “rápidas, activas, inteligente, astutas” hasta alcanzar “agudeza en la negociación”. La primera acepción en el sentido de comportarse como si tuviera inteligencia (intelligence) es de 1972, “Smart bomb, also the computing smart terminal” (<https://www.etymonline.com/word/smart>)

⁹⁷ Existe una relación directa, ya que la AI puede potenciar la capacidad de un edificio para tomar decisiones basadas en datos en tiempo real, anticipar las necesidades de sus ocupantes y ajustar sus sistemas de manera proactiva. Por ejemplo, la IA podría aplicarse para optimizar la climatización en función de las preferencias individuales y las condiciones ambientales, gestionar de manera eficiente el consumo energético o incluso prever y responder a posibles problemas de seguridad.

“A dynamic and responsive architecture that provides every occupant with productive, cost effective and environmentally approved conditions through continuous interaction among its four basic elements: places (fabric; structure; facilities); processes (automation; control; systems) people (services; users) and management (maintenance; performance) and the interrelation between them.” (CIB, 1995)

Para que esto tenga lugar, es necesario que los edificios dispongan de cuatro sistemas técnicos esenciales: sensores y medidores, computadoras (hardware), algoritmos de programación (software) y un sistema de telecomunicación que los interconecte. Desde una óptima ingenieril, estos la interacción de estos cuatro sistemas (Buckman et al., 2014) es suficiente para un edificio pueda ser considerado inteligente.

Los sensores y medidores, tiene la capacidad de “observar” el entorno, pero proporcionan información sin procesar (datos). La red proporciona la conexión entre todos los dispositivos del edificio y con la AI, de forma análoga al sistema nervioso del edificio. Los algoritmos deben ser computarizados para que los edificios puedan cambiar su estado en funciones de las condiciones que observa, necesita extraer información útil, aprender y prever condiciones futuras para anticiparse y tomar decisiones. Estas capacidades están muy cerca de los requisitos de la inteligencia artificial⁹⁸ en términos de percepción, acción motriz y realimentación propias de los modelos cerebrales humanos⁹⁹ (Fraix, 1943).

Un aspecto fundamental de cualquier sistema (Meadows, 2022) es el fin u objetivo para el que está diseñado. En este sentido, se identifican una gran variedad de objetivos para los edificios inteligentes entre los que se encuentran el ahorro de energía, de tiempo (al

⁹⁸ Las primeras tentativas para definir la inteligencia artificial (IA) no surgieron de un único individuo o laboratorio, sino del trabajo colaborativo multidisciplinar de un grupo de pioneros de diversos campos. Entre ellos se encontraban: Kenneth Craik, psicólogo experimental, quien propuso un enfoque basado en los patrones neuronales que se producen en el cerebro en respuesta a estímulos externos; John von Neumann, matemático, que aportó su conocimiento de la teoría de la computación y la lógica simbólica. William Grey Walter y William Ross Ashby, neurólogos, que exploraron los mecanismos del procesamiento de información en el sistema nervioso; Oliver Selfridge, ingeniero, que investigó la posibilidad de crear máquinas que pudieran reconocer patrones y símbolos. Gregory Bateson, antropólogo, que aportó una perspectiva sobre la interacción entre la mente y el entorno. Gordon Pask, químico, quien exploró las analogías entre los sistemas biológicos y artificiales.

⁹⁹ En su obra seminal de 1943, "The Nature of Explanation", Craik desarrolló un razonamiento basado en modelos mentales internos del mundo exterior. Estos modelos, como representaciones simbólicas, permiten a la mente comprender y predecir el comportamiento del entorno. Craik propuso que el cerebro humano podía ser visto como una máquina compleja capaz de procesar información y generar modelos. Esta idea proporcionó una base fundamental para el desarrollo de la IA simbólica. La IA simbólica se basa en la manipulación de símbolos que representan conceptos y relaciones del mundo real. Utiliza reglas y lógica para razonar y resolver problemas. Este enfoque ha sido fundamental para el desarrollo de sistemas de IA como los sistemas expertos y los razonadores automáticos. Sin embargo, alimentan la idea de un exterior y un interior autónomo, en lógica con dualismo: yo-exterior; mente-cuerpo; máquina-entorno; hardware/software independientes.

Sin embargo, la IA simbólica tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, puede ser difícil crear reglas y representaciones simbólicas que capturen toda la complejidad del mundo real. Además, los sistemas de IA simbólica pueden ser inflexibles y tener dificultades para adaptarse a nuevas situaciones.

Para superar estas limitaciones, se ha desarrollado la IA basada en aprendizaje automático. La IA basada en aprendizaje automático aprende de los datos mediante algoritmos estadísticos. No requiere reglas explícitas ni razonamiento simbólico. En cambio, puede identificar patrones en los datos y utilizar estos patrones para realizar predicciones o tomar decisiones.

automatizar tareas), seguridad, salud, bienestar y comodidad¹⁰⁰ (Clements-Croome, 2012).

Sin embargo, en última instancia, lo que define a un edificio como “inteligente” o “smart” para muchos expertos (Buckman et al., 2014) es su capacidad para mejorar la calidad de vida de sus ocupantes, la eficiencia de los recursos y la sostenibilidad, utilizando tecnología y sistemas automáticos avanzados, incluida la inteligencia artificial, mediante la sensorización y monitorización de ciertos aspectos de su funcionamiento. Por lo tanto, el término “edificio inteligente” abarca una amplia gama de enfoques y aplicaciones que buscan crear entornos más cómodos, seguros, eficientes y sostenibles para las personas que los habitan.

Pero también, estos edificios pueden agregar valor a un edificio, en términos de rentabilidad y aumentar su vida útil (Smith, 2002), así como satisfacción, comodidad e imagen representativa que muestra el edificio (Shabha, 2006). Es decir, desde un punto de vista económico, no se puede depreciar que el gran incremento de los costos que supone añadir tecnología a un edificio puede verse compensado por el mantenimiento del valor, independiente de factores como la longevidad o los ciclos económicos. Para Buckman et al. tres son los objetivos principales de un edificio inteligente: el mantenimiento del valor con respecto al paso del tiempo; la eficiencia energética y la comodidad y satisfacción que producen (Buckman et al., 2014).

Estos objetivos están relacionados con la variación de ciertos parámetros para adaptar el edificio a las nuevas condiciones. La investigación para lograr estos objetivos se centra, por lo tanto, en qué información es necesaria para que el edificio responda y cómo se procesa, la interacción entre los edificios y el sistema de control, los materiales y configuración del edificio y la interacción entre los sistemas para aumentar la eficiencia energética.

Un Edificio Inteligente se considera también aquel que responde a las necesidades de los ocupantes, las organizaciones y la sociedad. Es sostenible en términos de consumo de energía y agua además de poco contaminante en términos de emisiones y residuos: saludable en términos de bienestar para las personas que viven y trabajan en él; y funcional según las necesidades del usuario (Clements-Croome, 2009 as quoted by Clements-Croome, 2011).

Todos estos aspectos subrayados por la bibliografía indican que la mayoría de la aproximación a la inteligencia de los edificios, la entienden como la capacidad técnica de adaptarse a diferentes situaciones utilizando datos, con el contexto en el que se desarrollan. Bien para mejorar su desempeño, bien para minimizar la interacción humana con el edificio por medio de la automatización. Desde la perspectiva del desempeño, los edificios inteligentes integran diversos sistemas tecnológicos en edificios existentes o en diseño, independientemente de su arquitectura, centrados en aspectos funcionales de la edificación (Ref... Carlini, Holden, Lagston...) como incendios, iluminación o climatización. Conforme se han ampliado los requisitos de los edificios, especialmente incorporando el comportamiento de las personas en los edificios, o la forma en la que los ocupantes interactúan con el edificio, más complicado resulta establecer cierta definición operativa (Katz y Skopek, 2009; Wong y Li, 2009), especialmente si no se comparten los objetivos.

Estas dificultades son también cuestión de semántica. En general, ¿qué significa ser inteligente? Aunque es evidente que la incorporación de sistemas inteligentes (smart systems¹⁰¹) a edificios inteligentes (intelligent buildings) es un desarrollo tecnológico inevitable (Kelly, 2016b), los objetivos de cada aproximación terminológica pueden ser radicalmente diferentes o incluso contrarios. Añadir sistemas inteligentes, además de hacer referencia al uso de tecnologías informáticas para lograr un desempeño óptimo de los edificios (Wang, 2012) debería remitir inexorablemente al para qué. Si se soslaya esta cuestión, los smart buildings se encaminan hacia una sonorización por medio de dispositivos, materiales de última generación y dispositivos automáticos (Arkin Pacluit, 1997; Wong 2008 y Gilder and clemntes-Croome, 2010) en el que el papel de la arquitectura es la de soporte de tecnología “smart”.

A su vez, si aumentamos la escalar, la evolución lógica del desarrollo industrial se encamina hacia entornos inteligentes (smart built environment) (Shabha, 20006). Este último concepto, remite a su vez, a la integración en una red más amplia de telecomunicaciones, de forma análoga al tránsito entre el edificio aislado como objeto de diseño y su integración necesaria en una red urbana mucho más amplia amplia la complejidad del sistema. Así los edificios deberían ser “conscientes” de sí mismos y de la red en la que interactúan (Kiliccote 2011) para regular la demanda e intercambio de suministros de los que depende.

Esta condición de red también remite al problema de la evolución de estos sistemas converge hacia sistemas centralizados, o si bien, como propones McGlinn (2010) los edificios inteligentes pueden ser considerados distribuidos, es decir, sistemas de sistemas inteligentes en el que el concepto clave es la integración (Sinopoli, 2010a).

Así, se detecta que el diseño de edificios inteligentes avanza hacia un enfoque holístico e integrado, donde el sistema constructivo completo actúa como un impulsor de la tecnología y la industria de la construcción. El concepto de adaptabilidad es fundamental, permitiendo que los edificios sean reactivos y ajusten su funcionamiento a los eventos y cambios en ocupación, preferencias climáticas y otros contextos dinámicos. Esta adaptabilidad, entendida como un concepto temporal, se basa en la información disponible del edificio o de los edificios, facilitando una respuesta eficiente y precisa ante las diversas circunstancias que puedan surgir (Callaghan 2009)

Control

La definición de edificio inteligente no es única¹⁰² (Powell, 1990), pero un enfoque común es el que lo considera capaz de controlar su propio medioambiente. Esto supone una

¹⁰¹ Este término proviene del inglés antiguo smeart, que hace referencia a “picar, a causar un dolor agudo”. Por lo tanto, no tienen un término equivalente en los idiomas latinos. Esta referencia al dolor evolucionó hacia lo “impertinente, descarado”, pero también “impertinente pero ingenioso” haciendo referencia a personas “rápidas, activas, inteligente, astutas” hasta alcanzar “agudeza en la negociación”. La primera acepción en el sentido de comportarse como si tuviera inteligencia (intelligence) es de 1972, “Smart bomb, also the computing smart terminal” (<https://www.etymonline.com/word/smart>)

¹⁰² Una de las primeras definiciones de edificio inteligente la podemos encontrar en Powell: “the technical control of heating and air conditioning, lighting, security, fire protection, telecommunication and data services, lifts and other similar building operations that is important – a control typically given to a management computer system. Such a definition for a conventionally Intelligent Building does not suggest user interaction at all”.

perspectiva diferente de aquellos que se centran los sistemas inteligentes basados en la AI para enfatizar el carácter autosuficiente, tal y cómo los propusieron Branda y Robert Vele en “The autonomous house: design and planning for self-sufficiency” (1975). Aquí, la tecnología y la arquitectura no son capas independientes sino que interactúan para alcanzar una independencia de los sistemas de suministros centralizados -concepto clave de la New Age¹⁰³-, de posiciones de Stewart Brand en “Whole Earth Catalog” (1968-1972) o Fuller en “Operating Manual for Spaceship” Haga clic o pulse aquí para escribir texto. (Visser & Fuller, 2013; *Whole Earth Index*, n.d.) Haga clic o pulse aquí para escribir texto., de crisis energética del petróleo (1973), los límites del crecimiento del club de Roma (1972). Todas estas referencias, ayudaron a conceptualizar una arquitectura que pudiera aumentar la seguridad en caso de cataclismo a la vez que reduce su impacto ambiental mediante la utilización de recursos in situ, evitando el uso de tecnología y materiales que hay que transportar a la vez que eran útiles y rentables dado que se concebían, como muy eficientes.

Tecnología y edificios inteligentes.

Hemos expuesto que la noción de edificio inteligente ya sea enfocada en la capacidad de control y automatización o en su habilidad para tomar decisiones autónomas, se apoya en el uso de la tecnología en los entornos construidos. Es decir, la “inteligencia” de un edificio se deriva de la evolución tecnológica, específicamente de los campos de la informática, la automática, las ciencias de la computación y las telecomunicaciones.

El proceso de cómo se despliegue y evoluciona un sistema tecnológico fue estudiado por W. Brian Arthur (Arthur, 2009). Este economista que la década de los años 80 propuso la teoría de los rendimientos crecientes¹⁰⁴, que describe cualquier en tres componentes principales basados en la teoría de la complejidad¹⁰⁵:

¹⁰³ En arquitectura, movimientos como “New Alchemy Institute” (fundado en 1969 por John Todd, Nancy Jack Todd y Michael Washburn) se orientaba hacia una dependencia mínima de los combustibles fósiles y la transformación ecológicos, convencidos que la sociedad industrial se encaminaba hacia la destrucción del planeta. En consonancia con su visión apocalíptica, el NAI desarrolló el concepto de bioshelters, también conocidos como biorefugios. Estas viviendas, alimentadas por paneles solares y construidas con materiales locales y técnicas vernáculos, buscaban minimizar su huella ambiental. Se caracterizaban por un diseño bioclimático que aprovechaba los elementos naturales como el sol, el viento y la vegetación para regular la temperatura y la ventilación del interior; materiales sostenibles locales de bajo impacto ambiental, como madera, tierra y piedra; sistemas de energía renovable que generaban su propia energía mediante paneles solares, turbinas eólicas y biogás. Pero también, autosuficiencia alimentaria mediante el cultivo de sus propios alimentos en huertos y jardines hidropónicos y el reciclaje y reutilización de materiales para minimizar los residuos. Estas ideas y técnicas desarrolladas por el NAI han tenido una gran influencia en el desarrollo de la arquitectura bioclimática y el *passivhaus*. El NAI cerró en 2004, pero su legado sigue vivo en la arquitectura sostenible actual. Sus ideas sobre la dependencia mínima de los combustibles fósiles, la construcción con materiales locales y el aprovechamiento de los recursos naturales y crisis medio ambiental son más relevante.

¹⁰⁴ La teoría de Arthur sugiere que la innovación tecnológica puede generar un ciclo de realimentación positiva, que puede conducir a un crecimiento exponencial de la economía, pero que también explican el desarrollo tecnológico: la inversión en tecnología genera innovación, la innovación mejora la tecnología, y la tecnología mejorada atrae más inversión.

¹⁰⁵ En 2009, Brian Arthur publicó “La naturaleza de la tecnología: qué es y cómo evoluciona”, una teoría innovadora sobre la evolución tecnológica. Arthur sostiene que la tecnología, al igual que la vida biológica,

1. **Combinación:** Las nuevas tecnologías son el resultado de la combinación de tecnologías existentes en diversas disciplinas. Es decir, se ensamblan a partir de componentes o conjuntos con algún propósito.
2. **Interconexión y recursividad:** Las tecnologías existentes consisten en componentes más pequeños que se interconectan y colaboran para lograr un propósito específico. Esta interdependencia de componentes aumenta la complejidad de cada nueva tecnología.
3. **Principios naturales:** Todas las tecnologías se basan en el conocimiento en los procesos que se dan en la naturaleza. En otras palabras, todas las tecnologías tienen sus raíces en la comprensión de fenómenos naturales y su aplicación para resolver problemas o satisfacer necesidades humanas. Indirectamente, este punto de la aproximación de Arthur, implica comprender en profundidad los principios subyacentes a los fenómenos biológicos y físicos presentes en el entorno real.

Para ejemplificar este último principio, podemos mencionar la combustión controlada que impulsa los motores, la conversión de la energía solar en electricidad mediante paneles fotovoltaicos, el uso de ondas electromagnéticas en la comunicación WiFi, la aplicación de principios de la aerodinámica para lograr el vuelo de aeronaves, o la explotación de las propiedades atómicas de los electrones en la computación electrónica (Tonn, 2010).

Además de estos tres componentes principales, Arthur destaca que las tecnologías deben satisfacer necesidades socioeconómicas para ser adoptadas por el sistema económico. A menudo, lleva décadas que los dominios tecnológicos, entendidos como colecciones de tecnologías que hacen uso de fenómenos o principios similares, se introduzcan en los mercados. Esto generalmente requiere cambios sustanciales en la economía y en las organizaciones industriales, que van desde la financiación de nuevos dominios tecnológicos hasta la creación de empleos y la adaptación de la formación. Incluso puede implicar la reconfiguración de la infraestructura física. Además, los cambios en contextos sociológicos o culturales también pueden plantear nuevos problemas y demandas sociales.

En el contexto de los edificios inteligentes, desde esta perspectiva, podemos afirmar que no emergen de la nada ni son meramente conceptos abstractos o metafóricos. En cambio, se desarrollan a partir de la combinación de tecnologías existentes en diversas disciplinas que convergen en su aplicación en entornos construidos. Un ejemplo concreto de esta convergencia incluye la integración de sistemas de climatización, seguridad y acceso con tecnologías de comunicación, sistemas automáticos o captación solar.

La aproximación propuesta por Arthur nos permite enfocarnos tanto en la naturaleza de estas interrelaciones como en la pregunta fundamental *de qué principios o fenómenos naturales* subyacen al concepto de edificio inteligente. En este sentido, un enfoque desde la perspectiva de sistemas complejos puede arrojar luz sobre las interacciones dinámicas que hacen que un edificio sea inteligente, mientras que una perspectiva basada en la biología puede revelar cómo ciertos de sus principios pueden inspirar y guiar la evolución de estos edificios inteligentes.

El marco conceptual de Arthur también enfatiza la importancia de la creatividad y la invención como elementos clave. Para que la innovación en ingeniería y arquitectura tenga

evoluciona a partir de formas preexistentes. Sin embargo, el mecanismo principal no es la selección natural de Darwin, sino la combinación de tecnologías anteriores para crear nuevas innovaciones

lugar, se requiere un profundo conocimiento y la capacidad de combinarlo con la imaginación. Es decir, tanto la comprensión de los principios naturales como la visión innovadora son esenciales para descubrir cómo lo que ocurre en la naturaleza pueden aplicarse a través de nuevas tecnologías. Se necesita creatividad y persistencia para determinar qué combinaciones de tecnologías (de las cuales existen literalmente billones de posibles combinaciones) tienen sentido en la práctica. Arthur incluso argumenta que cualquier problema bien conocido que requiera una nueva solución de ingeniería (y arquitectura) es un ejercicio creativo que puede resultar en la evolución de la tecnología.

Entornos Inteligentes o sensorizados

Las aproximaciones estudiadas hasta ahora presentan el riesgo de considerar un edificio inteligente más como una extensión de la tecnología de los sistemas automáticos y electrónicos que de la arquitectura. Desde la perspectiva del control, la característica compartida por todos los edificios inteligentes es la necesidad de datos para tomar decisiones de forma autónoma. En este contexto, un sistema inteligente sería aquel que, una vez implementado en un edificio, *puede modificar otros sistemas, entender la información que genera, monitorizar la relación con el medio e influir en el comportamiento de las personas*. Desde esta perspectiva, podemos identificar y seleccionar signos y señales de un edificio.

El proceso de selección e identificación de signos es doble y realimentado. Exige conocer la tecnología para determinar qué se puede medir, cómo se hace, transmite a una plataforma de adquisición de datos, construir un modelo de datos y analizar los resultados. Hasta aquí el enfoque tecnológico que superpone una capa tecnológica a un edificio construir o a un proyecto de arquitectura. Pero según nuestro esquema, no supondría un avance hacia una arquitectura inteligente, sino tan sólo, una automatización independiente de la arquitectura, para optimizar o controlar ciertos factores en función de ciertos valores culturales y exteriores, ajenos tanto del edificio, como, posiblemente, del diseñador.

Es decir, un edificio inteligente sería aquel que permite la interacción e integración entre su sistemas y subsistemas (Carlini, 1988; Hetherington, 1999; So & Chan, 1999). No tanto con la sofisticación, su novedad o complejidad de la tecnológica de esos sistemas.

Desde este punto de vista, podemos identificar características clave de un edificio inteligente como el que:

- Puede tomar decisiones basadas en datos obtenidos del propio edificio y su entorno.
- Tienen la capacidad de ejecutar de forma autónoma y semi-autónoma estas decisiones.
- Los procesos de realimentación permiten aprender de cómo han afectado estas decisiones al comportamiento de las personas, al propio edificio y al entorno biológico.
- La innovación e investigación transversales a la arquitectura se incorporan a un edificio, lo que puede redundar en un mayor conocimiento arquitectónico.

De forma global para cada una de las capas, utilizamos el término "entorno" para denotar lo que define cada sistema, pero también porque se entiende por "entorno" las condiciones extrínsecas que un sistema informático necesita para operar correctamente. El primer sistema o capa, corresponde al entorno construido, es decir, los propios edificios. La segunda capa abarca el entorno sensorizado y la obtención y transmisión de datos. La tercera se relaciona con los sistemas informáticos encargados de procesar los datos recopilados por las ciencias de la computación. La cuarta capa incluye los sistemas de regulación, automatización y control del edificio. La quinta capa se refiere al comportamiento de las personas dentro del edificio. La sexta, no menos importante, aborda el objetivo del edificio, es decir, su desempeño tanto en términos de la experiencia de las personas como en términos económicos. Aquí, a pesar de que gran parte de la bibliografía no lo menciona, proponemos una séptima capa que se enfoca en el impacto

en el entorno biológico, como un objetivo ineludible y también como una conexión e interrelación con el entorno en el que se erige el edificio.

Los siete sistemas o capas de las que queremos obtener información por medio de la sensorización y monitorización, serían:

1. Entorno construido: edificio
2. Entorno sensorizado: IoT (Internet de las cosas)
3. Entorno computacional: Ciencias de la computación
4. Entorno de control: Sistemas de control y regulación automática
5. Entorno de comportamiento: personas y edificios.
6. Entorno económico: Rendimientos energéticos y operacionales
7. Entorno biológico: Impacto medio ambiental.

1. Entorno Construido

Un edificio inteligente está relacionado con la capacidad de una determinada arquitectura para proporcionar información para el análisis y visualización de cómo funciona dicho edificio. Sus objetivos se relacionan con mejorar la gestión, controlar los flujos, brindar mayor comodidad y seguridad en su uso, y reducir los costos de operación de un entorno construido. En otras palabras, la primera capa de un sistema inteligente siempre es la construcción del edificio mediante una transformación material. Una vez en funcionamiento, el edificio puede ofrecer datos sobre su consumo energético y su mantenimiento. Cabe destacar que todo edificio afecta al medio ambiente en el que se encuentra, por lo que es posible realizar un seguimiento de su impacto en el entorno ambiental. Dado que implica una transformación de la materia, es posible analizar de manera precisa el ciclo de vida tanto del edificio como de los materiales necesarios para su construcción. Por lo tanto, la definición de edificio inteligente abarca tanto la gestión de las instalaciones como el ciclo de vida integral del edificio.

En general, la literatura científica asume que un edificio inteligente es aquel de nueva construcción. Esto se debe a que se establecen conexiones entre la inteligencia y la utilización de nuevas tecnologías de diseño, sistemas de telecomunicación y computación avanzados, así como materiales modernos, que se encuentran principalmente en edificios recientes o en fases de proyecto.

2. Entorno sensorizado

Un edificio inteligente debe estar equipado con sensores que proporcionen datos, un sistema que permita su procesamiento, un modelo matemático para la toma de decisiones, y un sistema de control y regulación capaz de activar dispositivos y actuadores para gestionar los diversos sistemas del edificio. En este contexto, los sensores son los dispositivos medidores capaces de proporcionar datos (información no procesada).

Dentro de la bibliografía, se enfatiza que un edificio inteligente es aquel que genera y accede a datos. Funciona como una puerta de entrada y salida para una variedad de dispositivos. En otras palabras, está compuesto por sensores, actuadores, dispositivos y sistemas de control que están interconectados y trabajan en conjunto para mejorar ciertas de sus características funcionales. Por lo tanto, un edificio inteligente implica la integración

de una red de comunicación dentro del propio edificio (Jia et al., 2019) lo que permite que estos elementos puedan ser operados o monitorizados tanto de forma local como remota.

Desde la perspectiva de las ciencias de la información, se hace hincapié en los protocolos de comunicación y sus redes (Ethernet, IP, TCP). Además, esto implica que a medida que aumenta la interconexión entre los edificios y la red (comunicación bidireccional), la seguridad informática se vuelve una prioridad. La seguridad informática es un requisito crucial y puede ralentizar la implementación y despliegue de sistemas de sensorización, ya que es necesario prevenir ciberataques, fallos de seguridad o vulnerabilidades en los sistemas automáticos.

3. *Entorno computacional*

El entorno computacional en un edificio inteligente abarca las tecnologías y sistemas informáticos que permiten la recopilación, procesamiento y análisis de datos generados por sensores y otros dispositivos interconectados. Estos sistemas son esenciales para convertir los datos recopilados en información útil y significativa que pueda ser utilizada para la toma de decisiones, la optimización de sistemas y la mejora general del funcionamiento del edificio. Como se ha indicado, la sensorización en un edificio inteligente implica la instalación de sensores que recolectan una variedad de datos, como temperatura, humedad, ocupación, consumo energético, calidad del aire, entre otros. Pero estos sensores proporcionan una gran cantidad de información cruda o datos sin procesar. Sin embargo, para que estos datos sean útiles, tengan sentido y estén contextualizados, deben pasar por varios procesos en el entorno computacional del edificio inteligente:

1. **Captura de Datos:** Los sensores capturan datos en tiempo real, generando flujos de información constantes.
2. **Almacenamiento:** Los datos capturados se almacenan en bases de datos o sistemas de almacenamiento que permiten el acceso y la gestión eficiente de la información.
3. **Procesamiento:** Los datos crudos pueden ser redundantes y ruidosos. El procesamiento implica la limpieza y organización de los datos para eliminar errores y ruido, y para estructurarlos de manera coherente.
4. **Análisis:** Los datos procesados se someten a análisis para identificar patrones, tendencias y relaciones significativas. Esto puede involucrar técnicas como la minería de datos, el aprendizaje automático y la inteligencia artificial.
5. **Interpretación:** Una vez que se obtienen los resultados del análisis, se interpretan para extraer significado y conocimiento. Esto puede implicar la identificación de oportunidades de mejora, áreas problemáticas o tendencias emergentes.
6. **Visualización:** Los resultados interpretados se presentan a los usuarios de manera visual y comprensible, a menudo en forma de gráficos, tablas y paneles de control.
7. **Toma de Decisiones:** La información derivada de los datos procesados y analizados se utiliza para tomar decisiones informadas y estratégicas. Esto puede incluir ajustes en la climatización, la iluminación, la gestión de espacios y más.

La sensorización proporciona datos cruciales para un edificio inteligente, pero estos datos por sí solos no tienen un valor significativo. A través de los procesos de captura,

almacenamiento, procesamiento, análisis, interpretación y visualización, los datos se transforman en información valiosa que impulsa la toma de decisiones informadas y la mejora de la eficiencia, la comodidad y la seguridad en el edificio inteligente. El entorno computacional es fundamental para llevar a cabo estos procesos de transformación y aprovechar al máximo el potencial de los datos recopilados.

4. Entorno de automatización, regulación y control

Esta capa es esencial para poner en práctica las decisiones basadas en la información recopilada y procesada, permitiendo que el edificio se adapte y optimice de manera autónoma. El entorno de automatización, regulación y control es un componente crítico en un edificio inteligente. Una vez que los datos han sido transformados en información útil a través de la sensorización y la computación, este entorno se encarga de ejecutar las decisiones y ajustes necesarios para mejorar el funcionamiento del edificio en términos de eficiencia energética, seguridad, comodidad y más.

Los sistemas de control se basan en dos puntos clave:

- **Control Activo:** Los sistemas de control automatizados pueden ajustar los sistemas en tiempo real en función de las condiciones cambiantes.
- **Retroalimentación:** La retroalimentación de los sensores permite ajustar los sistemas de manera más precisa. Introduce el concepto de aprendizaje.

Entre estas funciones y sistemas automatizados, podemos enumerar los siguientes:

1. Climatización y HVAC: Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado son controlados automáticamente para mantener condiciones de temperatura y calidad del aire óptimas en función de la ocupación y las necesidades del edificio.
2. Iluminación: La iluminación se ajusta automáticamente según la luz natural disponible y las actividades que tienen lugar en diferentes áreas del edificio.
3. Seguridad: La seguridad del edificio se mejora mediante la detección de intrusiones y el control de acceso automatizado. Por ejemplo, las cerraduras y sistemas de control de acceso pueden activarse en función de horarios o eventos específicos.
4. Gestión de Energía: Los sistemas de energía, como la generación de energía renovable y la gestión de la demanda eléctrica, pueden ser regulados automáticamente para optimizar el consumo y reducir los costos.
5. Gestión de Espacios: Los sistemas de gestión de espacios pueden optimizar la asignación y el uso de áreas según las necesidades cambiantes, lo que incluye la reconfiguración de oficinas o la adaptación de espacios para eventos específicos.
6. Control de Dispositivos: Se pueden controlar diversos dispositivos, como persianas, cortinas, sistemas de riego y más, para ajustar su funcionamiento según las condiciones y necesidades.

La automatización es responsable final de la eficiencia energética, al ajustar el uso de energía en tiempo real, lo que puede conllevar ahorros en costos de energía. A su vez, incide en cómo las personas percibimos el confort y la experiencia del usuario, ya que estos sistemas pueden proporcionar a los ocupantes de un edificio inteligente un ambiente más

cómodo y personalizado, ya que los sistemas se adaptan automáticamente a sus preferencias. Por otra parte, los sistemas de automatizados pueden mejorar los sistemas de seguridad y control de acceso, para garantizar que solo personas autorizadas tengan accesos a ciertas partes del edificio.

En general los sistemas automáticos permiten una optimización operativa, al ajustar los recursos disponibles con el uso activo del edificio o partes de él, lo que redundará en una operación más rentable y adaptada. En este sentido, los sistemas automatizados pueden responder rápidamente a eventos, como cambios en la ocupación, emergencias y condiciones ambientales cambiantes. La automatización disminuye la necesidad de intervención manual constante, liberando tiempo y recursos para otras tareas.

En resumen, el entorno de automatización, regulación y control es fundamental para que un edificio inteligente realmente funcione de manera eficiente y adaptativa. Permite que las decisiones basadas en datos y la información se traduzcan en acciones concretas que optimizan la operación del edificio en tiempo real, mejorando la eficiencia, la comodidad y la seguridad para los ocupantes.

5. Entorno de comportamiento de las personas y el edificio.

El comportamiento de las personas y del edificio es una pieza clave en el contexto de la inteligencia de los edificios. Esta capa se centra en comprender y gestionar cómo los ocupantes interactúan con el edificio y cómo este último responde a diferentes condiciones. El aspecto crítico es que las personas y los edificios interactúan, por lo que es necesario disponer de datos para estudiar y comprender cómo ambos se adaptan y responden a diversas situaciones. Aquí hay varios aspectos a considerar:

1. Comportamiento de las Personas:

- Detección de Ocupación: Sensores de movimiento y de presencia pueden rastrear la ocupación de diferentes áreas del edificio, lo que permite ajustar la iluminación, la climatización y otros sistemas según las necesidades reales.
- Perfil de Usuario: Los sistemas pueden aprender las preferencias de los ocupantes en términos de temperatura, iluminación y otros factores, y ajustar automáticamente los ajustes para garantizar la comodidad individual.
- Adaptación a Actividades: El edificio puede adaptarse a diferentes actividades, como reuniones, presentaciones, espacios de trabajo compartidos, etc., mediante ajustes de iluminación, temperatura y configuración de espacios.

2. Comportamiento del Edificio:

Los sistemas inteligentes del edificio permiten una gestión energética dinámica, con los que el edificio puede ajustar su consumo de energía en función de la demanda en tiempo real y las condiciones climáticas, optimizando la eficiencia energética. Utilizando modelos predictivos, los edificios inteligentes pueden predecir y adaptarse, con lo que anticipar cambios en la ocupación o las condiciones climáticas y ajustar de manera proactiva la climatización y la iluminación para mantener la comodidad y la eficiencia. De la misma manera, puede optimizarse el uso de espacios ya que el seguimiento del uso de espacios y ocupación permite optimizar la asignación de áreas y mejorar la eficiencia en el uso de recursos.

Comportamiento térmico

El comportamiento térmico del edificio es un aspecto fundamental en el contexto de la inteligencia de edificios. La manera en que el edificio responde térmicamente a las condiciones exteriores y al uso interno es esencial para garantizar tanto la eficiencia energética como el confort de los ocupantes. El comportamiento térmico de un edificio se refiere a cómo responde a las variaciones de temperatura, tanto internas como externas, y cómo mantiene un equilibrio entre la comodidad de los ocupantes y la eficiencia energética. Algunos aspectos clave a considerar son:

- La inercia térmica, como la capacidad de almacenar y liberar calor lentamente. Esto puede ayudar a suavizar las fluctuaciones de temperatura interna en respuesta a las variaciones exteriores.
- La adaptación al Clima Exterior, mediante el aislamiento, con el que se reduce la transferencia de calor entre el interior y el exterior, manteniendo una temperatura constante. Otro aspecto importante es el control de la ventilación mediante sistemas capaces de regular la entrada de aire exterior en función de las condiciones climáticas, manteniendo una temperatura confortable en el interior.
- Variación de la Temperatura según diferentes espacios con distintas intensidades de usos y requisitos de climatización.
- La eficiencia energética depende de una gestión activa de la energía, con los que los sistemas de climatización pueden adaptarse en función de la demanda y de las condiciones exteriores, evitando el exceso de consumo energético. Aquí, la optimización de horarios mediante la programación inteligente de sistemas de climatización puede ajustarse a horarios de ocupación y ahorro energético, es clave.
- El confort de los ocupantes no es un concepto estático. Depende de múltiples factores. Aquí, los edificios inteligentes permiten un alto grado de adaptación a preferencias de los ocupantes, por lo que los sistemas de calefacción y refrigeración pueden ajustarse según las preferencias individuales de los ocupantes. A este respecto, un aspecto importante es la uniformidad térmica que el edificio debe mantener para evitar áreas demasiado calurosas o frías.

En resumen, el comportamiento térmico del edificio es esencial para garantizar el confort y la eficiencia energética. La adaptación a las condiciones exteriores, la variabilidad interna y las preferencias de los ocupantes son factores clave para lograr un equilibrio adecuado entre el confort y el uso eficiente de la energía. Los sistemas de control automatizados y la gestión inteligente juegan un papel importante en asegurar que el edificio se comporte térmicamente de manera óptima en diversas situaciones.

Comportamiento en emergencias

En situaciones de emergencia, como incendios, el entorno de comportamiento de las personas y del edificio adquiere una relevancia aún mayor. Los edificios inteligentes pueden desempeñar un papel crucial en la gestión y respuesta eficiente ante situaciones de riesgo. Algunos aspectos que se pueden indicar:

1. Detección Temprana y Respuesta Rápida:

- Detección de Incendios: Los sistemas de detección de incendios, combinados con sensores de humo y temperatura, pueden detectar incendios en etapas tempranas, permitiendo una respuesta rápida.
- Alertas y Notificaciones: Los sistemas de alerta pueden activar alarmas audibles y visuales, así como enviar notificaciones a los ocupantes y al personal de seguridad, permitiendo una evacuación temprana y ordenada.

2. Evacuación Eficiente:

- Rutas de Evacuación: Los sistemas inteligentes pueden proporcionar información actualizada sobre las rutas de evacuación más seguras y accesibles en función de la ubicación de los ocupantes.
- Guiado de Ocupantes: Las señales visuales y auditivas pueden guiar a los ocupantes hacia las salidas de emergencia y las zonas seguras, incluso en condiciones de baja visibilidad.

3. Adaptación del Edificio:

- Cierre de Puertas y Ventanas: Los sistemas automatizados pueden cerrar automáticamente puertas y ventanas para contener el fuego y evitar su propagación.
- Apagado de Sistemas: En caso de incendio, los sistemas de climatización y otros dispositivos no esenciales pueden apagarse automáticamente para reducir el riesgo.

4. Comunicación y Coordinación:

- Comunicación con los Servicios de Emergencia: Los sistemas inteligentes pueden proporcionar información en tiempo real a los servicios de emergencia, lo que ayuda a una respuesta más rápida y efectiva.
- Seguimiento de Ocupantes: Los sistemas de seguimiento pueden ayudar a determinar la ubicación de los ocupantes dentro del edificio, lo que facilita la respuesta de los equipos de rescate.

5. Simulacros y Entrenamiento:

- Simulacros Virtuales: Los edificios inteligentes pueden ser utilizados para realizar simulacros virtuales de evacuación y entrenamiento en caso de incendio, lo que mejora la preparación de los ocupantes.
- Sistemas de Entrenamiento: Los sistemas de realidad virtual y aumentada pueden proporcionar un entrenamiento más realista y efectivo para el personal y los ocupantes.

La inteligencia del edificio no solo se aplica en la comodidad y la eficiencia diaria, sino también en situaciones críticas como incendios. La combinación de detección temprana, alertas eficientes, adaptación del edificio y comunicación efectiva puede salvar vidas y minimizar daños en situaciones de emergencia. El enfoque en el comportamiento del edificio y de las personas en caso de incendios resalta la importancia de la seguridad en el diseño y operación de los edificios inteligentes.

El comportamiento de un edificio responde a factores internos y externos. Entre los internos encontramos tanto su ocupación como la configuración material del edificio,

entre los que se incluyen su forma, orientación, distribución y orientación. Entre los factores externos, identificamos el clima y el entorno biológico. Así los datos climáticos y ambientales se integran con los de comportamiento de las personas y del edificio para adaptar la climatización y otros sistemas a las condiciones exteriores, optimizando la eficiencia energética. A su vez, el entorno biológico como la presencia de vegetación, agua y entorno vivo, tienen un impacto en el confort de los ocupantes y en la calidad del aire, lo que también se puede monitorizar y ajustar automáticamente. Es fundamental volver a considerar aquí que los sistemas están interconectados. Es decir, el comportamiento de las personas depende del comportamiento del edificio. Ambos dependen de factores externos, que, a su vez, son modificados por la presencia del edificio y el uso de las personas. Una arquitectura planteada desde esta base supondrá un mayor confort, ya que será capaz de adaptarse a las preferencias individuales y mejorar la experiencia de los ocupantes; mayor eficiencia energética a través de la gestión activa del uso de energía y recursos reduciendo los costos y la huella ambiental; ahorrará tiempo y recursos mediante la automatización de ajustes y la adaptación a las necesidades; proporcionará un mayor bienestar y productividad al ser diseñado desde el conocimiento e información de qué entornos son más cómodos y adaptativos aumentando la satisfacción y la productividad de los ocupantes; y por último, la adaptación a factores externos y el uso eficiente de recursos contribuyen a una operación más sostenible.

En resumen, el entorno de comportamiento de las personas y del edificio es esencial para garantizar que el edificio no solo sea inteligente en términos tecnológicos, sino también en su capacidad para comprender, responder y adaptarse al comportamiento humano y a las condiciones ambientales cambiantes. Esto resulta en un edificio que proporciona un entorno óptimo para sus ocupantes y opera de manera eficiente y sostenible.

6. *Entorno Económico*

En el enfoque del entorno económico, un edificio inteligente es aquel que no solo ofrece ventajas en términos de eficiencia energética y comodidad, sino que también tiene la capacidad de agregar valor a la inversión inicial. Esta perspectiva reconoce que la inversión en la implementación de tecnologías inteligentes y sistemas de gestión no solo puede mejorar la funcionalidad del edificio, sino también tener un impacto positivo en los aspectos económicos, incluyendo por supuesto, la eficiencia energética.

Relación entre Diseño y Desempeño:

El funcionalismo arquitectónico utilitarista destaca la correlación entre el diseño del espacio y el rendimiento de las personas que trabajan o interactúan dentro del edificio. Los aspectos como la configuración espacial, la calidad de la iluminación, el ambiente del aire interior, el mobiliario, el acceso y la privacidad, se consideran factores cruciales que influyen directamente en la productividad, la creatividad y la innovación de las organizaciones y los individuos.

Comodidades y Control Adaptado:

Dentro de este enfoque funcionalista, también se incluyen las comodidades que ofrecen los edificios inteligentes. El control adaptado de la temperatura, los niveles de iluminación, las reservas de espacio y otras facilidades contribuyen a un ambiente más cómodo y agradable para los ocupantes.

Rentabilidad y Amortización:

Los edificios inteligentes pueden ser vistos como inversiones rentables a largo plazo. Aunque pueden requerir una inversión inicial más alta, tienen la capacidad de amortizar los costos adicionales a través de una gestión más eficiente del mantenimiento y del uso de la energía. La capacidad de optimizar y visualizar selectivamente parámetros operativos permite un uso más eficiente de los recursos, lo que en última instancia contribuye a reducir los costos operativos a lo largo del tiempo.

Valor Agregado por Telecomunicaciones:

La disponibilidad de redes de telecomunicación de fácil y amplio acceso agrega un valor significativo a un edificio inteligente. Esto permite la conectividad rápida y fluida de dispositivos, sistemas y usuarios, lo que es esencial en la era digital para satisfacer las necesidades de comunicación y trabajo colaborativo.

Cuantificación del Valor Económico:

Uno de los aspectos destacados en este enfoque es la cuantificación del valor económico. La capacidad de un edificio inteligente para contribuir al control económico y a la eficiencia financiera se convierte en un objetivo prioritario. Los beneficios tangibles y medibles, como ahorros de energía, reducción de costos de mantenimiento y mejora de la productividad, permiten evaluar de manera concreta el retorno de la inversión en tecnologías inteligentes.

Costes de mantenimiento:

Dentro del entorno económico de los edificios inteligentes, la consideración de los costes de mantenimiento es esencial para evaluar la rentabilidad y eficiencia a largo plazo. Un edificio inteligente no solo busca optimizar la inversión inicial, sino también minimizar los costes de operación y mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida. Los sistemas inteligentes permiten una gestión más eficiente del mantenimiento. Los sensores y sistemas de monitoreo pueden detectar de manera temprana problemas potenciales en sistemas como la climatización, la iluminación, las instalaciones eléctricas, entre otros. Esto permite llevar a cabo mantenimientos preventivos en lugar de reactivos, lo que reduce los tiempos de inactividad y los costes asociados. Es decir, la implementación de análisis de datos y algoritmos de aprendizaje automático puede permitir la predicción de posibles fallos en los sistemas. Esto proporciona la oportunidad de intervenir antes de que ocurran problemas mayores, lo que a su vez reduce los gastos en reparaciones y sustituciones. Otro aspecto crucial es que los sistemas de gestión de edificios pueden recopilar datos sobre el desempeño de los sistemas y equipos. Estos datos pueden ser analizados para identificar patrones de uso, eficiencia y desgaste, lo que permite una toma de decisiones informada para la planificación del mantenimiento y la inversión. A su vez, la implementación de tecnologías en edificios inteligentes puede reducir la necesidad de personal dedicado al mantenimiento constante. Los sistemas de automatización y monitoreo pueden realizar tareas de mantenimiento rutinario y alertar al personal cuando se requiera atención, lo que redundará en una mejor gestión de los recursos humanos. La capacidad de recopilar y analizar datos sobre el rendimiento del edificio a lo largo del tiempo permite una planificación más efectiva de los costes de mantenimiento a largo plazo. Esto incluye la previsión de sustitución de equipos y componentes, lo que evita sorpresas costosas. Es decir, la consideración de los costes de mantenimiento es una parte esencial del entorno económico en edificios inteligentes. La gestión eficiente de estos costes no solo reduce la

inversión a largo plazo, sino que también contribuye a la operación continua y sostenible del edificio. Los sistemas de monitoreo, predicción y análisis de datos desempeñan un papel fundamental en la optimización de los recursos y la toma de decisiones informadas en materia de mantenimiento.

El entorno económico de los edificios inteligentes destaca la capacidad de estos edificios para aumentar el valor añadido de la inversión a través de mejoras en la productividad, la comodidad y la eficiencia operativa. La interacción entre diseño, comodidades y tecnología se traduce en beneficios económicos medibles, lo que convierte a los edificios inteligentes en inversiones estratégicas con un impacto positivo en el largo plazo.

7. Entorno biológico

La perspectiva del entorno biológico en edificios inteligentes se enfoca en la interacción y adaptación del edificio al mundo natural y en cómo esta interacción puede influir en la salud, el bienestar y la sostenibilidad. Un edificio inteligente desde esta óptica no solo se limita a la tecnología y la eficiencia energética, sino que también considera su impacto en el entorno biológico y cómo puede contribuir al equilibrio entre el ser humano y la naturaleza.

En esta visión, un edificio inteligente se convierte en un observador activo de su entorno biológico. Mediante sensores, puede captar información sobre diversos parámetros, tanto internos como externos. Esto incluye factores como la calidad del aire, la humedad, la presencia de CO₂, la temperatura, la luminosidad natural y la disponibilidad de vegetación. La capacidad de recopilar datos precisos del entorno permite al edificio tomar decisiones informadas y adaptarse para crear un ambiente más saludable y sostenible. Permite utilizar los datos recabados para tomar decisiones inteligentes en tiempo real.

Los edificios inteligentes que integran el entorno biológico pueden contribuir a la creación de espacios más verdes y a la preservación del medio ambiente. Por ejemplo, pueden aprovechar sistemas de recolección de agua de lluvia, maximizar la iluminación natural y fomentar la biodiversidad en espacios exteriores de manera informada. Es más, la presencia de vegetación, la exposición a la luz natural y la calidad del aire son factores que pueden impactar positivamente en la productividad, la concentración y la satisfacción de los ocupantes, influencias que pueden ser medidas y cuantificadas.

La adaptación del entorno del edificio puede extenderse a la gestión de energía y recursos de manera síncrona con los factores externos. Los sistemas de iluminación y climatización pueden ajustarse para aprovechar la luz del sol y los cambios de temperatura a lo largo del día, lo que reduce la dependencia de energía artificial y minimiza el impacto ambiental. Desde esta perspectiva, un edificio se considera verdaderamente inteligente cuando no solo se ajusta a las preferencias humanas, sino también a las necesidades y patrones naturales. La interacción y retroalimentación entre la tecnología y la naturaleza se convierte en un enfoque holístico de la inteligencia en el diseño y la operación de edificios.

El entorno biológico en edificios inteligentes enfatiza la adaptación del edificio al entorno natural, la toma de decisiones basada en datos biológicos y su impacto en la salud, el bienestar y la sostenibilidad. Los edificios donde se implementa esta perspectiva no solo mejoran la calidad de vida de los ocupantes, sino que también contribuyen a un equilibrio entre el ser humano, su entorno construido y el entorno biológico.

Resumen

En resumen, las definiciones de un edificio inteligente incluyen diferentes conceptos y aproximaciones. Desde aquellas que inciden en su capacidad de aprender del comportamiento de sus habitantes para adaptarse a sus ciclos de vida pudiendo tomar decisiones adecuadas, hasta aquellas que se centran en cómo se regulan los sistemas automáticos de los edificios. También de las que inciden en la capacidad tecnológica de ajustar el comportamiento de los edificios por medio de teléfonos, computadoras, in situ o a distancia, bien sea para comandar sistemas —smart home— (Jie et al., 2013) o aplicaciones de acceso y control. Como se ha indicado en todas ellas, un edificio inteligente es aquel que integra un sistema de telecomunicación compuesto por sensores, transmisores y sistemas de procesamiento de datos, para tomar decisiones y facilitar u optimizar algún aspecto del edificio y su uso.

"Instead of being programmed to perform certain actions, the house essentially programs itself by monitoring the environment and sensing actions performed by the inhabitants [...], observing the occupancy and behavior patterns of the inhabitants, and learning to predict future states of the house" (Mozer, 2015)

Podemos intuir que estos siete entornos establecen, a su vez, relaciones entre ellos; sobre estas relaciones podemos hacernos diversas conjeturas. Cada entorno puede ser caracterizado por una serie de parámetros medibles con los que cuantificar sus valores. De esta manera, se podrían encontrar relaciones y conexiones a través de correlaciones entre cada una de las variables planteadas. Sin embargo, hay que tener en cuenta una serie de limitaciones:

- En primer lugar, los entornos quedarán caracterizados por ciertos parámetros que corresponden a aquello que no solo sabemos medir, sino que podemos hacerlo. Es decir, disponemos de sensores simples y económicamente viables, capaces de transmitir ciertos datos.
- En segundo lugar, que estos datos han sido estructurados correctamente y disponemos del conocimiento necesario para generar modelos probabilísticos capaces de encontrar correlaciones entre las variables. Como se verá, estos modelos siempre estarán condicionados por el sesgo del investigador.
- En tercer lugar, los modelos probabilísticos, están condicionados por lo que se conoce como paradoja de Berkson (Berkson, 1946, 1950) propia de los métodos, que como los modelos de AI probabilísticas, (aprendizaje automático o ML), utilizan regresiones y pensamiento inductivo. Es un error que se da cuando, al analizar fuentes de datos, se introduce un sesgo (por ejemplo, analizar valores de concentración de CO₂ en estancias sin considerar la existencia de ventanas y su posible apertura o analizar series de temperaturas exteriores sin indicar a que orientación de fachada pertenecen). Debemos comprender esta paradoja para construir modelos más precisos que incluyan las complejidades que se dan en la realidad y que muchas simplificaciones poco estudiadas, tratan de obviar¹⁰⁶.
- En cuarto lugar, todos los modelos científicos tratan de predecir lo que sucederá. Sin embargo, la incertidumbre es inherente a todo modelo complejo. De alguna

¹⁰⁶ Desde <https://towardsdatascience.com/berks-sons-paradox-in-machine-learning-113818ac7657>

manera, innovar introduce más incertidumbre en lo que va a suceder. Cuando disponemos de un modelo, queremos predecir y dar forma a lo que está por venir. Si bien podemos hacer conjeturas fundamentadas, el futuro de nuestro habitar, está envuelto en una incertidumbre consustancial. Es decir, construir modelos sobre el funcionamiento y los edificios que aumenta el conocimiento sobre el urbanismo y la arquitectura, de alguna manera, también supone modificar lo que *iba* a ocurrir, y tiene consecuencias. Algunas de estas pueden ser inferidas —cerramos la ventana, se consume menos— otras no: “*veo en los sistemas que estoy en un ambiente inseguro, trabajo en casa*”. En términos de patrones, podemos decir que las innovaciones tecnológicas toman caminos imprevistos, que no corresponden con las intenciones originales. No fue previsible que la generación de una nueva tecnología como la realidad virtual, llevaría a la arquitectura hacia configuraciones formales basadas en más en imágenes *render* que en la propia materialidad de la arquitectura. De esta misma manera no podemos prever que transformaciones implicarán el desarrollo de la AI para la arquitectura.

Una arquitectura inteligente

Un edificio inteligente incorpora los términos “sensorizar”, “monitorizar”, “datos”, “medir”, “tecnología”, “alto rendimiento”, “funcionalidad”, “regulaciones constructivas”, “calidad edificatoria”, “digitalización”, “sociedades avanzadas”, pero también aspectos culturales como “expresión de su tiempo”, “utopías tecnológicas”. Estos edificios son a su vez, subsistemas de una “Smart City”. Su inteligencia se ha relacionado la capacidad de un edificio para controlar, integrar y coordinar parte de los procesos a través de la intercomunicación de datos con el fin de aprovechar al máximo los recursos y sus instalaciones. Las primeras definiciones de smart building (“a building which totally controls its own environment” (Stubblings, 1988), propuestas como la realizada por la National Research Council, Electronically Enhanced Office en 1999 indican en este sentido:

“The term “smart building” refers to a building that is equipped with the electronic and physical infrastructure to support the use of advanced communication, data processing, and control technologies by its occupants and operating personnel. Such a building is equipped with the necessary wires, cables, ducts, power supply, heating, ventilating, cooling, illumination, noise suppression, and security systems to support the performance requirements of today’s office environment” (Electronically Enhanced Office: Information Management for Knowledge Work, published in 1999)

Aquí y en muchas más definiciones (Buckman et al., 2014) detectamos que un edificio inteligente lleva implícito el enfoque de la separación reduccionista. Es decir, entiende los edificios y las tecnologías electrónicas y de computación, desde lógicas separadas que se solaparían en un contexto físico. En este caso, una construcción. Así, y tal como propone la UE con su SRI cualquier entorno construido al que se añadiera una serie de dispositivos electrónicos con el fin de aumentar nuestra capacidad de gestión sobre su desempeño, es susceptible de convertirse en un “smart” o “intelligence building”. En consecuencia, desde esta conceptualización, para la disciplina arquitectónica tiene difícil encaje, pese a tratarse

de una edificación. A diferencia de un edificio bioclimático, este enfoque conlleva que una arquitectura inteligente puede ser cualquier edificio al que se dota de sensores, sea cual sea su configuración arquitectónica. No es tan solo que no sea reconocible por su forma ni el aspecto de sus materiales —lo que nos limitaría la arquitectura a la forma y estética— sino que puede considerarse independientemente de la configuración espacial del edificio.

Para evitar esta bifurcación una aproximación posible es preguntarse qué sería una arquitectura inteligente. Es decir, ampliar el concepto de edificio inteligente para hacer explícita la relación entre la tecnología arquitectónica y la ingenieril. Esta posición nos permite replantear el proceso proyectual arquitectónico e integrar el proyecto ingenieril desde el diseño inicial. Incluyendo desde ingeniería las ramas del conocimiento que tienen que ver con las disciplinas electrónica, informática, telecomunicación y regulación automática. Y desde arquitectura, al menos con proyectos y construcción. Desde este punto de vista, Walter M. Kroner amplían la noción de edificio inteligente hacia qué es una arquitectura inteligente¹⁰⁷ (Kroner, 1997) para englobar formas construidas con sistemas capaces de anticipar y responder a fenómenos (internos o externos) que afectan al edificio de forma integrada. Estos autores defienden que para que un edificio pueda considerarse “arquitectura inteligente”, un edificio debería considerar tres áreas de interés en su diseño y construcción:

1. el diseño inteligente;
2. la tecnología y el uso y,
3. el mantenimiento de los edificios.

La primera, respondería criterios culturales y contextuales, principalmente la interacción con la política, la economía y la sostenibilidad ecológica. Deberá producir, “harmony with nature include responding to the physical laws of nature and utilizing nature`s resources” (Kroner, 1997, pp. 386–387). Así, las arquitecturas vernáculas, serían en este sentido, inteligentes. Es una aproximación temprana en el que el diseño inteligente, no solo debe referirse al uso de hardware y software en entornos contruidos, sino a contextos más amplios. En este sentido, la tecnología debe ser contextual. Debe combinar la tecnología existente con una forma construida que, a su vez, es también inteligente. Contextual se relaciona en cierta manera con la cultura arquitectónica, en el sentido de cómo la cultura tradicional arquitectónica ha modelado ciertas formas, sus modos de utilización y los materiales con los que se construye un edificio. Se conecta así, la capacidad de adaptación al medio de la arquitectura vernácula, con el sentido de “inteligencia” o “diseño inteligente”. Es una forma de integrar un contexto cultural más amplio que entiende la tradición como un repositorio, un acervo de cómo ciertas formas de construir, se adaptan mejor a un medio.

Esta cultura no indica para una determinada ubicación, cómo se aísla, cómo funciona la masa del edificio, cómo se ventila. Es tanto una respuesta a una determinada situación climática, como una fuente de información sobre la energía que se dispone, los materiales

¹⁰⁷ “What is an intelligent architecture? Intelligent architecture refers to built forms whose integrated systems are capable of anticipating and responding to phenomena, whether internal or external, that affect the performance of the building and its occupants. An intelligent architecture relates to three distinct areas of concern: (I) intelligent design; (2) the appropriate use of intelligent technology; and, (3) the intelligent use and maintenance of buildings” (Kroner, 1997)

a los que se tiene acceso. Pero también, a cómo entiende cierta cultura la relación entre construir y el medio, entre habitar y la Tierra (Abram, 2021).

Desde nuestra posición, la configuración arquitectónica de un edificio inteligente debe integrar los aspectos tecnológicos, su configuración formal y material, su desempeño energético y su impacto ambiental. El concepto de inteligencia siempre debería incluir cómo se experimenta el vivir *en y con* sus espacios en un lugar concreto, idea que se desarrollará más adelante. Es decir, una arquitectura inteligente puede incorporar las capacidades constructivas, expresadas en forma de memoria construida, tanto materiales autóctonos como ciertas tecnologías de la construcción se adecuan a un contexto concreto. Es decir, el concepto de inteligencia puede extenderse a la elección de materiales, formas y tecnologías. Es decir, entendemos estas cuestiones como una herencia cultural construida desde multitud de interacciones que contienen valiosa información. Estos ciclos de prueba y error, incorporan en ellos mismos el clima y el microclima y, también, como se ha indicado, los gustos y ambiciones locales, los materiales de la zona, su tecnología, así como también el modo que experimentan con la naturaleza. Partiendo de esta forma de entender qué es “inteligencia” arquitectónica, una arquitectura inteligente puede ser definida como aquella:

“Provides an environment in which occupants can focus on maximizing their potential, not struggling with cumbersome systems and inadequate surroundings. In other words, intelligent architecture responds to its occupants, and the local and global environment in a sensitive, supportive, and dignifying manner” (Kroner, 1997, p. 387)

Definición que incorpora una idea básica: la arquitectura es capaz de influenciar de forma decisiva en el potencial creativo e intelectual del ser humano. Dicho de otra manera, nos afecta, es la forma en la que estamos en el mundo, es dinámica, evolutiva y transmitida culturalmente. Por lo tanto, todo diseño arquitectónico debe responder a nuestra naturaleza dinámica e impredecible, debe promover una relación con la naturaleza, al mismo tiempo que responde a sus restricciones físicas, sus condiciones de contorno, utilizando eficientemente sus recursos. Siempre en relación con cierto lugar concreto. Emerge de la ciencia y la tecnología para dar la posibilidad a la arquitectura de proporcionar capacidad de respuesta y, por lo tanto, desde este enfoque, con cierta “inteligencia”. Esta forma de entender la inteligencia asocia la existencia de entornos espaciales determinados con la capacidad creativa e innovadora del ser humano, con espacios capaces de motivar para alcanzar el máximo potencial de cada uno. Que debe responder a los deseos individuales tanto como a los patrones sociales de los que depende. Pero, sobre todo, nos interesa en su capacidad y potencial, para generar conexiones con el medio, para evitar la disociación moderna entre el medio y el habitar, entre lo natural y lo artificial, entre lo abstracto y lo físico.

Planteamos que una arquitectura inteligente debe proporcionar una forma de habitar. No nos referimos a una forma nueva, en términos de novedad, si no en términos de resincronización con un determinado espacio en un determinado tiempo. En un lugar y un momento específico, un acontecimiento (Stengers, 2020). Sinérgica y simbiótica con el medioambiente, con nosotros, con los no-humanos (Abram, 2005). A diferencia de los procesos de habitar tradicionales, la incorporación de tecnologías de la información nos ofrece la posibilidad de **conocer los patrones de comportamiento de todos los edificios**. Los patrones de comportamiento son descripciones de comportamientos comunes que se observan en diferentes contextos. Por ejemplo, en el ámbito de un edificio, se pueden

observar patrones de comportamiento en la forma en que los usuarios se mueven por el edificio, utilizan los servicios, interactúan con otros usuarios, etc.

Es decir, las tecnologías con las que se define un edificio inteligente, como sensores, sistemas de control y automatización, nos proporcionan los datos necesarios para simular el comportamiento de los usuarios de los edificios y cómo interactúan con los sistemas de control automáticos de estos tipos de edificios. Es decir, se pueden simular diferentes escenarios de uso del edificio y cómo los usuarios interactúan con el sistema de ocupación, de climatización, para optimizar la eficiencia energética y la comodidad. Además, se pueden construir modelos que pueden ser utilizados para simular la interacción entre los diferentes sistemas dentro de un edificio inteligente, los diversos entrelazamientos entre los sistemas de iluminación, HVAC, de seguridad y otros sistemas automáticos. Esto puede ayudar a identificar posibles problemas y optimizar el rendimiento del edificio en su conjunto. También, estos modelos nos pueden ayudar a optimizar el rendimiento y la eficiencia energética del edificio, pero solo son un aspecto parcial de la complejidad arquitectónica.

Los datos del comportamiento de un edificio

Implementar sistemas tecnológicos en un edificio, no solo trata de los aspectos definidos con anterioridad, sino, sobre todo, de aumentar el conocimiento arquitectónico. Los patrones de comportamiento construidos a partir de los datos proporcionados por los sensores incrementan exponencialmente el conocimiento arquitectónico depositado en las propias construcciones. Lo hace más allá de lo que las transmisiones orales o escritas han podido decir sobre el habitar y en cómo se constituye el habitar, sin, por ello, sustituirlas. Las complementa de tal manera que los procesos de producción de información inherentes a todo edificio inteligente son aplicables a todos los edificios, no solo de aquellos nuevos edificios “high tech”, —principalmente oficinas y centros de mando de empresas multinacionales—, sino de todos los existentes. Entender cómo se comportan los edificios, especialmente los ya construidos, es entender como determinadas soluciones arquitecturas despliegan el habitar a través de la interacción con las personas, en un determinado contexto físico y temporal.

Podemos decir que este desligue del habitar es un proceso. Comprende la serie de acciones y actividades que cambian las condiciones en las que vivimos para dotarnos de otras más favorables. En este sentido, para Whitehead toda la realidad es un proceso, es decir, toda acción discurre en un momento y en un lugar, lo que implica una serie de relaciones entre entidades o eventos previos (Whitehead, 1949). Lo que percibimos, la realidad, es la historia de una cadena de acontecimientos única e irrepetible, llena de nuevas posibilidades y alternativas, todas interconectadas. Cualquier cambio, supone de facto, cambios en toda la red, en todo el tejido en constante evolución. Es aquello que perdura. En nuestro caso, podemos considerar también los edificios como la cristalización material de ciertos procesos, que han estado generados por ciertas circunstancias y que responden a esas circunstancias. Dicho de otro modo, el proceso de habitar es tan dependiente de la estructura —lo que perdura— como del acontecimiento —lo que cambia—. No solo es la manera en la que podemos comprender la relación entre nuestra fisiología y nuestra propia estructura física, es también como podemos comprender

nuestra forma en la que habitamos y la estructura que permanece. Interrelacionados, —prendidos en palabras de Whitehead— no paran de modificarse continuamente.

Así, hacer inteligente un edificio se puede entender como ampliar nuestra capacidad de aprehender una determinada realidad a través de extender nuestra capacidad sensorial mediante dispositivos técnicos. Podemos considerar estas “extensiones” como medios para ampliar nuestras capacidades, a la vez que modificamos el entorno para adaptarlo a cómo lo habitamos y percibimos. En este sentido no hay modelo científico objetivo, como no hay dispositivo técnico neutro. El conocimiento siempre en evolución supone una modificación de cómo percibimos el medio, lo que, a su vez, lo modifica. Queremos resaltar que sensorizar un edificio, como dispositivo técnico para posteriormente realizar un modelo abstracto y matemático, un motor de cálculo para generar un gemelo digital, virtual o híbrido, son también formas de transformar la realidad. No pueden ser neutros, ya que amplían capacidades humanas sobre el entorno tanto como modifican nuestra propia perspectiva sobre qué es habitar. A su vez, esta ampliación implica también construcción de valores culturales y políticos de la sociedad (Sloterdijk, 2014).

Es decir, implementamos sensores en los edificios tratando de conocer los patrones de comportamiento implicados en el proceso de habitar. De alguna manera, nos remite al concepto de “buildings talk”, el *edificio habla* que Gottfried Semper propuso en 1860¹⁰⁸. Para este arquitecto, los edificios no son estructuras inertes, tiene un lenguaje propio que se comunica a través de sus materiales, forma y ornamentación. Este lenguaje es expresión siempre de un contexto social, cultural, histórico. El lenguaje arquitectónico, para Semper, no es tan solo metafórico, ni tan solo estético como estilo, sino que transmite información sobre la función, el lugar y el tiempo en el que se construye, en definitiva, de la historia de un edificio (Semper, 2004). Sin embargo, no nos referimos conceptualmente a esta teoría cuando nos referimos a que los edificios, por medio de sensores, los dotamos de la capacidad de “hablar”. Cuando proponemos extender nuestras posibilidades arquitectónicas por medio de sensores, nos referimos a que un edificio inteligente nos confiere capacidad para comunicar información de su proceso de funcionamiento con los propios usuarios, con los diseñadores, con los gestores del edificio, con otros edificios, con la ciudad, con otros sistemas, en definitiva, con el entorno humano y físico en el que se sitúan. Un edificio inteligente utiliza tecnología de la información y la comunicación para recopilar y procesar datos sobre su propio funcionamiento. Nuestra aproximación enfatiza que este proceso se refiere inexorablemente a un determinado lugar en interacción con humanos y no-humanos muy concretos. Irrepetible e irreproducible exactamente, pero que contienen dinámicas muy similares. Producen información, que procesada y analizada expande nuestro conocimiento sobre su funcionamiento y la experiencia de los usuarios, en un contexto definido pero dinámico. En este sentido, es una fuente de información arquitectónica susceptible de extrapolarse a otros proyectos, otras situaciones, otros

¹⁰⁸ El concepto “buildings talk” o “los edificios hablan” es una idea desarrollada por el arquitecto alemán Gottfried Semper. Esta idea se presenta en su obra “Style in the Technical and Tectonic Arts” (“El estilo en las artes técnicas y tectónicas”), publicada en 1860. En esta obra, Semper sostiene que los edificios no son simplemente estructuras inertes, sino que tienen un lenguaje propio que se comunica a través de sus materiales, formas y ornamentación. Según Semper, el lenguaje de los edificios es una expresión del contexto cultural e histórico en el que se construyen. Semper argumenta que los edificios hablan a través de su ornamentación, que no solo tiene un valor estético, sino que también puede transmitir información sobre la función y la historia del edificio. Además, sostiene que los edificios tienen una “tecnología poética” que se manifiesta en las formas y los materiales utilizados en su construcción.

contextos. Pero la base de esta “comunicación” no es un diálogo metafórico, como tampoco nos informará de las propiedades históricas de cierta estética.

IoT. Cómo procesa un edificio situado su habitar

En definitiva, lo que se propone, es que implementar tecnología IoT en los edificios no consiste solo en maximizar la operatividad de edificios para hacerlos más eficientes, en el sentido de la eficiencia térmica-económica, sino mucho más. Cómo se ha indicado, se trata de establecer una etología capaz de estudiar el comportamiento de los edificios y de las personas en su medio natural. Es decir, situado, concreto, para entender las causa y funciones de este comportamiento.

Observar los procesos que tienen lugar en un edificio afecta al propio sistema, en un ciclo recursivo, en el que entender, es también transformar. Se ha observado los edificios por medio de nuestras percepciones y experiencias. Ahora, estamos en posición de ampliar esta capacidad de observación por medio de sensores capaces de ampliar las señales que podemos codificar. A su vez, podemos procesar mediante AI los datos proporcionados. Hemos indicado que es labor del arquitecto indicar qué sensorizar y para qué. Es decir, de construir una etología sobre el habitar, a través del conocimiento previo arquitectónico ampliado por las tecnologías IoT y AI.

Para comprender mejor, lo que queremos decir podemos establecer una analogía con la tecnología IoT aplicada al deporte o la medicina. En estos momentos esta tecnología está mucho más desarrollada que la aplicada a los edificios (por ahora, solo intuimos que la forma de habitar nos afecta, pero el sedentarismo nos afecta mucho más). Para un deportista, no se trata de saber qué pulsaciones, qué vatios o la producción de lactato ante un determinado esfuerzo comparado con el resto de los competidores. Se trata de conocer cómo procesa interiormente tu cuerpo el esfuerzo, mediante la pulsometría, la oximetría, u otras métricas ante un determinado esfuerzo no estandarizado, en unas determinadas condiciones tanto propias como externas, a una cierta edad. No se trata aquí de una comparación para la competición y clasificación, sino de conocer estrategias personalizadas para mejorar en la medida de tus posibilidades, definir dinámicas de entrenamiento y situarte respecto a lo que son capaces los demás. La combinación de obtención de datos IoT combinado a la aplicación de Inteligencia Artificial (data-science/computer) lo han hecho posible. Actualmente, esta tecnología de alto nivel no solo está disponible para el deportista de élite, sino que ya ha traspasado a la sociedad.

Actualmente, una persona con un estilo de vida activo dispone de una tecnología suficiente para medir y contextualizar sus datos personales. Aquellos deportistas que menos deporte practican o peores condiciones físicas tienen, aquellos que disponen de una tecnología más sencilla, pueden mejorar en la medida de sus propias posibilidades alcanzables. Esta similitud sería aplicable a los edificios construidos, obsoletos, antiguos y, por lo tanto, con mayor potencia de mejora¹⁰⁹; conociendo sus patrones de comportamiento (incluyendo aquí los sistemas activos y pasivos de procesamiento de energía) a través de tecnologías IoT. Conocer cómo se comporta cada edificio existente en su localización, en la interacción con

¹⁰⁹ Según el catastro, la edad media de las viviendas españolas es de 37 años. Entornos urbanos como Barcelona, la edad media es de 1964. Tan solo en España existen 12.000.000 viviendas. Zargoza, 1975. Una política de high-technology es tan utópica como hilarante.

sus habitantes, no hipotéticos, no mediados, sino reales, es la mejor manera de generar estrategias *ad hoc* para implementar mejoras en su funcionamiento (ya sean estas energéticas o simplemente de horarios, pero en todo caso en sus condiciones de habitar, entendidas éstas en su contexto más amplio), su configuración, en su envolvente, etc.

Si el objetivo de los sensores activos que monitorizan nuestra actividad física es aumentar nuestra longevidad y nuestro bienestar físico y mental, de la misma manera, se tendrá que tener presente, aún en la esquizofrénica sociedad en la que vivimos, que **el habitar es indisoluble de nuestra vida.**

Edificios inteligentes. Bases para una aproximación

Buscamos una aproximación a la inteligencia de un edificio que permita ampliar el foco actualmente centrado en las ciencias de la computación, la telecomunicación y la ingeniería ambiental para incluir de forma transversal la arquitectura. La tesis es simple: digitalizar la edificación supone, aumentar el conocimiento sobre el comportamiento de las personas, los edificios y el medio. Es, aumentar el conocimiento sobre un sistema complejo. Esta información es vital para el conocimiento arquitectónico, tanto si se trata de proyectar nuevos edificios, como es previsible, si el problema principal es de un habitar adecuado en contextos de emergencia climática y energética de los entornos ya construidos.

Para construir un concepto sólido sobre qué es un edificio inteligente, si bien incluiremos los principios básicos de las ciencias informáticas y de la telecomunicación, evitaremos considerar que el entorno construido es una capa cuasi-pasiva de la que obtener información. A su vez, las aproximaciones que desde la arquitectura se realizan hacia los edificios inteligentes, se han realizado desde una matriz de conceptos sobre el diseño inteligente, que no tiene en cuenta qué es la AI (Kamal Morsy Hussein & Atef EL Desouky Faggal, 2021), vector principal de un edificio inteligente.

Digitalizar la arquitectura, objetivo de la arquitectura

Los sistemas basados en la inteligencia artificial y los sistemas realimentados se van a implementar y estarán presentes en la mayoría de los edificios (European Commission, 2017). Sin embargo, desde nuestra perspectiva, se ponen en crisis enfoques parciales excesivamente basados en conceptos tecnológicos que no consideran la arquitectura en un contexto amplio. Así una posible redefinición incluiría las siguientes premisas. **Un edificio inteligente, no es tan solo:**

- el que más dispositivos electrónicos utiliza.
- el que se apoya en la tecnología para tomar decisiones autónomas.
- el que implementa metodologías de diseño avanzadas.
- el que utiliza materiales de última generación.
- el que gestiona la energía con sistemas de regulación automática
- el edificios pasivos automatizados.
- elnuevos edificios de ultra-tecnología.

Estas tecnologías aplicadas son globales, y desde nuestro enfoque, para ser inteligentes deberán responder a condiciones de habitar completamente singulares, muy vinculadas con los habitantes y la ubicación concreta. Este enfoque nos permite establecer premisas para una posible definición de edificio inteligente:

1. Dos edificios inteligentes en dos lugares distintos serán diferentes. Responderán en función del lugar, ya que responde a requisitos diferentes y (en términos de sí y solo sí), no hay dos formas de habitar iguales.
2. Con los sistemas disponibles, deberá ser capaz de adaptarse a requisitos diferentes.

Una redefinición de un edificio deberá partir de una serie de factores clave que:

- Incorporen que su capacidad de adaptarse a unas determinadas circunstancias incorpora también una capacidad de adaptar el medio.
- Reformule el concepto de habitar.
- Proporcione espacios que maximice nuestra posibilidad de acción.
- Capaz de incorporarse tanto a nuevas edificaciones como a las existentes.
- Utilice formas y metodologías de diseño colaborativas, fruto de la I+D+i, de la incorporación de la AI, tanto el ML y DL, mejoras electrónicas. Entornos colaborativos para el desarrollo de formas de arquitectura sostenibles para incorporar procesos de investigación, desarrollo y diseño para que una arquitectura inteligente sea fruto de los contextos culturales y económicos.
- Considere que todo edificio está conectado a redes de infraestructuras que denominamos ciudad, urbanización. Son parte de sistemas más amplios. El edificio inteligente es parte de una red infraestructural de gestión de energía, de un medio físico y de redes de telecomunicación¹¹⁰.

En definitiva, sensible, pero una sensibilidad amplia: al medio, a los humanos y no-humanos. Expresado constructivamente, **un edificio es inteligente si y solo si es capaz de proporcionar mediante sistemas realimentados un habitar inteligente**. Para ello debemos definir aquí qué entendemos con el término inteligente y con el término habitar.

Disponer de modelos computacionales

Ser capaces de tomar decisiones en entornos con alta incertidumbre es el principio básico de la inteligencia artificial y de la Industria 4.0 (Serón Arbeloa, 2022, 2023). Para analizar un sistema complejo, se utilizan tanto datos estructurados como no estructurados para obtener información del entorno. Estos datos son obtenidos por dispositivos como cámaras o sensores, transmitidos por cable o por redes inalámbricas, procesados, almacenados y computarizados. Sin embargo “*data is not information*”, los datos por sí solos carecen de significado y contexto hasta que se procesan y se les da estructura para convertirlos en información útil. Esto implica que no hay edificio inteligente si no se construye un modelo desde las Ciencias de la Computación. Los modelos utilizados para la simulación y modelado de sistemas en ingeniería tradicionalmente denominados de forma general, “White Box”, “Grey Box” y “Black Box”¹¹¹, son conocidos en entornos de

¹¹⁰ ¿Pueden los edificios comunicarse entre ellos? ¿Pueden dialogar? ¿Con otras arquitecturas, con nosotros? ¿Con el medio?

¹¹¹ “White Box”, “Grey Box” y “Black Box” son conceptos que se utilizan para describir diferentes tipos de modelos utilizados en la simulación en ingeniería y en otros campos. Estos términos se relacionan con la cantidad de información que se tiene sobre el sistema que se está modelando. White Box Model (Modelo de Caja Blanca) es aquel en el que se tiene un conocimiento completo y detallado de la estructura y el comportamiento interno del sistema que se está modelando. En otras palabras, se comprenden completamente las relaciones entre las variables y cómo interactúan para producir resultados. Estos modelos suelen basarse en teorías o principios fundamentales y requieren un conocimiento profundo del sistema. Los modelos de caja blanca son altamente explicativos y precisos, pero también pueden ser más complejos de desarrollar debido a la necesidad de comprender en detalle el sistema subyacente. Grey Box Model (Modelo de Caja Gris) es un punto intermedio entre los modelos de caja blanca y caja negra. En este tipo de modelo, se tiene cierto conocimiento sobre la estructura o el comportamiento interno del sistema, pero no es tan detallado como en un modelo de caja blanca. Los modelos de caja gris pueden combinar información teórica con datos empíricos para lograr un equilibrio entre la complejidad y la precisión del modelo. Estos modelos son útiles cuando se desea una representación más realista del sistema

digitalización a los “Virtual Twin”, “Digital Twin” y “Hybrid Twin”. Ambos conjuntos de modelos se relacionan con la representación y modelado de sistemas, pero en contextos y enfoques diferentes. Una de las dificultades de la simulación, es que, en arquitectura, sus construcciones incluyen información no estructurada o implícita en sus formas, distribuciones, configuraciones o lenguajes, que será omitida si el edificio se modela como “contenedor” pasivo al que se le solapa capas de tecnología ambiental e informacional. Paradójicamente analizado de forma lógica, si cualquier edificio puede ser inteligente añadiendo tecnologías digitales, es que la configuración arquitectónica es irrelevante en la digitalización. Para superar este desafío, utilizaremos el concepto de patrón de comportamiento de sistemas complejos como conexión entre los sistemas computacionales y los sistemas arquitectónicos. Concepto también utilizado en las ciencias sociales.

Repensar la arquitectura desde conceptos biológicos

Por otro lado, la inteligencia se ha relacionado con la movilidad y el lenguaje, nociones no ajenas a la arquitectura. Tomar decisiones inteligentes, exige una adaptación consciente en entornos complejos. También la capacidad de aprender de los resultados de las acciones desplegadas y transmitirlos a otros. Es decir, hay realimentación sistemática. El concepto de inteligencia se ha construido desde la propia analogía con nuestro sistema de pensamiento, por lo que se ha negado la inteligencia a cualquier sistema vivo (y ahora, no metabólico) que no mostrara movilidad y lenguaje¹¹². A su vez, se ha asociado la inteligencia a la consciencia en la toma de decisiones altamente adaptativas. Ambos enfoques han sido puestos en duda por biólogos que estudian el comportamiento de los sistemas vegetales. La inmovilidad aparente de los edificios y plantas, más el propio funcionamiento de los sistemas distribuidos informáticos, nos presentan analogías entre la biología, la arquitectura y las ciencias de la computación, capaces de dotarnos de una sólida aproximación hacia la inteligencia de los edificios. Esta perspectiva nos permitirá soslayar el difuso término de “consciencia”.

Por último, se discutirá el fin último de una decisión inteligente en un edificio. En una aproximación problemática, el para qué es tan fundamental como el con qué. En un contexto ingenieril el para qué puede ser banal: conducción autónoma para conducir; reconocimiento de patrones visuales, para dirigir el tráfico urbano; reconocer distancias y texturas para operar a distancia o de forma automática. En este sentido, si el para qué de un edificio inteligente, es controlar sus sistemas de climatización de forma autónoma, el papel de la arquitectura pasa por el diseño de configuración que minimicen la energía consumida. Para afrontar este desafío, utilizaremos el concepto de habitar, como objetivo básico de una arquitectura. Habitar, es un proceso complejo afectado por miles de

sin la necesidad de conocer todos los detalles internos. Black Box Model (Modelo de Caja Negra) es aquel en el que se tiene poca o ninguna información sobre la estructura o el comportamiento interno del sistema. En este caso, el enfoque se centra en la entrada y la salida del sistema, sin considerar cómo se producen los resultados. Los modelos de caja negra son más simples de construir y pueden basarse en datos empíricos, pero pueden carecer de la capacidad de explicar las relaciones internas del sistema. Son útiles cuando se busca una representación simplificada o cuando se tienen datos disponibles pero no se comprende completamente el funcionamiento interno del sistema.

¹¹² La separación radical del “res cogitans” y “res extensa” cartesiana, fue mucho más allá. Su énfasis en la capacidad de razonamiento y pensamiento consciente humanos podría interpretarse como una priorización de la inteligencia humana sobre otras formas de vida. En su perspectiva, la capacidad de pensar conscientemente y de tener ideas claras y distintas era una característica distintiva de los seres humanos.

variables que se interrelacionan. Nuestros edificios y ciudades son la resultante emergente de ese proceso. El objetivo de un edificio inteligente será proporcionar un habitar inteligente, al que hemos denominado “habitar salvaje”. Este enfoque será construido desde la premisa que es necesario para superar planteamientos basados en dualismos, reduccionismo y separación, replantear los conceptos de identidad, individuo y separación. Nos apoyamos en las definiciones de simbiosis, holobiontes y permeabilidad con el medio, para construir un nuevo enfoque (Latour, 2021a, 2021b).

Puestas las bases conceptuales de un edificio inteligente, una vez definido el contexto (sistemas complejos) y el para qué (habitar salvaje), la construcción de un sistema inteligente exige en primer lugar obtener datos. Se propondrá la utilización de sistemas IoT como la base infraestructural del sistema. Se define una plataforma capaz de sensorizar, transmitir, almacenar y procesar datos. Para su definición es básico conocer en primer lugar, qué es posible medir y qué no, qué presupuesto se dispone, para qué se quiere medir. En segundo lugar, hay que elegir un sistema de transmisión de datos. En entornos construidos, esto es todo menos banal. En tercer lugar, es necesario elegir un sistema de almacenamiento de datos, así como disponer de sistemas de hardware necesarios. En cuarto lugar, los datos deben ser procesados para su almacenamiento, de manera que puedan ser fácilmente utilizados por los modelos de simulación. Por último, los datos deben ser visualizados para su estudio, pero también en tiempo real, para información de los habitantes de los edificios.

Se puede entender que las arquitecturas vernáculas se adaptan bien a un cierto contexto cultural (insistimos, incluida la relación física con el medio) por lo que se les podría asignar cierta cualidad “inteligente”. Desde nuestro enfoque de edificios inteligentes, no es suficiente, porque la tecnología arquitectónica aplicada, no puede desplegar sistemas realimentados. Es decir, contienen información en forma de patrones constructivos que se repiten y se modifican para adaptarse. Sin embargo, el proceso de realimentación de esa información la hace el propio ser humano a base de millones de experiencias habitar-construir. Es en la interacción entre habitar y la arquitectura como se incorpora todo el acervo tecnológico disponible.

A su vez, en arquitecturas vernáculas, no hay disociación posible entre las tecnologías disponibles y el habitar, precisamente porque es en la propia arquitectura en la que proporciona el habitar. Pero los dispositivos arquitectónicos, no son tecnologías que funcionen desde la realimentación, siendo en parte muy pasivas. Es decir, todo el proceso iterativo implícito en la retroalimentación pasa aquí por la experiencia humana y el proceso de diseño y construcción. Lo que es radicalmente definitorio para nuestra aproximación, es que aproximación estaba limitada al ámbito de posibilidad de los sentidos humanos, lo que no ocurre así con los sistemas inteligente y la irrupción de la tecnología IoT. Afirmar, que una arquitectura vernácula, una tradición arquitectónica y constructiva, no es inteligente en el sentido “smart”, obliga a concretar nuestro enfoque de qué es inteligente en contextos arquitectónicos.

A su vez, para superar dicotomías entre la arquitectura y la ingeniería, debemos alejarnos de la idea comúnmente aceptada de que un edificio inteligente es un contenedor de tecnología en telecomunicaciones, sensores y automatismos revestido con materiales más avanzados. Expresamente rechazar que la arquitectura es una “máquina de habitar”, en este caso, domotizada y automatizada para el control y regulación de diversos sistemas. Si no procedemos de esta manera, corremos el riesgo de seguir ampliando que se podría

denominar bifurcación termodinámica, es decir, la escisión entre los sistemas ambientales de los sistemas arquitectónicos. La obsesión —casi disciplinar— de la regulación y el control absoluta podría alimentar aún más la separación construida por los sistemas de climatización (Fernández-Galiano, 1991). O lo que es lo mismo, entre la arquitectura lenguaje, estética, signo o también contenedor habitacional higiénico-sanitario del *homo economicus*, y la producción de unas condiciones ambientales estandarizadas relegadas a sistemas térmicos.

La inclusión de tecnologías puede derivar hacia un habitar post-pandémico todavía más aislado del medio. Responder desde la arquitectura a la crisis energética y pandémica, con más aislamiento térmico, más impermeabilidad al aire, más control de patógenos, más barreras de acceso. En definitiva, se puede seguir caminando hacia la digitalización de la arquitectura, plantando que un edificio inteligente es un contenedor con sistemas térmicos ultra-eficientes y sistemas de control y regulación de última generación lo que sin duda, pone en entredicho cuál es el papel del arquitecto. Si la brecha entre los arquitectos e ingenieros térmicos no ha parado de crecer (Ábalos & Sentkiewicz, 2015), el trabajo de expertos en *data-science*, ingenieros informáticos y de computación, en telecomunicación, puede hacer que la arquitectura se separe aún más de lo “técnico”. A este respecto, si ya los ingenieros térmicos han entendido el edificio como un objeto a climatizar, desde las tecnologías TIC, añadir una capa más tecnológica, solo puede enfatizar más aún la separación y la abstracción: sistemas automáticos para sistemas de climatización-separación de un objeto-contenedor habitacional. Passivhaus¹¹³ profundizando en la pasividad y el aislamiento al que se añaden sensores y AI.

¿En qué términos definimos “inteligente”?

Edificios e Inteligencia

Si queremos conceptualizar qué es un edificio inteligente debemos definir qué es ser “inteligente”. Nuestra especie tiende a asociar la inteligencia con la rapidez a la que nos adaptamos a los cambios, en una mirada tanto lineal del tiempo no cíclica e individualista. Es decir, el concepto de inteligencia se centra en cómo reaccionamos individualmente a un cierto estímulo (que se antepone linealmente a la respuesta), de forma consciente y no automática. A su vez, el término “inteligente” incorpora la idea de que solo los humanos lo somos o, al menos, que somos los seres más *inteligentes* de la Tierra. Los procesos reactivos que desarrollamos se han asociado a que solo nosotros tenemos capacidad para transformar el entorno a nuestra voluntad y representación del mundo. En este sentido, nuestras construcciones, tanto máquinas, como obras civiles y edificios agrupados en ciudades, parecen indicarnos que así. Percibimos un contraste claro y nítido entre lo que

¹¹³ El estándar Passivehaus se basa en un aislamiento térmico muy eficiente, ventanas de alta calidad con doble o triple acristalamiento, ventilación mecánica controlada y otros sistemas de eficiencia energética. Estos elementos trabajan juntos para minimizar la cantidad de energía necesaria para calentar o enfriar el edificio, lo que a su vez reduce las emisiones de carbono y disminuye el impacto ambiental del edificio. Fue creado por el físico y matemático Bo Adamson y el también físico Wolfgang Feist. Ambos comenzaron a trabajar en 1991 desde el concepto de sistemas aislados en termodinámica, como una forma de reducir la energía que consumen los edificios. Su aproximación al habitar es pues, puramente termo-económica.

hemos realizado y lo que no hemos realizado, siendo evidente nuestra influencia sobre el planeta. El concepto de natural y artificial, se basa en esta dicotomía.

Siguiendo esta acepción de inteligencia, los edificios inteligentes serían construcciones individuales que ante cierto estímulo-cambio de su entorno próximo, tuviera capacidad de dar una respuesta adaptativa. Esta respuesta, no sería automática, ni trivial, es decir, tendría cierta consciencia según nuestros términos. Desde esta perspectiva, si los sistemas técnicos presentes en un edificio inteligente están orientados a la recopilación de información sobre el funcionamiento del edificio, a la interacción entre sus ocupantes y el edificio, la inteligencia estaría basada en los métodos de las ciencias de la información y telecomunicaciones con los que se obtiene, procesa y analiza toda esta información. Es decir, desde este enfoque, **un edificio inteligente lo sería en la medida que los sistemas de computación son “inteligentes”**. Aquí, la arquitectura nuevamente permanece muda ya que, aunque la obtención de datos nos ayude a reevaluar parámetros relacionados con la comodidad y el bienestar del habitar/habitante, el concepto de “usuario” se orienta más hacia el control de dispositivos remotos con la implementación de aplicaciones digitales por medio de los teléfonos inteligentes, que a cambios conceptuales arquitectónicos.

Existen otros enfoques de lo que es la “inteligencia”, como aquellos que se basan en la racionalidad económica¹¹⁴ (por ende, en la capacidad de un edificio inteligente para generar valor añadido). Tres serían aquí los aspectos clave para que un edificio sea inteligente: la longevidad; la eficiencia energética, y; la comodidad, bienestar y satisfacción (Buckman et al., 2014). Es decir, un edificio será inteligente si es capaz a través de sistemas técnicos de maximizar su rendimiento, entendido como su capacidad para aumentar el bienestar de sus ocupantes, aumentar su vida útil, al mismo tiempo que reduce su consumo de energía. Desde la perspectiva económica, los sistemas integrados que pueden monitorear múltiples parámetros físicos son básicos para evaluar la eficiencia energética de los distintos sistemas, obteniendo mayor grado de precisión en conocer cómo se utiliza la energía. El concepto de edificio se amplía a la extensa gama de aparatos que están conectados en su interior, que actualmente se incorporan al concepto de demanda energética. En este contexto, construir soluciones de monitorización capaz de

¹¹⁴ A este aspecto en concreto es al que parecen dirigirse las políticas europeas ya que las estrategias energéticas de la UE dirigidas al sector de la construcción y las comunidades científicas están orientadas hacia la eficiencia energética, recomendando la implementación de “soluciones inteligentes” y tecnologías digitales para reducir el consumo de energía y, en consecuencia, aplanar la curva energética. En este sentido, la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD) 2010/ 31/ EU cubre una variedad de medidas destinadas a aumentar la eficiencia energética del sector de la construcción. Estos incluyen la promoción de tecnologías inteligentes basadas en sistemas de automatización y control, edificios de consumo de energía casi nulo, emisión de certificados de eficiencia energética, establecimiento de nuevas estrategias en cada país de la UE, movilidad eléctrica en edificios, concesión de ayudas financieras para mejorar la eficiencia energética de los edificios. También la Directiva de Eficiencia Energética (EED) 2012/27/EU ha establecido medidas adicionales para mejorar la eficiencia energética en la UE, que incluyen entre las que se conecta la reducción energética del 1,5% con la instalación de 200 millones de medidores inteligentes para electricidad y 45 millones de medidores de gas para 2020, elaborando planes energéticos nacionales cada tres años e implementando soluciones para garantizar un ahorro de energía del 1,5% en relación con las ventas anuales en las empresas de energía (Tanasiev et al., 2021).

A medida que aumenta la cantidad de dispositivos, también aumenta la cantidad de datos recopilados. En consecuencia, las técnicas de Machine Learning (ML) se aplican para mejorar aún más la inteligencia y las capacidades para utilizar aún más el conocimiento. Sin embargo, el procesamiento de datos, el análisis y la extracción de información significativa aún requieren la intervención humana

disgregar consumos, se está convirtiendo en una estrategia común para a través del análisis de los datos, desarrollar nuevos modelos, implementar y probar escenarios, —soluciones inteligentes—, nuevos materiales aislantes y otros elementos de construcción (Tanasiev et al., 2021). Sin embargo, consideramos que un conjunto de factores listados, no pueden dar una noción de inteligencia realmente operativa, en la que la arquitectura no se vea desplazada a plantear el sistema o capa física del edificio.

Algunos autores han tratado de evitar esta dificultad, proponiendo que un edificio inteligente sería aquel que muestra “inteligencia” en su configuración arquitectónica, en las metodologías de diseño (Casini, 2016; V. Pereira et al., 2021), en la tecnología de su construcción, en los materiales utilizados o en cómo obtienen la energía y en cómo la procesa. Desde una perspectiva de la teoría del diseño, el término “diseño inteligente” puede referirse a la creación de soluciones óptimas y eficientes para problemas específicos. Implica la aplicación de la inteligencia humana y creatividad para desarrollar productos, sistemas o soluciones que satisfagan necesidades y requisitos de manera efectiva. En el diseño inteligente, se busca la optimización de la funcionalidad, la estética y la experiencia del usuario. Se emplean técnicas y metodologías que aprovechan el conocimiento y la habilidad de diseñadores para generar soluciones que van más allá de la simple funcionalidad y buscan innovar y mejorar la calidad de vida. Sin embargo, si bien es un intento de integrar la arquitectura, vuelve a ser un listado de atributos, que ponderados, podrían darnos una cierta idea de diseño inteligente.

La inteligencia asociada a la movilidad

La inteligencia está asociada con la capacidad de tomar decisiones ante escenarios con alta incertidumbre, pero también es consustancial con la resolución de problemas. En nuestro entorno, todo organismo debe resolver problemas continuamente para sobrevivir. Los humanos lo hacemos principalmente por medio de la movilidad. Es decir, moverse para solucionar problemas, implica tanto ir hacia lo que nos proporciona más posibilidades de vivir (alimento, reproducción, socialización) como esquivar dificultades (seguridad, refugio, huir). Así, asociamos el movimiento con la capacidad autónoma de la decisión ante una sensación y consiguiente respuesta motora consciente, casi instantánea. Para Aristóteles los animales tenían “ánima”, esto es, capacidad de moverse, pero las plantas no: *“dos son las peculiaridades con respecto a las cuales nosotros caracterizamos el alma: el movimiento y el sentido”* (De anima, I-II, 403 b). Aristóteles sostiene que la capacidad de moverse es una característica de los seres vivos que se relaciona la percepción y el conocimiento. Su hipótesis es que el movimiento nos permite interactuar con el entorno y adquirir conocimiento sobre el mismo. La percepción y el conocimiento se basan en la actividad de los sentidos, en los que el movimiento es esencial para su activación. Así, el movimiento es esencial para el pensamiento, ya que el cuerpo y el entorno proporcionan información sensorial que es necesaria para el procesamiento cognitivo. Además, la experiencia motora influye en la forma en que se representa y se comprende el mundo. Aristóteles que en su teoría clasificó a los seres vivos en tres categorías que se mantienen hasta hoy: los animales, las plantas y los “seres inanimados”, es decir, los minerales. Dentro de esta última categoría se encontrarían también los objetos contruidos, por lo que no tienen capacidad de moverse o cambiar por sí mismos. Su existencia se depende del movimiento de los seres vivos. Además, Aristóteles relacionó la inteligencia con el movimiento, por lo que las plantas carecen de alma sensitiva y racional, aunque

desarrollan funciones vitales, como la nutrición, el crecimiento y la reproducción. Por lo tanto, las plantas como seres sin capacidad de desplazamiento no tenían capacidad de percibir el mundo y desarrollar un pensamiento consciente. Para él, las plantas eran seres vivos con alma vegetativa, es decir, carecían de alma sensitiva y racional.

En su obra "Física", Aristóteles habla de la naturaleza física de los objetos, "seres inanimados", sosteniendo que todo cambio es producido por una fuerza o causa externa. Cualquier construcción, en este sentido, como cualquier máquina, sería causado por el trabajo humano, y no por el movimiento "natural" de los seres vivos. En este sentido, los edificios —"seres inanimados"— si fueran dotados de una cierta capacidad sensitiva, se asemejarían a vegetales en su permanencia en el sitio y su inmovilidad. Es decir, desde la tesis aristotélica, tampoco podrían ser denominados inteligentes.

Si se desea construir una aproximación hacia qué puede considerarse un edificio inteligente, puede resultar operativo establecer analogías entre sistemas que carecen de movimiento, como es el caso de los edificios y las plantas. Los dos son estructuras con movimiento muy limitados y en todo caso ligados de forma permanente a un cierto lugar. Dotamos a la arquitectura un carácter más estático y permanente, y, por lo tanto, toma relevancia atributos visuales o estéticos, sobre los procesos que se desarrollan y, a las plantas, seres animados con procesos vitales, pero para los que aún perdura la visión aristotélica: no poseen inteligencia. A su vez, en reino vegetal, podemos detectar signos de cambio o de adaptación mientras que, para los edificios, tan solo signos de envejecimiento, hasta su ruina y destrucción. En este sentido, si hoy a las plantas, inanimadas, inmóviles, las seguimos considerando culturalmente con poca o ninguna inteligencia, ¿qué es entonces un edificio inteligente? Si un vehículo inteligente es aquel capaz de moverse autónomamente por una vía; si una máquina es inteligente si se adapta a los cambios; si un programa informático es inteligente si responde a nuestras preguntas activamente, pero una planta no es inteligente, ¿qué es ser un edificio inteligente si no puede ni responder ni moverse? Obviamente el concepto de inteligencia quedaría encapsulado al movimiento de sus sistemas HVAC, de iluminación, o de control solar, o a la capacidad de respuesta de sus sistemas informáticos. No se saldría de la taxonomía aristotélica sobre la inteligencia de sistemas que poseen movimiento de forma autónoma.

En este sentido a los árboles, pese que se han dispersado por el planeta, colonizado casi todos los espacios, los seguimos asociándolos culturalmente con seres pasivos, insensibles, sin reacción (por lo que nos permitimos cortarlos, mutilarlos o quemarlos sin que tengamos percepción alguna de destrucción de ningún tipo de conciencia). Es decir, seguimos negando su capacidad inteligente. Sin embargo, esta aproximación queda desmentida por las evidencias. Para que el mundo vegetal se haya expandido y domine el planeta, las plantas deben responder e interactuar constantemente con su entorno, siempre en evolución. Esta adaptación para muchos autores¹¹⁵, es signos de una gran inteligencia.

¹¹⁵ La vida secreta de las plantas", de Peter Tompkins y Christopher Bird. "El poder de los árboles", de Peter Wohlleben. "El sentido de un final en el reino vegetal", de Stefano Mancuso. "Plantas, genios y seres sensibles", de Jacques Brosse. "La inteligencia de las plantas", de Florianne Koechlin y Anne-Lise Head-König. "La inteligencia en la naturaleza", de Jeremy Narby. "La mente en las plantas", de Daniel Chamovitz. "El despertar de la inteligencia vegetal", de Stefano Mancuso y Alessandra Viola. "Verde brillante: la historia secreta de las plantas", de Stefano Mancuso. "Plantas inteligentes", de Monica Gagliano.

También los edificios, lejos de permanecer inmutables, se transforman constantemente, no solo a nuestras preferencias sino al entorno. Como podemos comprobar, los edificios mutan constantemente (Brand, 1995). Todos, incluidos las arquitecturas que llamamos monumentos (que desde el s. XVIII nos ha dado por idolatrar, incluso en su ruina para conservarlos a toda costa, en un cierto estado “estático”, “permanente”, “eterno”) evolucionan constantemente.

El movimiento, solo una forma más de resolver problemas

El movimiento es tan solo una forma de resolver el problema de la supervivencia. Las plantas, por el contrario, establecen otras estrategias: deben resolver el problema, *in situ*. Deben adaptarse al lugar, a sus circunstancias locales. Responde a ellas por medio de sensores de todo tipo, que monitorizan constantemente gradientes en sustancias químicas de la atmósfera (Mancuso, 2021) y por redes subterráneas de comunicación. No es solamente un intercambio fotosintético en la parte arbórea o de agua y nutrientes en la subterránea, sino la posibilidad de poseer un alto nivel de complejidad en términos de organización social, resolución de problemas complejos mediante el uso de refinadas estrategias. A modo de intuición estas ideas han sido defendidas de forma contraria a Aristóteles por diferentes pensadores muy heterogéneos como Platón, Demócrito, Linneo, Darwin, Fechner o Bose, convencidos de alguna manera que las “plantas están dotadas de habilidades mucho más refinadas que las que comúnmente se observa” (Mancuso, 2015). Solo en las últimas décadas, la ciencia ha podido establecer que esta intuición es certera.

Una de las posibles razones para esta simplificación y falta de comprensión del mundo vegetal, es que nos consideramos individuos delimitados por nuestra piel, sin un anclaje fijo a ningún lugar. A su vez, estamos entrenados para detectar otras individualidades. La evidencia que todos nuestros órganos forman parte de nosotros, de que son parte indisoluble de nuestra identidad, refuerza la idea de límite entre lo que somos “nosotros”, el “medio” y los “otros”. La nítida delimitación que supone nuestra epidermis afianza la idea de aislamiento. Es más, todos nuestros sentidos, se mueven con nosotros. En resumen, experimentamos constantemente tanto la experiencia del concepto de uno y, por ende, de los otros. Esta cotidianidad está tan desarrollada que no somos conscientes de los pequeños matices con los que podemos distinguarnos, ocultando que somos casi idénticos a todos nuestros semejantes. La construcción de diferencias implica la construcción de límites, con los que enfatizar lo que separa, conlleva el también construir formas de reforzar nuestro aislamiento. Es evidente que también vemos la arquitectura desde estos dos puntos de vista: la identidad por un lado y su aislamiento por otro. Desde el primero, privilegiando las diferencias entre nuestros edificios, su capacidad de “reconocimiento” frente a sus similitudes y conexiones, por el que reconocemos su identidad. Por otro, el muro, lo que separa del medio, define también lo que vemos del edificio como lo que nos proporciona “refugio”, separación.

Sin embargo, desde la teoría de los sistemas complejos (también de la actual biología), tanto nosotros como nuestra arquitectura, somos literalmente relaciones, conexiones, interacciones con la red de la vida. Como hemos visto, no podemos vivir aisladamente. Por lo tanto, no podemos habitar desde el aislamiento. La construcción identidad individual, ya sea de nosotros mismos o de nuestros edificios (en parte también de nosotros como autores reconocibles de ciertas obras), es una de las características de nuestro

pensamiento. Podemos afirmar que la idea de límite se asienta en que, mediante el movimiento, tenemos una gran habilidad para diferenciarnos a nosotros mismos —y, por consiguiente, a nuestras construcciones— del resto, del entorno en el que vivimos. Al mismo tiempo, tomamos consciencia de que formamos parte de una red.

Adaptación, la premisa de la inteligencia. Aprender de los árboles

Se considera pues, que la capacidad de adaptación en un medio cambiante es la aproximación más operativa para la definición de edificios inteligentes en contextos arquitectónicos, en detrimento de aquellos otros enfoques que se centran en la capacidad de razonar o de generar pensamiento abstracto.

Con adaptación al medio nos referimos a la capacidad de un organismo para ajustarse a las demandas y desafíos del entorno en el que habita, lleno de situaciones nuevas y cambiantes. Es decir, a su capacidad de resolver problemas de manera efectiva. A su vez, la adaptación al medio es una de las dimensiones que se han utilizado para medir la inteligencia en diferentes teorías y pruebas psicológicas humanas. Por ejemplo, en la teoría de la inteligencia de Sternberg¹¹⁶ (Sternberg, 1999), la adaptación al medio se refiere a la capacidad para ajustarse a situaciones nuevas y desconocidas, y para utilizar la experiencia previa para resolver problemas en un entorno específico. Se considera que la adaptación al medio es una muestra de inteligencia porque permite a los organismos responder de manera efectiva y exitosa a los desafíos y oportunidades que se presentan en su entorno, lo que puede mejorar su calidad de vida y su capacidad para lograr sus metas. Pero la inteligencia humana incluye otras dimensiones además de la capacidad analítica, necesaria para analizar, comparar y evaluar información de un entorno para actuar. La inteligencia analítica también se asocia con el razonamiento abstracto, la comprensión verbal y el procesamiento y cálculo numérico. A su vez, otras dimensiones de la inteligencia tienen que ver con la capacidad humana de generar ideas nuevas y útiles, en la que se consideran aspectos como la inventiva y la innovación. También, la capacidad de utilizar la experiencia, es decir, la memoria para aplicar lo que ha sucedido en unas situaciones u otras.

Estas dimensiones de la inteligencia nos han llevado a no conceder al mundo vegetal las características de la inteligencia. Sin embargo, desde el punto de vista de la adaptación —que exigen la experiencia¹¹⁷—, no solo se han adaptado de forma efectiva al medio ambiente, sino que, con su ciclo del carbono y el agua, llevan millones de años modelando

¹¹⁶ Para R.J. Sternberg los componentes analíticos de la inteligencia se refieren a la capacidad de un individuo para analizar, comparar y evaluar información. Esta dimensión incluye habilidades como la resolución de problemas, el razonamiento abstracto, la comprensión verbal y la capacidad de procesamiento numérico. A su vez, propone unos componentes creativos, con los que el un individuo puede generar ideas nuevas y útiles, y para aplicar soluciones creativas a problemas complejos. Esta dimensión de la inteligencia incluye habilidades como la creatividad, la inventiva y la habilidad para encontrar soluciones innovadoras a los problemas. Por último, considera una dimensión práctica de la inteligencia, con la que se refieren a la capacidad de un individuo para adaptarse a situaciones nuevas y desconocidas, y para utilizar la experiencia previa de manera efectiva. Esta dimensión de la inteligencia incluye habilidades como la adaptación al medio, la habilidad social y la capacidad de resolver problemas prácticos del día a día.

¹¹⁷ Hasta tal punto se considera el reino vegetal, no solo inteligente, sino vivo, que el islam permitió los motivos vegetales y florales en su arquitectura y arte.

el planeta hasta el punto, de que la Tierra ha alcanzado la configuración más adecuada para su desarrollo. A su vez, esta configuración es la única que da lugar a nuestra existencia, dependiendo enteramente todas las formas de vida de ella. No solo nos referimos a la atmósfera, también en términos terrestres, a los geológicos. Tal dependencia e influencia de los vegetales se refleja en los siguientes aspectos:

- La actividad anabólica y metabólica de los seres vivos, los infinitos ciclos vida-muerte, son responsables de elevar montañas, modelar valles, del transporte y remoción de compuestos minerales, de dirigir cauces y, en última instancia, e indirectamente, de nuestra actual civilización termodinámica basada en el carbono (Smil, 2021).
- La biosfera es un sistema complejo capaz de bio-secuestrar 550 Gigatonnes de CO₂ (10⁹ t o 10¹⁵ g), con lo que se moldea los ciclos biogeoquímicos globales (Bar-On et al., 2018). Es decir, no solo entendemos la biomasa como parte de un sistema vivo —medida de abundancia—, también es una forma de entender la cantidad de elementos que se mueven. Hablar de biomasa, es hablar de carbono. Además, tanto la biomasa con los seres vivos terrestres (dos órdenes de magnitud superior a la biomasa marina), pese que la tierra está cubierta en 71,5 % por los océanos.
- El 80 % de los taxones de la Tierra son plantas, mayoritariamente plantas terrestres (embriófitas), a las que le siguen las bacterias con un 15 %. Los animales constituimos sólo un 2 % del total, siendo los artrópodos terrestres un ínfimo 0,2 %. La biomasa aérea de las plantas es un 60 %, unos 320 GtC.
- Es decir, este mundo al que denominamos “natural”, los agentes activos son principalmente las plantas que, con su actividad, modelan y configuran el territorio. Es decir, no se trata de un sistema de agentes pasivos sobre una tierra estéril y neutra en la que se dieron ciertas condiciones para que apareciera la vida, sino un proceso infinitamente repetitivo del clico de adaptación y adaptar.
- El resultado final parece presentar un comportamiento dirigido o “inteligente”, en el sentido de que las plantas, dominan tanto la composición terrestre como atmosférica de la biosfera.
- Las aportaciones de James Lovelock y Lynn Margulis fueron claves para entender que la composición atmosférica fuera del equilibrio presentaba rasgos de “inteligencia distribuida”, una organización descentralizada, donde ninguna parte es del todo indispensable.
- Su extensión general hace que el resto de la biota dependa de ellas: su ciclo del carbono es literalmente el “motor del planeta”, un motor que en función de cómo definamos la inteligencia, podemos denominar “motor inteligente” en el sentido de que todos los procesos tendrían un fin: el propio mantenimiento de la vida.

En resumen, el dominio vegetal basado en la adaptación es tal, que la dependencia humana es triple:

1. Son las reguladoras atmosféricas de nuestras **únicas condiciones de habitabilidad**;
2. Son la base trófica de la cadena nutricional que nos aporta energía y;
3. Son la base energética en la que se basa nuestra sociedad tecno-industrial (la sociedad técnica se basa en la sobre energía que proporcionó el domino del fuego).

Esta capacidad para adaptarse y adaptar el entorno hacia sus condiciones óptimas de desarrollo debe realizarse obteniendo algún tipo de información sobre el entorno. Si bien las plantas no tienen sensores con las características biológicas que tienen los artrópodos, también pueden recibir estímulos del ambiente a través de estructuras especializadas que les permiten detectar y responder a cambios en su entorno (Wohlleben, 2016). Por ejemplo, los árboles poseen células sensores con las que pueden conocer la humedad del suelo, la intensidad de la luz y la temperatura ambiente. Se ha comprobado, además, que puede detectar la presencia de herbívoros y algunos patógenos, reaccionando antes ellos con la producción de ciertos compuestos químicos (Chamovitz, 2012). Exhiben patrones de crecimiento que dependen de la gravedad, o de la ubicación de minerales o agua, así como también de las composiciones acuosas, la presencia de otras especies, de herbicidas, la alelopatía y el viento. Emiten señales químicas y eléctricas con las que se comunican entre ellas, intercambiando información. Solo ahora sabemos que tienen capacidad de reconocimiento mutuo, una cierta “individualidad”, que ejercen colaborando entre sí.

Entonces, “a brain without a body produces the same amount of intelligence as the hazelnut it looks like [...] Intelligence is the capacity to solve problems; funnily enough, plants”. Es decir, si las plantas presentan comportamientos adaptativos a su entorno, podemos definirla como criaturas actuantes. Darwin propuso (Baluška et al., 2009) que las plantas pudieran tener un centro de control distribuido, y ahora sabemos que las plantas son, como mínimo, cognitivas. Lo interesante para nosotros es que podemos concebir la plantas como organismos que se comportan en red, sin movilidad y que reaccionan de forma muy sensible a su entorno ambiental. El comportamiento ha sido concebido involucrando alguna función motora para lograr algún fin. Desde una bacteria a un robot, para un humano, entidades capaces de moverse unitariamente para lograr un objetivo es signo de coordinación o inteligencia. Como hemos indicado, las plantas no desencadenan dichos juicios intuitivos, sin entrar en la lógica de los patrones de comportamiento.

La visión de que las plantas carecen de inteligencia ha quedado tan completamente desactualizada, como pensamos que quedará el enfoque sobre los edificios como objetos estáticos y pasivos.

La inteligencia de los seres sensibles

A su vez, nuestra percepción del reino vegetal no se basa en el reconocimiento de una individualidad de la misma manera que hacemos con los animales. En contraste, observamos que los vegetales son sensibles¹¹⁸ disponen de un cuerpo modular, sin un límite claro individual, ni un sistema central, ni órganos como los del reino animal que les dotan de una notable capacidad adaptativa, pese a su movilidad reducida. Es decir, su éxito evolutivo se debe justamente a ser divisibles, disponer de centros de mando distribuidos, estructuras rizomáticas y reticulares. Estas son muy similares tanto a nuestras conexiones

¹¹⁸ El término "sensil" se refiere a la capacidad de un organismo para detectar estímulos y responder a ellos. En el contexto de las plantas, el término se utiliza para describir su capacidad para detectar y responder a diferentes estímulos, como la luz, la temperatura, el viento, la gravedad, la presencia de otros organismos y sustancias químicas en el medio ambiente. La capacidad de las plantas para detectar y responder a diferentes estímulos es una manifestación de su sensibilidad y adaptabilidad al medio ambiente. Esta sensibilidad es una de las muchas características que hacen que las plantas sean organismos y puedan ser denominadas “inteligentes”.

neuronales como a configuración infraestructural de internet (Adamatzky et al., 2018). La configuración modular y reiterativa de muchas especies vegetales, hace que, por ejemplo, cuando un herbívoro depreda una parte de la planta, al no dañar un órgano vital único, no afecta a su supervivencia global (principios presentes tanto en nuestro cerebro como en el diseño original de internet). Sin movimiento aparente, sin una identidad claramente distinguible para nosotros, las especies vegetales son, sin embargo, muy sensibles a sus condiciones de habitabilidad, a sus condiciones del lugar, del medio ambiente en el que viven. Es así, porque poseen una amplia red de sensores con las que son capaces de medir lo que ocurre con el entorno. Es más, puede que sean sensibles (Segundo-Ortín & Calvo, 2023).

A su vez, nosotros sabemos que, para ser activo, no es suficiente con medir y sensorizar. Para adaptarse, para sobrevivir y actuar, hay que analizar y tomar decisiones. Hay que prever de alguna manera, lo que va a suceder. Anticiparse, aprender, memorizar. Si no, la supervivencia está cuestionada. En este sentido, las plantas poseen sensores que les permiten sensorizar el medio, para sobrevivir deben adquirir conocimiento desde los parámetros capaces de procesar, memorizar esta información y desplegar procesos de acción-reacción. Así, se tiene evidencias de que pueden detectar gradientes químicos indetectables para nosotros, longitudes de onda imperceptibles, sonidos que guían crecimientos o provocan decrecimientos, señales eléctricas entre ellas, trasvase de información, de elementos nutrientes, alarmas que viajan con otros seres vivos o químicas en el viento, capacidad de detectar plagas, etc. Pero también, cada compuesto, porta información concreta, como su capacidad de generación y detección de COVB (compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico), señales con las que mapean el entorno. A su vez, las plantas pueden emitir señales, los que las dota de capacidad de comunicación entre plantas de la misma especie y también entre distintas (Mancuso, 2015). Los mensajes advierten de que “tengo problemas” para que las plantas reaccionen. Todas estas operaciones requieren mucha energía, comportan una inversión futura. La reacción implica que las plantas son capaces de realizar previsiones y de invertir recursos para toma de decisiones anticipadas, es decir, nos encontramos en una situación de comportamiento y conducta inteligente.

Actualmente para muchos autores, las especies vegetales se comportan de manera incuestionablemente inteligente (Calvo Garzón & Keijzer, 2011). El hecho de que existan redes de señales entre los vegetales, que además tienen estructuras análogas a la que conforman las redes de AI, ha hecho que su comprensión y estudio sea un objetivo de la innovación tecnológica¹¹⁹. Anthony Trewavas (Trewavas, 2005b, 2005a), ha propuesto que las plantas pueden procesar y responder a una amplia gama de señales ambientales y bióticas. Según sus investigaciones, las plantas pueden procesar simultáneamente miles de señales diferentes en su entorno, incluyendo señales químicas, eléctricas, mecánicas y de luz, integrando esta información para coordinar sus respuestas fisiológicas y de comportamiento. Por lo tanto, no hay un número fijo de señales que una planta pueda procesar —aunque este autor ha identificado más de 22 diferentes—, ya que su capacidad

¹¹⁹ En este sentido, uno de los primeros conceptos sobre redes neuronales artificiales, “perceptrón”, propuesto en 1957 por Frank Rosenblatt, se ha comprobado que responden al tipo de señales que se encuentra en la biología. Este algoritmo básico en sistemas de Machine Learning cuando se requiere la clasificación de datos, o cuando se requiere simplificar o supervisar las capacidades de aprendizaje de los clasificadores binarios es idéntico la cómo se realiza en el mundo vegetal

de procesamiento depende de la complejidad de su entorno y de la disponibilidad de recursos para hacerlo (S. (Ed.) Conway Morris, 2008). Las respuestas presentan tropismos, es decir pueden ser positivas o negativas en función del estímulo. Tienen sensibilidad al agua, al oxígeno, productos químicos, traumatismos, campos geomagnéticos, eléctricos, luz, parásitos... A este respecto, para Baluska et al.:

“No hay comportamiento simple aquí. Todo comportamiento es complejo. Lo que cambia es el número de iteraciones” (Baluška et al., 2010)...

En definitiva, ni las plantas ni los edificios son sistemas pasivos. Consideramos que al igual que las plantas son capaces de captar señales del entorno, de elaborar con ellas información, procesarla y obtener las soluciones para la supervivencia, que les permite comportarse no como un individuo, sino como una multitud y manifestar comportamientos grupales parecidos a las hormigas, una definición de edificio inteligente en base a esta realidad es más operativa. El grado de inteligencia (en términos adaptativos es tal) que, en realidad, las plantas pueden vivir sin nosotros, pero no a la inversa.

En estos momentos, se está poniendo de manifiesto la relación de los sistemas de computación que hace posible la AI, es similar a la capacidad de las plantas de realizar procesamiento distribuido de información sensorial, toma de decisiones concurrentes y actuación paralela. Hasta tal punto que, para muchos investigadores de la biología y la informática, las plantas “are efficient green computers per se” (Adamatzky et al., 2018) para los que no hay duda de que las plantas “are highly intelligent organisms” hasta tal punto que podrían ser utilizadas como “arquitecturas informáticas” para resolver problemas matemáticos y de ingeniería utilizando sus estructuras biológicas de forma controlada.

Esta aproximación de “inteligencia”, es desde la que podemos utilizar para construir una definición de edificio inteligente, que vaya más allá de cuestiones tecnológicas, pero entre consideraciones sobre consciencia, identidad y unidad. Así, nuestra aproximación de edificio inteligente se basa en aquel edificio capaz de leer el entorno para tomar decisiones activas.

En este sentido, sabemos que el concepto de inteligencia es complejo y no existe una definición universalmente aceptada. En todo caso, se relaciona con la capacidad de resolver problemas, aprender, adaptarse y pensar abstractamente. Se ha demostrado que las plantas son capaces de responder a su entorno de forma compleja, incluyendo la capacidad de almacenar información y aprender de su entorno¹²⁰. Las plantas, de hecho, perciben señales ambientales. y responder rápidamente a ellos cambiando sus rasgos químicos, morfológicos y de comportamiento. Es decir, aunque el término "inteligencia" puede no ser aplicable a las plantas de la misma manera que a los animales, las plantas sí tienen mecanismos complejos para responder y adaptarse a su entorno que pueden ser altamente útiles para una definición operativa de qué es un edificio inteligente.

1. **Adaptación:** las plantas son seres vivos con capacidad de adaptarse a unas determinadas circunstancias cambiantes al mismo tiempo que adaptan el entorno a sus condiciones (de hecho, lo han hecho con todo el planeta).
2. **Comunicación:** las plantas pueden comunicarse con su entorno y con otras plantas. Por ejemplo, a través de la liberación de compuestos químicos en el aire o

¹²⁰ Por ejemplo, algunas plantas pueden aprender a evitar ciertos estímulos después de experimentar un evento negativo, como la exposición a un depredador.

- en el suelo, pueden enviar señales a otras plantas para alertarlas sobre la presencia de depredadores o para obtener recursos.
3. **Memoria:** las plantas pueden "recordar" experiencias pasadas y utilizar esta información para guiar su comportamiento futuro. Por ejemplo, algunas plantas pueden ajustar su crecimiento en función de las condiciones climáticas del año anterior.
 4. **Toma de decisiones:** las plantas pueden tomar decisiones complejas y coordinar diferentes procesos fisiológicos para alcanzar un objetivo. Por ejemplo, pueden regular el uso del agua y los nutrientes para maximizar su crecimiento o supervivencia.
 5. **Aprendizaje:** Aunque la capacidad de aprendizaje en las plantas es aún objeto de debate, algunos estudios sugieren que pueden "aprender" de las experiencias y modificar su comportamiento en función de ellas.
 6. **Inteligencia distribuida:** a diferencia de lo que ocurre en los animales con un sistema nervioso centralizado, sino que están distribuidas en todo el cuerpo de la planta. Las funciones cognitivas no están centralizadas en una sola parte del organismo, es decir las plantas no tienen un cerebro ni un sistema nervioso centralizado, sino que tienen una "inteligencia" distribuida en diferentes partes del cuerpo, como las raíces, las hojas, los tallos y las flores.

Es decir, las plantas son capaces de adaptarse procesando información y tomar decisiones a través de sistemas de comunicación y señalización que involucran diferentes partes. Por ejemplo, las raíces pueden detectar la presencia de nutrientes en el suelo y enviar señales a través de moléculas químicas para que las hojas comiencen a producir más clorofila y aumenten su capacidad de fotosíntesis. Del mismo modo, las hojas pueden detectar la presencia de depredadores y enviar señales a través de moléculas volátiles para que las otras hojas comiencen a producir compuestos tóxicos que disuadan a los depredadores. Es importante señalar que la inteligencia de las plantas es distribuida porque no depende de un centro de control único, sino que está integrada en la totalidad y en la interacción con el ambiente. Esto implica que la noción de inteligencia no queda ligada a la existencia de un sistema centralizado para ser capaces de procesar información, tomar decisiones y adaptarse a su entorno. En cambio, es posible responder al entorno utilizando sistemas de comunicación y señalización altamente integrados y distribuidos para lograr estas funciones.

Partiendo de las lecciones aprendidas de los entornos vegetales, un edificio inteligente puede ser definido como aquel que es capaz de obtener datos del entorno, procesarlos, analizarlos para tomar decisiones que respondan con sentido a un cierto estímulo. Con esta definición soslayamos el debate sobre artificial, ya que un edificio pueda tomar decisiones autónomas para adaptarse al entorno, converge con las lógicas esperables de un sistema vivo capaz de construir. Es decir, al sensorizar edificios, no solo no nos alejamos de la naturaleza, sino como hemos visto, se siguen sus lógicas, en este caso, la de las plantas. Lo que queremos expresar aquí es que los procesos implicados en el despliegue IoT son consustancialmente "naturales", extienden nuestra capacidad de percepción para adaptarnos (y adaptar) de forma más eficiente al hábitat dónde se insertan.

En definitiva, si en la interacción entre un entorno construido, el medio en el que se ubica y las personas que lo utilizan, es decir en su proceso de habitar, un edificio podrá ser definido como inteligente si:

- Con los medios disponibles, muestra capacidad de adaptación a unas determinadas circunstancias cambiantes al mismo tiempo que esos medios, adapta el entorno a sus condiciones de operación.
- Es capaz de comunicarse con sus sistemas, con los usuarios, con otros edificios.
- Es capaz de incorporar en su diseño experiencias arquitectónicas pasadas, memorizar los datos de operación, comprender su configuración y su uso para utilizar esta información para tomar decisiones futuras.
- Puede tomar estas decisiones con los medios disponibles en base a datos en tiempo real, las experiencias pasadas, activando sus sistemas para alcanzar ciertos objetivos.
- Es capaz de aprender de las experiencias y modificar su comportamiento actual y futuro (prever) en función de ellas.
- Su inteligencia es distribuida, pudiendo encontrarse físicamente en cualquier lugar (la nube, internet) de forma que su "inteligencia" distribuida en diferentes sistemas tanto del edificio como exteriores al mismo.

Esta aproximación trata de combinar la memoria contenida en un diseño arquitectónico, los sistemas activos y pasivos de los que dispone, con los datos obtenidos por sus sensores. El para qué, es decir, mejorar las condiciones de habitabilidad, de manera eficiente y con la menor afección al medio, debe estar contenido en su definición arquitectónica. Es decir, un edificio cuyo diseño no esté proporcionando un habitar confortable, o no sea eficientemente desde el punto de vista de la energía, o no haya planteado cómo interacciona con el entorno, no dispondrá de medios para desplegar capacidad de adaptación. Esta característica siempre quedará limitada por la configuración arquitectónica, por muchos sistemas tecnológicos con el que se le dote.

IoT, la plataforma desde la que construir un edificio inteligente

Introducción

Con el término "Internet de las cosas" (Internet of Things), IoT¹²¹ (Ashton, 2009), nos referimos a la conexión de dispositivos cotidianos a una red como internet. Esta conexión permite a estos aparatos técnicos comunicarse entre sí y con otras redes. La idea detrás del IoT es que estos dispositivos pueden estar equipados con sensores y conectarse a internet para intercambiar datos y realizar tareas de manera autónoma. Podemos decir que IoT es una tecnología que permite que los dispositivos estén interconectados y compartan información a través de internet, lo que puede mejorar la eficiencia, la seguridad y la comodidad en una variedad de entornos, lo que a su vez genera nuevas aplicaciones y oportunidades de desarrollo. Con la información que se genera se producen una gama ilimitada de aplicaciones y servicios. Entre otras muchas de esas aplicaciones, el IoT se desarrolla para proporcionar servicios fiables y energéticamente eficientes sin comprometer el nivel de comodidad y satisfacción de las personas en entornos construidos. En este sentido, el concepto IoT no es una tecnología independiente, más bien, una combinación de muchas tecnologías. De una forma similar a como los edificios tampoco pueden ser entendidos como una única tecnología (por ejemplo, la arquitectura) sino como una combinación de muchas de ellas, en la que convergen distintos sistemas y procesos.

Es importante resaltar que la comunicación por medio de sistemas de cableado e internet entre los dispositivos presentes ahora en muchos edificios no están conectados entre sí. Así, medidores de energía, incluyendo lecturas remotas de las compañías de suministro, sistemas domésticos de gestión de energía, sistemas de control de dispositivos domóticos (como persianas, puertas, abertura de ventanas o accionamiento de persianas), aparatos domésticos como hornos, robot de cocina, limpiadoras, no forman todavía un eco-sistema IoT. Es decir, no forman una plataforma IoT. En este sentido, sin esa interconexión e integración, no formarían un sistema complejo. Lo principal, es que el despliegue de dispositivos de sensorización y medida, sin interconexión, al no formar un sistema complejo, no da lugar a propiedades emergentes. La prioridad, por lo tanto, es generar una plataforma abierta capaz de integrar el máximo número de sistemas y edificios.

Esta plataforma que permite la conexión de distintos dispositivos y edificios podría teóricamente ampliarse a otros sistemas inteligentes como nuestros relojes, vehículos, métricas urbanas, etc. Esta interconexión nos proporcionaría, no solo información útil sobre nuestra presencia o comportamientos, sino de cómo nuestro cuerpo reacciona ante ciertas condiciones ambientales. Con estos datos, se podrá empezar a entender la relación profunda entre nuestro comportamiento y bienestar con el habitar. Es decir, cuando esta interconexión más global se pueda producir, la interacción de nuestro habitar con la capacidad de sensorizar, podrá producir comportamientos emergentes, nuevas formas de habitar. Las posibilidades se hacen ilimitadas si entendemos que el edificio puede compartir la información con una red global como una ciudad, formando parte a su vez de

¹²¹ Aunque el concepto Device to Device, D2D había sido propuesto por Bill Joy en 1999, el término IoT, "Internet de las cosas" fue propuesto por K. Ashton en 2009, literalmente significa la comunicación compartida entre todos los elementos físicos que expanden las áreas de comunicación actuales de máquina a máquina y de persona a computadora a un área de cosa a cosa

un sistema más conectado. Para que esto se produzca, reiteramos, es fundamental disponer de una plataforma abierta.

Aunque teóricamente esta Inter-comunicabilidad entre dispositivos es sencilla, se presentan grandes dificultades para su implementación: heterogeneidad de los sistemas, riesgos informáticos, gestión y control de los datos, dificultad de los usuarios, complejidad de los sistemas, falta de modelos globales, restricciones legales, monopolios de las operadoras de energía y de internet, protección de la privacidad, vulnerabilidad al acceso, seguridad y responsabilidad ante un mal funcionamiento de un sistema IoT. En todo caso, cuando hablamos del habitar, su complejidad y multitud de aspectos que pueden afectar, hacen que no se vislumbre con facilidad los beneficios que puede aportar esta aproximación frente a los sistemas basados en el control, los monopolios y la restricción de acceso. Su capacidad de adaptación es menor, pero permiten de forma sencilla la gestión de ciertos dispositivos (Google Home con Nest, o más cerrados aún, modelos como Home Connect de Siemens) que como estamos viendo, apenas afectan a la arquitectura. Dicho de otro modo, se pueden conectar a cualquier arquitectura. Su campo de acción es más la comodidad y rentabilidad económica, bloqueando la posibilidad de la complejidad y, por lo tanto, de la aparición de comportamientos o propiedades emergentes.

En resumen, la implantación de una plataforma IoT en edificación requiere la adaptación de tecnologías y conocimientos multidisciplinarios, por lo que muchos de los esfuerzos para el despliegue en edificio son:

- El problema de la integración.
- Las acciones aisladas en términos de integración tecnológica.
- El desarrollo de aplicaciones principalmente debido a las limitaciones actuales de las disponibles y las pocas redes de sensores, en edificios.
- Los despliegues tecnológicos en las ciudades no son fácilmente compatibles ni abiertos a terceros.
- La prioridad por la seguridad informática.
- Dudas sobre la utilidad social y económica de su despliegue.

Tecnología de la construcción vs tecnologías de la comunicación e información

Otra razón para que se desplieguen en los edificios es que el desarrollo de la tecnología se centra mayoritariamente en las ingenierías eléctricas, automáticas, de telecomunicaciones e informática, pero en disciplinas estrechamente vinculadas con los entornos construidos, como la arquitectura, ingeniería energética o ingeniería de la construcción. Estas últimas podrían detectar e identificar problemas y desafíos que pueden ser abordables mediante tecnologías IoT pero también, nuevos enfoques de la arquitectura y metodologías proyectuales. Una de sus desventajas principales para que, su despliegue en la construcción sea más lento que en otros campos es que, el IoT con sus lógicas y tecnologías propios, que tanto los usuarios —todos nosotros— de los edificios, como sus diseñadores, constructores y mantenedores, no disponen del conocimiento tecnológico necesario para su implementación. Tampoco de sus posibles problemas, pero, sobre todo, de las ventajas que pueden proporcionar.

Otra dificultad no señalada por la bibliografía, pero que desde nuestro punto de vista es clave para la comunicación necesaria entre las lógicas centradas en los edificios y las relativas a las telecomunicaciones y el análisis de datos, es que, a diferencia del carácter fuertemente físico y visual de las construcciones, las tecnologías IoT apenas tienen impacto físico y visual. A su vez, el consumo energético de los sensores suele ser despreciable con el global de un edificio (pero no son el tratamiento de los datos, que se produce de forma deslocalizada). Por último, los edificios son estructuras pseudo permanentes, fuertemente ligadas con una ubicación, mientras que se puede definir el IoT como una tecnología ubicua, o fuertemente deslocalizada.

En este último sentido, podemos definir la tecnología IoT como ubicua:

- Puede desplegar los mismos sensores que generan información en cualquier edificio
- Puede procesar esa información desde cualquier parte del mundo.

Es decir, la IoT ofrece la capacidad a distancia de medir, inferir y comprender indicadores ambientales, desde ecología y recursos naturales, entornos urbanos, edificios. Por estas razones se define como ubicua, ya que es aplicable en cualquier lugar y desde cualquier lugar (Gubbi et al., 2013). Esta ubicuidad queda reforzada por su falta de presencia física, ya que, a diferencia de las tecnologías arquitectónicas e incluso energéticas, los sistemas de información y comunicación están integrados de manera invisible en el entorno que nos rodea.

En este sentido, los sensores que son la parte más visible del ecosistema IoT, apenas muestran su presencia. La ubicuidad queda más patente que en que la aplicación de la ingeniería de análisis de datos, el *big data*, así como la computación en la nube (cloud) o distribuida (fog o Edge computing) no tiene relación física con el edificio. Es decir, la información generada por los sensores *in situ*, debe ser procesada ya sea a través de servicios de computación de datos, desde un proveedor externo (cloud) que evita tener que instalar y mantener un equipo propio de hardware y software (que podría estar o no en el edificio), bien sea a través del *Fog Computing*, en el que los recursos informáticos están más cerca del usuario o del dispositivo que los está utilizando. Esta tecnología es utilizada para no depender de los centros de datos remotos en la nube que proviene de los edificios inteligentes, producen y procesan información entre sí o de sí, que generan sus sensores que monitorizan constantemente un edificio. En resumen, la implantación de sistemas IoT en los edificios, debe de considerar desde el principio que se generarán enormes cantidades de datos que deben almacenarse, procesarse y presentarse de forma transparente, eficiente y fácilmente interpretable. La noción de edificio inteligente requiere pues, la existencia de una tecnología capaz de proporcionar la infraestructura virtual para la computación de servicios que integra dispositivos de monitoreo, dispositivos de almacenamiento, herramientas de análisis, plataformas de visualización y entrega al usuario, conceptos y tecnologías, muy alejadas de la arquitectura y la ingeniería de la construcción.

Visión Orientada de un Ecosistemas IoT

El concepto de IoT implica la Integración de detección, almacenamiento, red, procesamiento y computación de objetos cotidianos (que no se pensaron como partes o procesos terminales de internet) para ponerlos en línea (a diferencia de los teléfonos inteligentes o portátiles). También implica la Integración de redes que incluyen los objetos accesibles a través de la red. Para este despliegue integrado se deben dar la convergencia de cinco grandes paradigmas:

1. Visión orientada a las cosas
2. Visión orientada a internet
3. Visión orientada a la semántica.
4. Visión orientada al ser humano, al que añadiremos una quinta,
5. Visión orientada al medio

Un sistema IoT conecta dispositivos heterogéneos en cualquier momento y en cualquier lugar a través de internet. Es decir, los sistemas IoT están diseñados para, en principio, dotar a cualquier objeto con la posibilidad de identificarse, detectar, conectar y procesar información, de modo que los objetos, en principio también estáticos e inertes, pueden intercambiar y compartir información entre sí a través de una red común (internet) con los que se pueden crear servicios, comandar, inventar nuevas aplicaciones o bien, conocer, controlar o prever.

Para nosotros, este es el concepto principal del despliegue IoT: la interconexión entre cosas, entre objetos que no están conectados. Pero más allá de estas cosas, objetos o dispositivos, lo que realmente se interconectan son los procesos que los han conformado, los procesos que realizan estas “cosas”.

Tanto el número ilimitado de interconexiones que se pueden dar lugar de esta manera, como las interconexiones entre procesos, nos puede proporcionar de un conocimiento más profundo de los sistemas complejos que subyacen en el comportamiento de los edificios, al mismo tiempo que nos proporciona la oportunidad de conocer de forma más detallada dinámicas de funcionamiento de los sistemas. Este conocimiento es en el que se debe basar la toma informada de decisiones autónomas, es decir, en la mayor información sobre el contexto específico en el que se despliegan los sistemas.

Para nosotros, la implicación mayor del despliegue de la tecnología IoT es que permite una inteligencia ambiental, en el sentido que podemos comprender el entorno específico a través de los objetos y proceso que ya están ahí, estableciendo interacciones significativas entre los humanos y no otros no humanos, entre el medio y los sistemas (ya sean automáticos o por personas) que toman decisiones.

En arquitectura, pero también otros muchos campos, se conciben los edificios y sus soluciones constructivas como si se tratase de dispensar recetas, que seguidas, darán el resultado adecuado. En realidad, lo que ocurre es que tanto nosotros como nuestros edificios estamos formados de procesos complejos. Compartimos los mismos principios fisiológicos y físicos, por lo que se producirán comportamientos y respuestas convergentes o similares. Sin embargo, no hay dos edificios iguales, dependiendo de una multiplicidad de factores, que puede hacer variar mucho su comportamiento de unos a otros. Dicho de otra manera, si diseñamos diez edificios distintos, sus respuestas pueden variar, aunque

podamos dar pautas y directrices generales, debemos disponer de información para entender la respuesta individual. Implementar sistemas IoT en todo tipo de edificios en situaciones diversas, nos permitirá confeccionar una serie de criterios (que en muchas ocasiones coincidirá con el acervo de conocimiento acumulado en la tradiciones vernáculas y la experiencia industrial) que pueden permitir a los diseñadores, gestores y usuarios, operar los edificios dentro de un rango más acotado que el actual estado del conocimiento, pero siempre capaces de individualizar los detalles de comportamiento de un edificio en un lugar concreto bajo circunstancias dinámicas y cambiantes.

Partes de un sistema IoT o IoT ecosystem

Desde la perspectiva de los usuarios un sistema IoT consta de cinco componentes principales que se suelen agrupar en tres capas, denominadas “percepción”, “red” y “aplicación”:

1. Dispositivos de sensores, terminales que forman la **capa de percepción** que recopila y detecta información del entorno, bien generando una señal electrónica a partir de una condición o evento físico, bien mediante un actuador, dispositivo que convierte una señal eléctrica en acción.
2. Redes de infraestructura eléctrica y telecomunicación, que forman **la capa de red**, que transporta los datos.
3. Y las dos capas que forman **la capa de aplicación**, que reciben la información y en la que interactúan los usuarios finales:
 - Nube o repositorio de datos y procesamiento de datos, con el análisis algorítmico de los datos (minería de datos).
 - Actuadores o interfaces de usuario para proporcionar servicios.

Técnicamente la capa de percepción utiliza tecnologías inalámbricas (WSN) de sensores que se conectan automáticamente a una red. Son sensores que pueden medir ciertas condiciones físicas del entorno a la vez que son reconfigurables y escalables de forma dinámica a través de la propia red. Básicamente el despliegue de la WSN en un edificio permite monitorear parámetros de energía, el comportamiento del medio y de los habitantes, y el estado ambiental (calidad del aire interior y salud ambiental).

Otra fuente de información son las cámaras de vídeo, sensores de alta contenido de información —y por lo tanto con alto y complicado consumo computacional para convertir la imagen en información—. Además, tenemos la identificación por radiofrecuencia RDID, que utiliza campos electromagnéticos para identificar y rastrear automáticamente la información con la que se etiquetan ciertos objetos (etiquetas pasivas y activas) que se podría utilizar en el mantenimiento y rastreo de uso de los componentes materiales de los edificios (tanto en su fase de construcción como operacional).

Table 1

Challenges in sensing technologies commonly used in the building industry.

Technologies	Challenges
Wearable devices	1) Feasibility; 2) Privacy
Simple binary sensors	1) Power consumption; 2) Security; 3) Interoperability
Video camera	1) Storage requirements, 2) Information extraction, and 3) Social challenges around privacy
Bluetooth low-energy-based sensors	1) Sensing range limitations; 2) Costly, particularly for existing buildings
RFID	1) Reliability, 2) Stability
Infrastructure mediated systems	1) Insufficient detail on the activities, 2) Lack of contextual data collection capabilities

Desde la óptica de los diseñadores IoT, **la capa de red** es el núcleo del sistema. Es responsable de procesar y transmitir los datos sin procesar obtenidos de la capa de percepción. Red se define como un mecanismo para comunicar una señal electrónica, de modo que son convertidos en información y datos. Como es bien conocido, la señal se puede comunicar mediante cables o redes inalámbricas. Las primeras se despliegan en edificios de nueva construcción para sistemas cruciales (sistemas de emergencia, climatización) y las segundas, de forma generalizada por su facilidad de información. Utilizan tecnología Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LTE... enlazadas mediante protocolos entre la transmisión de datos den la capa de red y el sistema de comunicación elegidos. Se basan en protocolos de comunicación como LoWPan, MQTT o CoAP. Dado que la compatibilidad entre las soluciones constructivas y la distribución de espacios interfiere o, mejor dicho, afecta a las señales inalámbricas, tanto el diseño y la elección de materiales como el despliegue de los receptores/transmisores, debe ser cuidadosamente pensada.

Integración

Como se ha apuntado, la distinta configuración en los sensores, los sistemas de comunicación y los protocolos de la información han dificultado enormemente la implementación de estos sistemas. Se está intentando desde distintos puntos de vista (ASHREA con BACnet o LonWorks de Echelon) solventar esta dificultad, pero se está lejos de su solución (bien con sistema cerrados como los de Siemens, bien semiabiertos como Google).

La capa de aplicación contiene los módulos funcionales del sistema IoT. Es tanto la interfaz del sistema como la capa capaz de proporcionar resultados de los análisis y la toma de decisiones basadas en datos. Puede dar cabida a:

1. **Inteligencia Aumentada:** aplicación sobre los datos proporcionados por los sensores de herramientas analíticas para mejorar la capacidad humana de describir, predecir y utilizar relaciones entre fenómenos y procesos. Es decir, es un enfoque en el que usamos la inteligencia artificial (IA), como ampliación de la inteligencia humana en lugar de reemplazarla, para tomar decisiones basadas en datos mediante técnicas bien conocidas:
 - Análisis predictivo y aprendizaje automático.
 - La computación en la nube.
 - Tecnologías cognitivas
 - Visión por computadora
 - Procesamiento del lenguaje natural (NLP)
 - Reconocimiento de voz

La inteligencia aumentada se centra en la colaboración entre humanos y máquinas para mejorar nuestras capacidades.

2. **Cognición aumentada:** se centra en la mejora de los procesos cognitivos humanos mediante la aplicación de técnicas de AI. Se utilizan algoritmos y sistemas de AI para mejorar la capacidad de percepción, razonamiento, memoria, toma de decisiones y otras funciones cognitivas humanas.
 - a. Por ejemplo, se pueden utilizar sistemas de AI para analizar grandes cantidades de datos (Big Data) para proporcionar información válida para nosotros de manera más rápida y eficiente de lo que hubiéramos podido hacerlo sin estas técnicas.
 - b. Computación en nube o cloud computing
 - c. Tecnología cognitivas o Cognitive technologies.

La capa de aplicación se complejizará a medida que se aumenta el número de sensores de diferentes fabricantes y características en el edificio y su entorno. Esta capa tendrá que recopilar y procesar una gran cantidad de datos, que deben transmitirse, almacenarse y analizarse en un breve periodo de tiempo de forma estandarizada. Para ello, se requiere su clasificación en distintos tipos de datos, como los relativos a los parámetros ambientales, el uso de la energía, la información de los ocupantes. Cuando estos datos estén disponibles a escala urbana, la capa de aplicación crecerá exponencialmente.

Otro aspecto fundamental de la capa de aplicación es que no solo crecen el número de datos de distinta naturaleza que proporcionan distintos tipos de sensores. Una vez procesada la información esta debe comandar acciones y/o visualizarse, por lo que desde una perspectiva de interoperatividad tecnológica, se tendrán que integrar muchos actuadores y dispositivos también de diferentes fabricantes y características. Esto requiere un complejo proceso de integración para un control y gestión automatizada de edificios (Jia et al., 2019).

En el entorno de edificios inteligente, podemos identificar varios objetivos principales:

1. Localizar e identificar servicios, cosas o personas.
Identificar y cuantificar flujos de personas y vehículos, materiales (en procesos de construcción), de dispositivos (geolocalización), de inmuebles y objetos. Planificación y organización.
2. La eficiencia energética y su control económico.
Optimización de los sistemas de climatización y de producción renovable, el uso y distribución de energía, manteniendo un nivel adecuado del servicio. Ahorro económico y de energía.
3. Mantenimiento
Mantenimiento predictivo y preventivo de las instalaciones del edificio. Establecer comunicación entre equipos. Detectar fugas y malfuncionamientos. Gestión de operaciones.
4. Confort interior y calidad del aire interior.
Garantizar temperaturas dentro de la normativa o rango de comodidad térmica. Garantizar el comportamiento higrotérmico de acuerdo con el comportamiento de los habitantes del edificio (tanto desde el punto de vista de la salud, comodidad o productividad).
5. Control de emisiones y afección al medio.

Emisiones del edificio de gases y compuestos contaminantes, ciclo de vida del edificio, caudales de agua y riego, vertidos de saneamiento y otras sustancias.

En resumen, se trata de conocer en profundidad el comportamiento de los ocupantes de un edificio y del propio comportamiento de la edificación en respuesta a ese uso.

BLOQUE 04. HABITAR SALVAJE

Un habitar salvaje

Habitar

Los edificios son la forma en la que los humanos estamos CON el mundo. No son un medio, ni una herramienta, ni un objeto. Son, directamente un “nosotros” mismos. Por eso pasamos tanto tiempo en ellos. No hay hormiga sin hormiguero, termita sin termitero, abeja sin colmena. No existe humano sin edificio. Se ha intentado, pero no se logra, no por una razón de comodidad, bienestar o confort, sino porque son parte de nosotros: una extensión. Es decir, los edificios son el sistema que hemos construido para procesar mejor la energía y adaptarnos al medio en el que vivimos.

La implementación de dispositivos IoT y la aplicación de técnicas IA nos permite construir una etología sobre el habitar. Pero no basta. Debemos ser conscientes que para la observación del sistema construido debemos establecer límites, intercambios y fines. Si los objetivos son sólo el control y la automatización, la eficiencia y el ahorro energético sistema, entonces seguimos en la misma lógica extractiva y de producción, que no corresponden con los nuevos compuestos, con las nuevas especies que se derivan de los cambios que la teoría de la complejidad, el pensamiento simbiótico y el cambio climático. En definitiva, la etología que se deriva de medir, sin hibridar con estas perspectivas y cambios de paradigma, no producirá una nueva etología. En términos de Deleuze, nuevos devenires. En las de Haraway, monstruos. Se propone una etología del habitar salvaje como un cambio fundamental de la relación entre arquitectura, comportamiento humano en un medio.

De lo salvaje

Utilizamos la palabra *salvaje* para distinguir aquellos comportamientos o parte de la naturaleza que se encuentra en un estado anterior a la civilización (Casado de Rocha, 2004). También para identificar un lugar o un entorno en el que no tiene presencia el ser humano civilizado, que está alejado de su influencia. A su vez, “salvaje” también establece una dicotomía entre un cierto estado y otro, que autodenominamos, civilizado. Esta dicotomía se extendió hasta aplicarse para diferenciarse entre las culturas “salvajes” de las auto consideradas “civilizadas”. Es decir, urbanas, cívicas, blancas y occidentales.

Salvaje forma parte de una escisión más profunda, la construcción cultural que distingue entre lo natural y lo artificial, lo realizado por el ser humano de lo que no. Lo salvaje frente a lo civilizado, también expresa un mundo dominado por un conjunto de limitaciones frente a contextos de *libertad* dentro de los cuales se desarrolla nuestra vida.

“Salvaje” es también entendido como aquellos lugares en los que nuestro habitar se ve cualitativamente más limitado. Significa literalmente *los bosques que han crecido sin nuestra intervención*. Es aplicable, por ende, a todos los animales no domesticados o

dentro de las especies domesticadas, los que no viven bajo nuestro dominio y control. Esta acepción se ha extrapolado a todo lo que es o actúa violentamente, al margen de las reglas de lo civilizado, sin su control. El término “salvaje”, nos permite situar en un determinado tiempo cronológico un proceso de cambio. Situarlo con respecto a una cierta medida de lo que hemos denominado progreso: lo salvaje es lo que no se ha visto afectado por nuestras reglas, y lo civilizado, aquello que sigue *nuestras* leyes. Está “atrás” en términos de progreso. Hay más connotaciones del término: para los “amantes” de la naturaleza, lo salvaje está relacionado con la nostalgia de un pasado¹²² (ilusorio), tratando de conservarlo en el estado en el que la descubren (Leopold, 2019). Este conservar y disfrutar suele implicar un proceso de posesión, invasión, delimitación y apropiación: una expropiación y una normalización normativa, atributos básicos de lo civilizado.

Esta dicotomía entre lo salvaje y lo civilizado encubre que los procesos de la vida son irreversibles. En términos históricos, implica que no se puede volver atrás, que los procesos biológicos no se pueden congelar, retornando a cierto estado “salvaje”. Civilizado enmascara que no es posible obviar la carga genética que somos. El habitar occidental, que a su vez define y concreta qué es ser civilizado, está asentado sobre la creencia de que somos en gran parte libres de nuestra biología. Sobre que somos fundamentalmente diferentes de otras formas de vida. Esta idea —absurda pero comprensible—, ha hecho posible el actual grado de devastación ecológica. Nos ha hecho pensar que podemos hacer lo que queramos a esta Tierra, crear nuestro mundo a nuestra solitaria conveniencia. Acceder de forma inmediata a nuestros deseos o gustos, evitando todo sufrimiento, todo infort, todo esfuerzo. Sin embargo, nuestra carga genética, implica que los humanos somos sensibles a las estaciones, a los cambios, a las temperaturas, a los ambientes cerrados, a la ausencia de luz, a la ausencia de horizonte, de vida vegetal y de vida. La dicotomía, se materializó al fin en la arquitectura, de manera que podemos habitar en cualquier parte: la propia arquitectura define lo civilizado; nuestra tecnología habilita la posibilidad de vivir en lo “salvaje”.

La historia de la arquitectura relaboró y amplificó esta dicotomía: fijaron los orígenes del habitar humano en escondidas en cuevas o, por el contrario, el “buen salvaje”, hombre solitario en completa armonía con el medio. Pero la arqueología nos muestra que las arquitecturas arcaicas son construcciones cómodas hechas con los materiales disponibles, integradas en el medio, como una especie entre muchas otras. Un habitar sin seres temerosos de su entorno (refugiados), escondidos en grutas o idílicamente aisladas en cerros de altas montañas. En este sentido, de forma muy general, podemos establecer que la escisión entre un habitar *en* el medio y *un* habitar civilizado comenzó con la agricultura. Cultivar implica la transformación de un terreno fijo, una de-limitación —poner restricciones, señalar los límites de un lugar—, acotar, en definitiva, una separación. A su vez, también alteró el sentido del tiempo, creando una perspectiva limitada sobre el futuro al priorizar unas plantas resistentes de crecimiento rápido y vida corta en ciclos

¹²² Según Paul Shepard, la misma idea de la historia es en sí, una invención occidental que consiste en el “rechazo del hábitat”, en el sentido de que la historia formula su experiencia fuera del entorno, del ambiente, concediendo el papel de “mero” decorado al lugar en el que se desarrolla la acción (Shepard, 1996). Como en la historiografía de la arquitectura, se concibe la historia en términos de biografía y naciones, de movimientos y estilos, de composición y ornamentos, de héroes y genios, más que en cómo el medio, nuestras genéticas, la cultura ha producido un habitar en un determinado lugar. La profusión de los medios visuales, primero la escritura, después los grabados, planos, alcanza el predominio de la imagen abstracta sin ninguna relación con el medio con la fotografía acelerada por internet.

temporales. Implicó incorporar el suelo como propiedad creando un flujo unidireccional extractivo del medio¹²³. El ser humano, obtiene, pero no da. Es decir, con trabajo, cada campo, es extraído de la “naturaleza”, creado y fertilizado, introduciendo el monocultivo en lugar de la diversidad. La agricultura conlleva una lucha constante contra el resto de las especies para proteger lo sembrado. La delimitación es también una escisión que deformó la fauna, simplificó la biota, reemplazando poco a poco un entorno de diversidad “salvaje”, con millones de años de madurez evolutiva, rica y misteriosa, lleno de elaboradas redes de vida, por otro controlable y previsible: más simple. Estos procesos llevaron a idear la naturaleza, el medio en el que tiene lugar el habitar humano, como inferior y enemiga de nuestros intereses “civilizados”. Extendió la idea de que los humanos deben (y pueden) controlarla, ya sea por necesidad o por designio divino. Conllevó la idea de regular el cuerpo propio, las plagas, los depredadores, las plantas, los animales, los microclimas. Es en palabras de Shepard, “una intoxicación de poder”, de destrucción de los competidores, de entender “lo salvaje” como adversario, como enemigo, antagonista de lo humano y contrario a su evolución-progreso. Todo lo *no humano* o que no está a su servicio ocupa *su* espacio, retrae *sus* recursos, desde la luz solar, absorbe *su* agua, detrae el alimento de *sus* cultivos, o son depredadores de *nuestra* fauna domesticada. Justificamos esta dicotomía auto explicándonos que nuestro cerebro es tanto una maravilla evolutiva muy superior al resto de los seres vivos, elegido por dioses o dios para servirnos del planeta, como con que somos una excepción de la biología o que todo en los procesos de la vida implica competición, por lo que nos permitimos desplazar y exterminar otras especies.

Sin embargo, ni siquiera el urbanita más “arraigado”, puede evitar el sentido espontáneo de conexión con la vida no humana, que nos hace sentir a veces con claridad que la Tierra es nuestra casa, “*the only word we’ve got*” y no puede evitar sentir que la conexión con la Tierra no te hace bárbaro. O, dicho de otra manera, que la civilización, a su vez, es también una forma de barbarie. Máxime si entendemos civilización como domesticación o control de una red compleja, la vida, que estamos lejos de comprender.

“Modern life conceals our inherent need for diverse, wild, natural communities, but it does not alter that need. Evidence for this deprivation is so omnipresent that we cannot see it directly, since much of it is expressed as psychic stress and social disorder. Masking the effects of deviating from the world to which we are adapted is the universal act of modern denial” (Shepard, 1998, p. 134)

Restricciones.

La combinación entre la ciencia y la técnica ha elevado nuestra capacidad de adaptación hasta ser capaces de modificar el planeta, de tal manera, que no es posible que a corto plazo, no sea habitable para nuestra especie. Hemos pensado e imaginado esta adaptabilidad como ilimitada. Lo ilimitado está tan asentado que, pese a las evidencias del cambio climático, de la destrucción del entorno, de la merma de la biodiversidad, del estrés, de las guerras, del desasosiego, de la disociación cuerpo-alma, la idea de limitación no es bien aceptada. Las restricciones no son bienvenidas por la *cultura de lo ilimitado* ya

¹²³ Chief Seattle's Letter: “The President in Washington sends word that he wishes to buy our land. But how can you buy or sell the sky? the land? The idea is strange to us. If we do not own the freshness of the air and the sparkle of the water, how can you buy them?”, Diciembre de 1854

que nuestra cultura se basa en parte, en sostener la creencia de la posibilidad de elección permanente e indefinida. Así, vivimos en la idea de que un habitar en cualquier sitio, desconectado del medio, no supone ningún problema. Las sociedades occidentales basadas en la ideología de lo ilimitado no asumen fácilmente que las restricciones y constricciones forman parte del patrimonio biológico universal, ya sean energéticas o de habitar.

A su vez la construcción de una individualidad sólida lleva aparejada una obsesión por crearse y definirse así mismo mediante la construcción de cuantos más límites identitarios con los que reforzar un yo sólido. Es decir, frente a la evidencia biológica de que somos parte de una red, de un tejido vivo, en el que nuestros bordes son difusos, en la que cuentan más las conexiones que los agentes individuales, la autodefinición del yo tratando de aislar individuos. Esta individualización se apoya en la idea de que el exterior es ilimitado o, dicho de otra manera, todo está a disposición. En un yo individual que puede ser cualquier cosa —si se esfuerza—, está también implícita la idea de que se puede habitar cualquier lugar.

La construcción de la identidad lleva implícita la idea de que nuestro habitar es posible en cualquier sitio. Esta individualidad extrema, reforzada por la teoría freudiana del yo, incide en un control del deseo, en la represión, en el bloqueo de todo nuestro ser “animal”. Este bloqueo de lo “irracional”, trata de evitar los flujos que podrían dispararse si se nos conecta con el medio, propone en el fondo, un punto de vista hacia uno mismo. Si el yo pertenece a la esfera del interior, el exterior puede **ser conquistado** tanto como puede ser prescindible. Así, si la verdadera casa —*dominus ego*—, si nuestro residir es humano—civilizado, si el habitar es interno, la arquitectura es prescindible. A su vez si la ciencia puede subyugar mediante el conocimiento objetivo todo lo que está fuera “de”, no hay espacio (también físico) para la otredad, menos si esos otros, son no humanos. ¿A caso no lo es ya? ¿A caso no podemos vivir en un centro sin árboles, en una galería de pisos más propia de abejas y termitas (pero sin la eficiencia de sus sistemas de ventilación y control térmico)? ¿A caso no se puede vivir rodeado de estímulos sensoriales urbanos, ambiente “artificial” sin saber nada de los demás? ¿A caso no podemos vivir con los únicos ruidos de artefactos humanos? ¿De toda ausencia de toda biota que no sean unos pocos roedores e insectos (que hay que eliminar)? ¿A caso, durante toda la arquitectura del s. XX no se ha tratado más que de aislar y separar, de regular y controlar? ¿No hemos querido concentrar todo nuestro “habitar” en dormitorios confortables e higiénicamente separados, en los que el inodoro, la ducha, la televisión y el frigorífico son el centro habitacional? ¿A caso no hemos podido concebir la ciudad con un canal de movilidad ilimitada? ¿A caso nuestro habitar virtual, nuestra querencia por el entretenimiento de móviles y tabletas no nos prepara para una separación más extrema, de una escisión incluso ahora, con este habitar domesticado? En este sentido, la obsesión por viajar, por la arquitectura de las ciudades, ¿no es acaso convertir todo pasado en estética congelada para un turismo cazador de experiencias? El cielo es tan solo un medio por el que moverse, un vector cuasi instantáneo de provisión de recuerdos. El medio natural, un escenario de nuestras fotografías. El ser humano cree, impulsado por la ilusión de la energía ilimitada y por la afección sin consecuencia, que puede vivir de abstracciones con las que la cultura ha construido un concepto de naturaleza de la contemplación.

El problema radical del ser humano hoy es que es muy cuestionable que pueda habitar sin estar en contacto con las fuerzas naturales que han conformado su naturaleza biológica. Dicho de otra manera, mientras profundizamos en el aislamiento del yo, somos

literalmente parte una red de organismos que nos mantienen con vida en el único medio en el que podemos vivir, la Tierra.

Este modo abstracto de habitar es consecuencia directa de creer que nuestras leyes corresponden con las de naturaleza, para que una vez conocidas (descubiertas), dominarla. Engendran ideas tan absurdas como la de ir al espacio aislados de nuestra biota. Tan absurdas como la posibilidad de modelar y controlar este planeta a nuestra imagen para nosotros. Tan absurda como entender que este lugar, es solo un lugar indefinido que cuando se termine, nos iremos a otro. En definitiva, que la realidad, incluida el habitar, puede ser domesticada, medida e interiorizada siempre en relación con uno mismo. Esta mirada termina inevitablemente virando hacia la estética, el reflejo, la opinión. Para un habitar en la cárcel del ego, sin conexión con el medio, la arquitectura solo puede responder entonces, desde la estética, el reflejo, la opinión. En una ética, así, toda la vida salvaje es “recreación”, “contemplación” para nuestra mirada, en un placer, en un deleite propio, pero nunca una inmersión. El medio es así, un fondo para “selfies” a disposición.

Nuestro ser animal, “salvaje”, no es un complemento de la Alta Cultura si no el molde social y ecológico de nuestra especie, nuestra base existencial, configurada a través del estrecho contacto con multiplicidad de componentes ambientales que dieron lugar a nuestros genes. El concepto de naturaleza incluye de facto, procesos iterativos de formación de un entorno humano óptimo a lo largo de millones de años. Del mismo modo, los mecanismos de formación de los procesos genéticos también implican una inadaptación de nuestro genoma a los entornos contemporáneos. Entender el habitar de esta forma, incluyendo nuestra carga genética, nos permitiría alejarnos de una visión dualista y dialéctica de naturaleza como enemigo, del entorno natural como algo a domesticar, a controlar. Se quiera o no se quiera, nuestro habitar está íntimamente conectado con el ser homínidos con gran capacidad de adaptación a una vida omnívora, en los bordes de bosques y llanuras, a cotas bajas, en climas suaves y cerca de flujos de agua que se ha extendido con su capacidad técnica para habitar todo el planeta. Esta capacidad nos ha conducido a construir cosmologías que nos llevan hacia el control centralizado y la propiedad total, pero también la extensión del concepto de domesticado, incluyendo, por supuesto, el modo de habitar. Así, arquitecturas como palacios, monasterios y viviendas, a los que la Alta Cultura considera, “sublimes”, tienen más en común con el concepto de “corral”, es decir, con dispositivos de regulación-separación de procesos de alimentación, habitación, ejercicio, trabajo y estudio, que con un habitar de un ser vivo en un lugar con una especificidad, parte de una red de relaciones¹²⁴. La idea de un “habitar-corral” se extiende a concebir la biota como zoológico, el entorno ambiental como una imagen exaltada y hermosa, como un paisaje precioso y exótico, o como un proveedor de recursos.

Un habitar salvaje, no se opone a un habitar civilizado. Salvaje no es la desregulación o el caos, salvaje no es una jauría, ni un lugar peligroso. Salvaje conceptualiza lo no domesticado, es decir, lo contrario de salvaje no es civilizado, sino domesticado. Salvaje se opone al concepto de control. No se opone a toda cultura, sino que subraya la incongruencia de toda idea que oculte nuestras limitaciones bajo la máscara del exceso, de la comodidad y del entretenimiento, ya sea físico o en una realidad virtual. Salvaje

¹²⁴ Un monasterio cartujo se impone sobre un lugar, casi con independencia total del entorno. Los monasterios cartujos, son el modelo arquitectónico y vital, que sirvieron a uno de los adalides del Movimiento Moderno, Le Corbusier, como modelo universal de habitar humano.

implica una renuncia implícita de la idea de lo ilimitado. De la misma manera, habitar salvajemente significa renunciar a la idea del control con el objetivo de una eficiencia máxima, de la optimización de la vida. El habitar salvaje denuncia todo habitar domesticado. “Corral” no es más que un paliativo “cómodo” que oculta una degeneración intelectual: negar la pertenencia al medio, hacerlo propiedad, imponerse. Olvidando lo más esencial: que es nuestra propia casa¹²⁵. Un habitar salvaje, se fundamenta en intensificar las relaciones, en construir conexiones, aún a costa de la “pérdida” de control, de la “pérdida” de comodidad, de eficiencia, de energía. Significa poner en duda tanto tus límites como los de las construcciones. Un habitar salvaje es el que no renuncia a la permeabilidad. Es el que construye tanto para sí como para otros, siendo esos otros un concepto lo más amplio posible. Habitar salvajemente es ser radicalmente racional al aceptar la carga biogenética, pertenecer al medio, ser un modo de existencia de la vida, de construir una arquitectura que es parte a su vez, de la biosfera. Significa aceptar de forma radicalmente lógica que afectas y eres afectado. Habitar salvajemente es, en definitiva, conocer tanto tus limitaciones, necesariamente difusas (rizomáticas), como las de la sociedad (tecnoesfera), y finalmente, las del planeta (biosfera).

En un habitar salvaje, la preocupación por la pérdida de biodiversidad no es altruismo, ética o caridad. Así propuesta, en cierta manera también toma distancia con experiencias de lo salvaje como las de John Muir o de Thoreau. El habitar salvaje trata de separarse de perspectivas estéticas, pintorescas o paisajísticas, y aunque no siempre lo consigue no son su objetivo fundamental. Lo que nos interesa son las conexiones que forman los “componentes” de la vida, no la imagen que proyecta hacia nosotros que, a su vez, es siempre una mirada cultural (N. Cano-Suñén, 2013). El habitar salvaje comprende que la tierra no es un recurso, ni un escenario para la contemplación, como si de un museo se tratara. Y aún menos, para la producción de recuerdos digitales.

Vivir salvajemente quiere evitar el mismo problema que neutralizó la operatividad del arte, donde todo desarrollo pasa a estar filtrado por la interpretación del crítico, de aquel que con palabras producidas en la Alta Cultura *inventa* descripciones, puntos de vista elevados y “cultos”. Vivir salvajemente es situarse fuera de posiciones que debilitan el sentido de participación y pertenencia, ocultando que somos un conjunto de relaciones con un medio dado. En este sentido la construcción de los sistemas de perspectiva arquitectónica aplicadas a las técnicas pictóricas (León Battista Alberti, De Pintura, De Arquitectura) produjeron la apariencia de estar fuera de la naturaleza, para enmarcar los objetos retratados, eliminando al observador (McLuhan & Parker, 1968). Esta perspectiva dota de

¹²⁵ Tanto en francés, inglés, español o italiano, la palabra casa no proviene etimológicamente de la palabra que los romanos utilizaban, *domus*. La casa en castellano e italiano, provienen de la misma palabra “casa” que ya existía en latín, pero con el significado de “choza” o “cabaña”. El término “casa” puede referirse a la término hebreo *Kase*, tejer o cubrir, en referencia al sistema constructivo de las primeras construcciones. El Diccionario de la Real Academia (1729), casa tenía como definición “*el edificio hecho para habitar en él, y estar defendidos de las inclemencias del tiempo, que consta de paredes, techos y tejados, y tiene sus divisiones, salas y apartamientos para comodidad de los moradores*”. En Francia *maison* también proviene del latín, masio, mánus, que hace referencia al hecho de permanecer, estar, quedarse, morar, habitar, hogar. En suma, pararse o detenerse. House en inglés hace referencia al sustantivo germánico Hus, haus, vivienda, refugio, residencia, incluso templo en sentido “dios-casa”. Como “casa”, desde la alta edad media, hace referencia también a la familia, incluido ancestros y descendientes, especialmente entre la nobleza. Sin embargo *domus*, denominación de la casa romana, son las viviendas familiares y hace referencia al cabeza de familia, *dominus*: propietario, señor, dueño. Es decir, el poder que tiene uno sobre sus propiedades, tanto sobre personas como bienes: domino. El *dominus*, siempre era un hombre y domina, su mujer.

un punto de vista neutro desde el que se establece una potente técnica con la que podemos “ver” el paisaje, la naturaleza, la arquitectura como si desde un agujero en la pared fuese. Desde “un afuera”, desde una posición retirada, por lo tanto, segura, no implicada. Hace posible viajar para “ver” arquitecturas sin habitarlas; jardinerías para controlar trozos de naturaleza; paisajismos para construcción de islas “naturales” en entornos urbanos (parques). Documentales en pantallas para acercarnos a la vida animal salvaje en peligro (de nosotros) sin el peligro de estar ahí, sin ser olidos, sin ser detectados. Del mismo modo, escrituras medioambientales transmitidas por máquinas de abstracción (libros), poesía metafísica, artes del paisaje, no dejan de distanciar. Lo salvaje queda así reducido, acotado, a un registro artístico, a otras técnicas. Disecado. Entrar en la naturaleza o en la arquitectura como un recorrer una imagen o como si fuera un juego estético de símbolos, o metáforas, termina inexorablemente en el juego del gusto, en un crítico-*cultural* que nos indica lo que está bien o mal. Desemboca en una perspectiva visual o estrictamente mental. En una perspectiva que es capaz de aislar un punto de vista, un instante en el tiempo y no una multiplicidad de relaciones físicas con el medio (Florenski, 2005). Es decir, de desplegar un proceso de domesticación sobre lo real. Esta domesticación también conlleva construir arquitecturas reconocibles desde una cierta cultura —*menso* arquitectónica—, o de una cierta religión homogeneizadora. El reconocimiento de una arquitectura —ya sea de un creador— o de un estilo, muestra su “portabilidad” y, por lo tanto, su desconexión inherente con el medio en el que está construida en un tiempo y lugar único. En definitiva, haber olvidado que la naturaleza no existe para nuestro regocijo estético.

Holobiontes

Un habitar salvaje implica una arquitectura salvaje. Es decir, una arquitectura “producida” por un lugar, un sitio, un terreno, un territorio, un ecosistema, un ambiente, un entorno, para un determinado habitar, a su vez, salvaje. Es decir, una retroalimentación en el que el lugar afecta al habitar, y el habitar al lugar, de manera que una arquitectura es este proceso ilimitado, materializado. Una arquitectura salvaje no es trasladable a otro lugar, menos, mediante una imagen. Tampoco es extrapolable. No es una experiencia sensorial, puesto que no es reproducible fuera de las conexiones que se dan en ese lugar. Tampoco es una abstracción, que queda a la subjetividad y derivada de un grupo de expertos que nos explican lo que deberíamos estar viendo, que han construido, inventado y transmiten a través de la jerga y del lenguaje disciplinar especializado para tal efecto. En la imagen, la experiencia y la abstracción se asientan procesos culturales que han sustentado intelectualmente la disociación (también el poder de algunos estados, críticos y unos pocos arquitectos) convirtiendo los acontecimientos en figuras estáticas al mismo tiempo que acrecientan nuestro surrealismo, desconexión, extrañamiento y escisión del medio. Una arquitectura salvaje es la que evita, pero denuncia estos procesos esquizofrénicos de desconexión: ese *no distinguir* entre realidad y fantasía; entre la imagen y el estar; esa teoría arquitectónica que mezcla la vida con la composición; la esquizofrenia del urbanita, con su olvido de su realidad biológica (modo más termita-hormiga con extensiones técnicas que humano); la de la élite-académica¹²⁶, que lejos de tratar la disociación (o asumirla), la

¹²⁶ En este último sentido, muchas manifestaciones artísticas, incluida la arquitectura, se propusieron simular y representar la naturaleza, en términos de controlar nuestra parte salvaje. Danzas de apolíneas

alimenta como criterio moral. En este sentido la domesticación de lo salvaje, la estética y la teoría arquitectónica han sido construido junto con aspectos fundamentales de la arquitectura-corral contemporánea, estableciendo dicotomías fundamentales: dentro/fuera, aislado/conectado, proceso/forma, salubre/insalubre, feo/bello, materialismo/metafísica, construcción/arquitectura, materia/significado.

El habitar salvaje que da lugar a la arquitectura se construye desde el punto de vista de la biología humana: somos holobiontes, es decir, organismos formados por una comunidad de otros organismos. Hasta tal punto que los humanos¹²⁷ estamos formados por más seres con los que no compartimos el ADN “propio” (Theis et al., 2016). Su interacción simbiótica es un proceso complejo cuya resultante emergente es la propia vida. Encontramos interacciones intensas tanto con la biota interior como la exterior, tanto con animales como con plantas mediante microorganismos simbióticos que rompen los límites que hasta ahora han caracterizado al individuo tal y como proponen Gilbert et al. (Gilbert et al., 2012a). Son relaciones tanto macroscópicas como microscópicas (Gilbert et al., 2012b). Son tanto relaciones entre nuestros hábitats corporales “internos” como con los externos. Es decir, las interconexiones de “nuestras” células con hongos, microbios y bacterias se desarrollan tanto *en* nuestros hábitats corporales “internos”, como tanto *en* hábitats externos, variando fuertemente de un individuo a otro (Huttenhower et al., 2012), de una localización a otra.

versus dionisiacas, espacios lisos vs estriados, aparatos de captura o máquinas de guerra, todo arte puede proponer lo salvaje, pero también puede ser controlado, domesticado. En el mismo proceso de creación e incorporación de lo salvaje, también artistas y sus mecenas crearon un nuevo lenguaje mediante el cual se valoraban las propiedades intrínsecas de su trabajo, el virtuosismo de sus creadores, haciendo posible que características abstractas de color, forma, movimiento, simetría y línea, se hicieran realidad. Separados del medio, arquitecturas en fotografías y grabados, quedan en pura estética: composición formal para contemplación visual. Es la diferencia entre un arte que es capaz de profundizar en el contenido y estructura de las conexiones de la vida y una mera recolección y organización de obras. Así, el arte es susceptible de ser capturado, de quedar encerrado en edificios-museo, en las que enmarcadas, separadas y criticadas, son ambientalmente inoperativas para nuestra nuestro habitar salvaje (conectado). Pero el proceso no para ahí. el arte, ‘la arquitectura ha derivado hasta la propia simulación de la propia abstracción. Ya sin contenido, la pintura pasa a ser reflejo de la pintura misma; la arquitectura, reflejo de la arquitectura misma: tautologías realimentadas por los lenguajes. Remiten incansablemente a un ámbito transcendente y disciplinal. Meras comparaciones de estilos con otros estilos, meras palabras que comentan otras palabras, todo puede ser tomado como signo. Hasta la nada de la nada: un render, arquitectura; un dibujo, arquitectura; un croquis, arquitectura; un discurso, arquitectura (mientras sea disciplinar y abalado por un crítico-académico). Cualquier lugar puede albergar cualquier edificio. Todo puede ser módulos lunares autosuficientes aislables. La naturaleza y, por ende, también la arquitectura, ha quedada confinada a una experiencia estética por un lado (capturada por mecenas ricos o estados opulentos). Por otro, al funcionamiento invisible e ingenieril de sus mecanismos ambientales, higiénicos y de control. Los edificios “singulares”, antes muestras de poder, son ahora atracción en el nuevo parque de atracciones global en el que el turismo, ha convertido el planeta en estelas contaminantes a 10.000 m.

¹²⁷ Los humanos son holobiontes compuestos por un huésped y billones de microorganismos cuyo funcionamiento colectivo mantiene vivo al conjunto. En el núcleo de cada organismo está su genoma. El genoma en el núcleo de las células humanas está hecho de ADN lineal de doble cadena empaquetado en 23 pares de cromosomas en cada uno de los ~ 37 billones de células humanas en un cuerpo. El genoma humano tiene ~ 60 000 genes, ~ 20 000 de ellos codifican proteínas. Cada célula humana también contiene una o varias mitocondrias, y cada mitocondria tiene un número variable de ADN circular. Hay ~ 39 billones de microorganismos en el cuerpo humano (microbiota), cada uno con su propio genoma único. Estos incluyen bacterias y arqueas con genomas de ADN circulares y virus que tienen genomas de ADN o ARN en formas lineales o circulares. El microbioma se refiere a los genomas colectivos de la microbiota en su entorno ecológico, La composición genética del microbioma humano es muy diversa (Pasolli et al., 2019). Solo el microbioma intestinal tiene aproximadamente 22 millones de genes no redundantes (Payami, 2022)

El término "holobionte" fue introducido por Lynn Margulis y James F. Taylor en un artículo titulado "The Holobiont as a Unit of Evolutionary and Ecological Study" publicado en la revista "Bioscience" en 1991, como un desarrollo de la teoría endosimbiótica que explica cómo las células eucariotas evolucionaron a partir de la simbiosis entre diferentes tipos de células procariotas. Margulis contó con Taylor, ecólogo experto en la dinámica de los ecosistemas y la interacción entre los organismos que los habitan para definir su propuesta, a la que considera a los organismos y sus simbioses como unidades evolutivas y ecológicas interdependientes. Es decir, que la comprensión de la relación compleja entre estas unidades es fundamental para entender la complejidad de la vida en la Tierra. Es un término que se utiliza para describir organismos integrados o compuestos en otros organismos (Rosenberg et al., 2007). De esta manera, nuestro habitar salvaje parte del concepto de holobionte, lo que comprende que, para el éxito de las partes involucradas en las interacciones entre el huésped y toda su población de simbioses, deben maximizarse las posibilidades de interrelación. A su vez, el habitar salvaje también comprende que el concepto de holobionte (Stengers, 2013) explora la necesidad de pensar de manera más holística (ecológica) acerca de la relación entre los seres humanos y el medio ambiente en un momento de crisis ecológica. En particular, Stengers usa el concepto de holobionte para describir cómo los humanos son organismos complejos que dependen de una variedad de microorganismos para su supervivencia y bienestar, y cómo nuestras interacciones con el medio ambiente están en constante evolución y cambio. Es decir, considerar los seres humanos como holobiontes, implica que dependemos por completo de la interacción entre nuestros genes y los microorganismos que habitan nuestro cuerpo (en esta interacción reside la clave de nuestro sistema inmunológico y digestivo), así como también de las relaciones con el exterior. Los humanos somos holobiontes porque nuestro cuerpo es el resultado de la interacción entre los genes humanos y los microorganismos que nos habitan. Esto implica que los organismos estamos compuestos por múltiples entidades simbióticas que evolucionan y se desarrollan juntas como una unidad. Este enfoque tiene importantes consecuencias no solo para nuestra consideración como individuos y nuestro papel jerárquico en la escala evolutiva, sino también para el concepto de habitar. En el libro *"Symbiotic Planet: A New Look at Evolution"* (1998), Lynn Margulis argumentó que el concepto de holobionte nos obliga a repensar nuestra relación con el medio ambiente, ya que los seres humanos no somos "dueños" de la Tierra, sino que somos una parte integral de un sistema simbiótico más grande, que incluye no solo a otros seres humanos, sino también a otros organismos vivos y a los elementos no vivos del ecosistema. Habitar salvajemente, hacer arquitectura para este habitar humano, implica que, desde esta perspectiva, somos una parte más de un sistema simbiótico más grande en la Tierra, poniendo el énfasis en la relación entre la evolución simbiótica y la importancia de la diversidad biológica en la Tierra.

El habitar salvaje implica repensar las metáforas jerárquicas como la del árbol de la vida, romper con la idea de que la evolución es simple y lineal (Andersson, 2011) sino que es más bien una compleja red de interacciones entre organismos que se desarrollan en contextos ecológicos específicos. También implica poner el énfasis en la importancia de la simbiosis y la transferencia horizontal de genes en la evolución, lo que desafía la idea tradicional de que la evolución se produce solo a través de la selección natural, la mutación, la herencia y la competencia, idea que se ha transferido también a la evolución arquitectónica. Tanto en la vida, como en el construir, esta aproximación nos permite afirmar que la evolución es mucho más compleja de lo que se ha entendido tradicionalmente, y así construir nuevas

formas de pensar tanto sobre la diversidad y la historia de la vida en la Tierra, como formas de pensar sobre la diversidad y la historia de la arquitectura, y no tan solo desde el concepto de competitividad, autoría, jerarquía.

Es decir, la competitividad y la simbiosis son dos estrategias evolutivas que pueden coexistir y complementarse en la evolución de los organismos. La teoría de la evolución de Darwin se basa en la idea de que los organismos compiten por recursos limitados en el medio ambiente, y aquellos que son más aptos para sobrevivir y reproducirse tienen más probabilidades de transmitir sus genes a la siguiente generación. La selección natural actúa sobre las características que confieren una ventaja competitiva en este proceso. La simbiosis, sin embargo, destaca la importancia de las interacciones cooperativas, como el mutualismo y el comensalismo, que pueden beneficiar a todas las partes involucradas, explicando la diversidad, resiliencia y estabilidad de los ecosistemas. La simbiosis explica cómo las especies pueden evolucionar conjuntamente, desarrollando adaptaciones que mejoran la supervivencia y expansión.

En una arquitectura que se redefina desde el habitar salvaje, se establecería que la simbiosis es una estrategia evolutiva que implica la colaboración y la interdependencia entre diferentes especies. La simbiosis puede ser beneficiosa para las especies involucradas, y puede dar lugar a la aparición de nuevas funciones biológicas y una mayor diversidad biológica. Durante cualquier planteamiento arquitectónico pensar en cómo van a fortalecer estas relaciones un cierto diseño, a la vez de impedir relaciones que no son beneficiosas, es pensar en términos de un habitar salvaje y simbiótico. Lo que consideramos relevante, es que, si los organismos pueden utilizar tanto la competitividad como la simbiosis como estrategias evolutivas, dependiendo de las condiciones del medio ambiente y las interacciones con otras especies, nuestra arquitectura también. Por ejemplo, en un ambiente altamente competitivo, los organismos pueden beneficiarse de una ventaja competitiva, mientras que, en un ambiente menos competitivo, la simbiosis puede ser más beneficiosa (Margulis, 2002).

El concepto de holobionte pone a su vez en cuestión el de individualidad, ya que la existencia de holobiontes sugiere, como se ha afirmado, que no somos entidades individuales independientes, sino que más bien estamos compuestos por una comunidad de organismos diferentes que interactúan entre sí de manera compleja y dinámica. Es tanto como admitir que es desde la biología desde donde deviene nuestra comprensión de la identidad individual, llevándonos hacia nuevas preguntas en la ciencia y en la filosofía y, por ende, en la arquitectura. ¿Para quién hacemos arquitectura? Si admitimos que el habitar salvaje ya no se refiere en exclusiva hacia un ser humano aislado, individual e identificable, sino para un proceso indeterminado de interrelaciones se está redefiniendo a su vez, el concepto de habitar. En este sentido tanto Stengers (Stengers, 2013), Haraway (Haraway, 2016) y Latour (Latour, 2017, 2021a) han explorado las implicaciones que las nociones de holobiontes y de interconexión tienen entre los seres vivos. Han cuestionado la idea tradicional de la individualidad y han propuesto nuevas formas de entender las relaciones entre los organismos y su entorno. En particular, han enfatizado la importancia de la colaboración, la coexistencia y la interdependencia en la evolución y la supervivencia de los seres vivos. Han cambiado nuestras perspectivas.

Evidentemente, la noción de holobiontes y la comprensión de que los seres humanos están compuestos por una comunidad de organismos diferentes y que interactúan entre sí de manera compleja y dinámica tiene implicaciones en la comprensión de la arquitectura.

Implica un cambio de sujeto. Implica un cambio de objeto a proceso. Significa “generar-con”. El habitar salvaje es tan spinoziano (Deleuze, 2005a) en este sentido como la simpoiesis (Haraway, 2019b, p. 99).

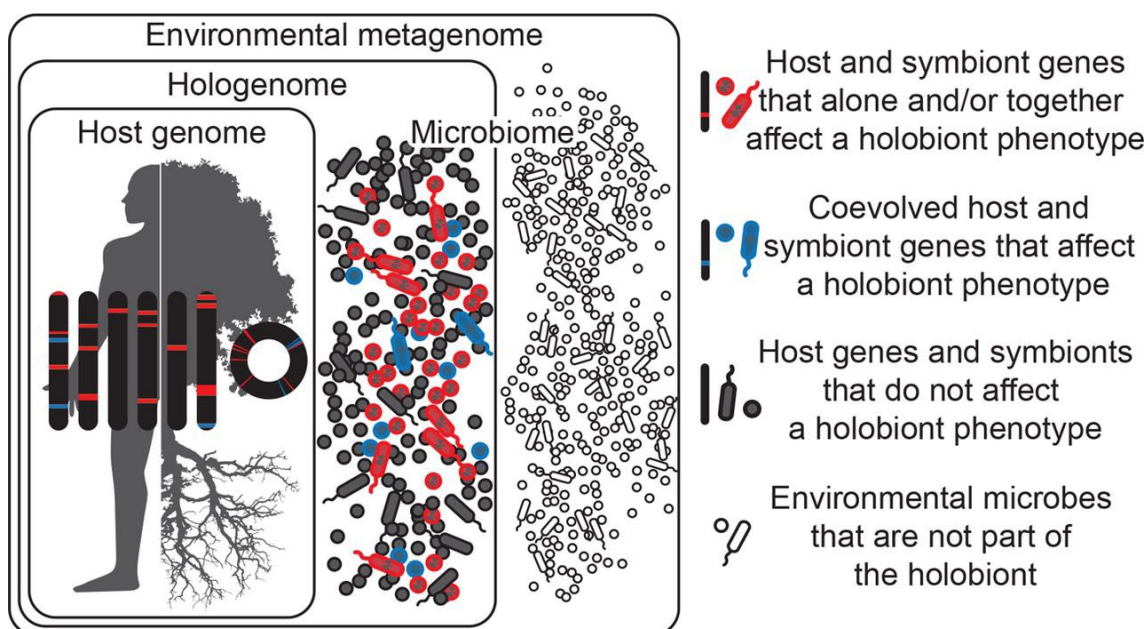
A nivel muy pragmático, por ejemplo, los edificios podrían diseñarse de manera que fomenten la salud y la diversidad de la microbiota intestinal, que se sabe que tiene un impacto significativo en la salud humana. Además, los edificios podrían ser concebidos de una manera más sistémica¹²⁸, reconociendo la interconexión entre los seres vivos y su entorno o buscando formas de construir de manera más interconectada con el medio.

Otros autores parten de la biología para argumentar que la arquitectura debería ser concebida como un sistema ecológico y que se debería tener en cuenta la interconexión entre los seres vivos y su entorno en el diseño arquitectónico. Es decir, los edificios serían ecosistemas complejos que albergan billones de microorganismos que interactúan entre sí, con los humanos y con su entorno (Chayaamor-Heil & Vitalis, 2021; Kembel et al., 2012) que incluso, hay que potenciar (Hauser, 2022). En este sentido, defienden que es necesario comprender los procesos ecológicos y evolutivos que determinan la diversidad y composición biológica dentro de los entornos construidos para pensar en términos arquitectónicos. Hasta el punto de conectar el desarrollo microbiano con la construcción (Borg et al., 2021; Menges, 2012; Mukherjee & Cao, 2021). Estas aproximaciones hacia entornos más saludables, las podemos considerar compatibles con los enfoques del arquitecto Richard Neutra. En textos como “*Survival Through Design*” (Neutra, 1954), se proponía que la relación entre el ser humano y su entorno natural deben incorporarse al diseño arquitectónico para mejorar la salud y el bienestar de las personas, lo que requiere una comprensión profunda de la relación entre el ser humano y su entorno. Es posible afirmar que al igual de los enfoques anteriores, también para Neutra la comprensión de la interdependencia entre los seres vivos y su entorno natural constituye una premisa esencial en el diseño de una arquitectura saludable. Es decir, conceptualizar el ser humano como un holobionte, nos hace también incorporar una noción de arquitectura fundamentada en la diversidad y complejidad de los ecosistemas, lo que puede tener implicaciones para la forma en que se diseña y construye el entorno construido. Entendemos así, que los escritos de Neutra pueden verse como precursores de algunas de las ideas más contemporáneas sobre la arquitectura y la ecología, en la conexión con las ideas más recientes sobre la relación entre los seres vivos y su entorno.

Pero nuestro concepto de habitar salvaje trata de ir mucho más allá, para reconocer a continuación que no podemos ir mucho más allá. En efecto, la complejidad de las relaciones, interconexiones e intercambios presentes en un habitar simbiótico, no solo están lejos de conocerse, sino que serían inabarcables para la construcción de una cierta arquitectura. Las aproximaciones entre los entornos construidos y nuestra salud se harán paulatinamente más visibles, por ejemplo, en el desarrollo de materiales de bio-construcción haciendo posible que ciertos elementos utilicen materiales de construcción basados en seres vivos. Pero, ni entendemos aún las relaciones más simples ni pensamos

¹²⁸ Estas nuevas relaciones entre el concepto de holobiontes y la arquitectura han sido desarrolladas en el libro de “*Living Architecture: How Synthetic Biology Can Remake Our Cities and Reshape Our Lives*” de Rachel Armstrong (Armstrong, 2012) para proponer un enfoque todavía más radical. Se argumenta que la arquitectura podría ser diseñada de manera más sostenible y resiliente mediante la utilización de la biología sintética y la creación de materiales de construcción vivos y dinámicos que puedan interactuar con el medio ambiente y las comunidades de organismos presentes en él.

que habitamos construcciones biológicas por más que no cejen de proponerse aproximaciones basadas en la relación emergente entre la arquitectura, la ingeniería, la biología y la ciencia (AmorphouStudio, 2023). No lo pensamos porque el desarrollo de formulaciones tan complejas de individuos y sistemas depende de una miríada de factores, de los cuales la tecnología constituye un componente principal en el proceso de caracterización. Percibimos solo la parte de las relaciones que los dispositivos tecnológicos nos permiten, por lo que las teorías sobre la simbiosis están muy limitadas por lo que podemos observar. Es decir, teoría y la tecnología actúan recíprocamente: construimos aquellas tecnologías que creemos que son importantes para examinar una perspectiva particular de la realidad, y a su vez, estas nuevas tecnologías nos permiten “ver” otras relaciones. Por esto decimos que el habitar salvaje, es a su vez, un proceso constructivo que depende de la tecnología con la que sensorizar la realidad, y, a su vez, nos permite abrir nuevas perspectivas emergentes e inesperadas.



Los holobiontes son entidades compuestas por el huésped y todos sus microbios simbióticos, incluidos los que afectan el fenotipo del holobionte y han co-evolucionado con el huésped (azul), los que afectan el fenotipo del holobionte, pero no han co-evolucionado con el huésped (rojo) y los que no afectan en absoluto al fenotipo del holobionte (gris). Los microbios en el medio ambiente no son parte del holobionte (blanco). Las interacciones huésped-simbionte son procesos cuya resultante es la vida, nosotros (Fuente: Theis et al., 2016).

En resumen, repensar el habitar, nuestro habitar salvaje desde la perspectiva del holobionte, del compuesto de otros seres que somos, implica que la imposibilidad de un habitar aislado. Por ende, que un pensamiento arquitectónico centrado en la singularidad de cada propuesta, para un individuo aislado, queda desenfocado respecto a la situación contemporánea. El habitar salvaje ese “*never alone*”, ese “*Kisima Ingitchuna*” del juego de intercambio de sabiduría entre humanos y no humanos, ponerse en el lugar de ese -otro.

Individualidad biológica

El enfoque clásico ha sido pensar en los edificios de forma singular, estudiarlos individualmente, aislarlos para, desde sus partes constituyentes, estudiarlo. De esta misma manera también se abordó el estudio de los seres vivos, en los que su unidad indisociable fue construida desde la individualidad de sus células, analizando en ambos casos la autonomía de un ser vivo o un edificio, en su autonomía e integridad, desde las relaciones primero competitivas y luego cooperativas (ecología). Sin embargo, el conocimiento sobre la complejidad y diversidad, así como de la profundidad en las relaciones entre microorganismos simbióticos, ya sean plantas o animales, ha desafiado cada una de las definiciones disciplinarias con las que se ha caracterizado la individualidad. En este sentido, al igual que hoy ya no se sostiene seguir considerando a los individuos por criterios anatómicos o fisiológicos debido a que somos compuestos de una gran diversidad de simbioses, podemos replantear el concepto de singularidad, autonomía e integridad desde el que se analizan y estudian los edificios. Los procesos simbióticos están presentes de forma funcional para hacer posibles el metabolismo (Gilbert et al., 2012b), siendo una de las bases de todo organismo, de forma que no es posible subsistir sin simbioses. Así, el individuo es más un sistema complejo de integración, que un individuo con límites definidos por su capacidad de aislarse.

La propuesta de un habitar salvaje, implica que, partiendo de la biología, los edificios se interrelacionan entre sí de forma simbiótica, siendo estas interconexiones, parte fundamental del habitar. El habitar salvaje reconsidera y pone en duda la forma en la que se ha individualizado, aislado y entendido la arquitectura como producción del objeto; de la misma manera que la biología, desde finales del s. XX, ha puesto en duda el concepto de individuo. Ambas disciplinas, biología y arquitectura, se han construido **desde criterios taxonómicos basados en la anatomía y forma, la filiación y los tipos (históricos), la fisiología y la función y los desarrollos o lugar de origen**. La teoría darwiniana entendida desde su énfasis en la competencia de los individuos y especies entre sí se extendió a muchos campos, incluida la arquitectura. Por supuesto “entender” que los edificios se componen de partes —elementos en arquitectura, células en biología—, llevó hacia el estudio de los sistemas o de los procesos fisiológicos, y hacia el estudio de los elementos constructivos o las células, en ambos casos entendidos como agentes en la construcción y mantenimiento de un todo indivisible, autónomo e íntegro, el animal o vegetal, o edificio. Los principios de la ecología profunda (Naess, 1973), con la incorporación del concepto de “sistemas orgánicos”, también fueron entendidos como compuestos por individuos en relaciones, primero competitivas, para incorporar paulatinamente en el s. XX¹²⁹ la idea

¹²⁹ La idea de organismos colaborativos o cooperativos en biología se ha explorado desde hace mucho tiempo en el campo de la biología evolutiva. Uno de los primeros científicos en proponer la idea de la cooperación entre organismos fue el naturalista francés Jean-Baptiste Lamarck en el siglo XVIII, quien sugirió que los organismos pueden cooperar en su lucha por la supervivencia. Sin embargo, la teoría moderna de la selección de parentesco, que explica cómo la cooperación entre organismos puede evolucionar a través de la selección natural, fue propuesta por el biólogo británico W.D. Hamilton en la década de 1960. Esta teoría establece que los organismos pueden cooperar si comparten genes en común, lo que aumenta la probabilidad de que los genes se transmitan a través de la descendencia. Desde entonces, la idea de la cooperación entre organismos ha sido explorada en una variedad de contextos biológicos, incluyendo la ecología, la evolución y la biología celular y molecular. En la actualidad, se reconoce ampliamente que la cooperación entre organismos es una fuerza importante que impulsa la evolución y la diversidad biológica.

cooperativa. La relación es tan estrecha que incluso en el contexto de la arquitectura, se ha afirmado que la evolución de los estilos arquitectónicos tiene un paralelismo con la teoría de la “selección natural”, en la que aquellos estilos que mejor se adaptan a las necesidades de la época sobreviven y se desarrollan, mientras que otros se extinguen. La teoría de la evolución también ha influido en la forma en que los arquitectos y urbanistas piensan sobre la idea de que los sistemas evolucionan y se adaptan a través de la selección natural y la variación, por lo que comparten los mismos principios (Alexander, 2020; N. Salingaros, 2004).

Simbiosis

Si los seres vivos somos compuestos de muchas especies que viven, se desarrollan y evolucionan juntas, el concepto de individualidad insular es sustituido paulatinamente, también en la cultura, la economía o el arte, por relaciones interactivas entre especies. Siguiendo este esquema, podemos extenderlo también hacia los edificios, conceptualizándolos de manera operativa también como compuestos simbióticos. La presencia constituyente de muchas especies que desdibujan los límites del organismo y oscurecen la noción de identidad, es tan decisiva, que afecta a todos los campos del conocimiento. Esta perspectiva solo nos lleva a proponer una superación de dicotomías clásicas, como la distinción entre el yo y el otro, entre el sujeto y objeto, sino también el dentro y fuera, concepto tan fisiológico como arquitectónico, con los que se ha construido el pensamiento occidental y, por ende, el arquitectónico. Una perspectiva simbiótica abre nuevas investigaciones para la arquitectura: ¿qué significa ésto para el habitar, para la construcción, para la biología, la salud y la biodiversidad? ¿Cómo se concibe la arquitectura desde la perspectiva de la simbiosis y no desde la individualidad y la singularidad? ¿Qué consecuencias encierra esta aproximación?

Conceptos como la estética, la funcionalidad, la construcción, el estilo, aún siendo independientes entre sí, se basan en la individualidad. Pero desde la perspectiva simbiótica con la que construimos el habitar salvaje, nos preguntamos ¿qué es un edificio sin su contexto? Implica, desde su concepción y origen, la marcada inercia de la disciplina hacia un proyecto, un autor (o varios), un edificio. Sin embargo, muchos edificios agrupados son una ciudad. Y lo que es evidente para los procesos urbanos, es decir, la ausencia de autor, la complejidad de las relaciones, la imposibilidad de prever el resultado no es tan evidente para la concepción de edificios. Aunque, al igual que ocurre en biología, esta singularidad plantea preguntas: ¿por qué los edificios pensados individualmente responden a patrones? ¿por qué son tan parecidos?

Lewis Thomas se preguntó qué es un organismo individual al examinar la compleja interdependencia de las cosas, entre las computadoras, los gérmenes, el lenguaje, las células, la Tierra. Así, nosotros no cejamos de preguntarnos qué es un edificio individual, por qué la arquitectura se centra una y otra vez en la resolución de un problema único, de volver a empezar, si todos los edificios son parte de un vasto sistema que responde a patrones, tanto constructivos como de comportamiento. Así los humanos somos una especie altamente social en los que la construcción, la ciencia y la cultura son campos interconectados e interdependientes. En este sentido, la biología, como una de las ciencias fundamentales de la vida, puede ofrecer una comprensión más profunda y completa de los problemas y desafíos que enfrenta la humanidad en su conjunto y la arquitectura en particular. A su vez, como también planteó Thomas y después Edward O. Wilson, la

capacidad técnica de super-computación nos ayudará a comprender lo parecidos que somos a los super-organismos. La computación nos permite comunicar, procesar e interconectar lo que cada uno ha explorado y aportado. Para Thomas, somos parte de un sistema mayor y no gobernantes de nada, pero, también como elementos “indispensables de la naturaleza” (Thomas, 1974), no entendemos nuestro comportamiento colectivo, tampoco bien el proceso de habitar y de construir. Estamos involucrados en una transferencia inacabable de información y pensamiento colectivo, acelerado primero por Internet, ahora por la IA y el IoT. Cuantos más datos, cuanta más información hay en un sistema complejo, aumenta la imprevisibilidad de nuestro futuro. Ni las hormigas saben el resultado final de su hormiguero, ni nosotros, de nuestro lenguaje, de nuestra técnica, ni de nuestras ciudades. Habitar salvajemente, pensar desde los sistemas complejos, implica aceptar tanto la posibilidad que minúsculos cambios afecten a cualquier parte, como entender que somos parte de una organización que genera y comparte información. El desarrollo se convierte así más en una cuestión de comunicación entre especies para la cooperación que en una cuestión de competencia.

Como se ha afirmado, los criterios taxonómicos basados en la anatomía y forma, la filiación y los tipos (históricos), la fisiología y la función, y los desarrollos o lugar de origen han dado lugar tanto a clasificaciones como a conceptualizar los organismos vivos y los edificios de forma similar.

Individualidad anatómica

La teoría de la simbiosis desafía en primer lugar y de forma cualitativa el principio por el que nuestra individualidad se construye desde la singularidad de su ADN. Sin embargo, no sólo es que los simbioses proporcionen energía y nutrientes para mantener un metabolismo básico, es que pueden llegar a suponer más del 50% de las células de un organismo¹³⁰. En este sentido, las interconexiones necesarias para habitar un edificio, el número de procesos activos que tienen lugar en los edificios, superan ampliamente a los derivados de los tradicionalmente implicados en la arquitectura — desde las redes de energía y telecomunicación, de circulación o de captación de energía, hasta los electrodomésticos, la domótica, el aseo, la música, los materiales de construcción, el cobijo para cientos de otras especies que también habitan un edificio — y desmienten la simplificación de que un edificio está formado por elementos arquitectónicos. Al igual que nos ha mostrado la ecología profunda, la ciudad desborda en órdenes de magnitud cualquier intento de simplificación urbanística.

¹³⁰ Desde 2016 (Sender et al., 2016) la evaluación dice que la proporción de bacterias con respecto a las células es de aproximadamente una a una, es decir, que los humanos tenemos casi el mismo número de células que de bacterias en nuestros organismos. Se ha calculado que el número de bacterias es 3.8×10^{13} (que son 38 billones) y el número de células es 3×10^{13} (que son 30 billones).

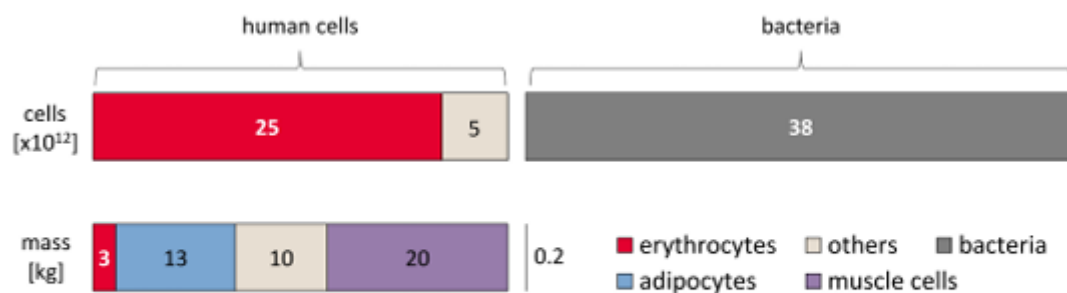


Fig 3. Distribution of cell number and mass for different cell types in the human body (for a 70 kg adult man). The upper bar displays the number of cells, while the lower bar displays the contribution from each of the main cell types comprising the overall cellular body mass (not including extracellular mass that adds another ≈ 24 kg). For comparison, the contribution of bacteria is shown on the right, amounting to only 0.2 kg, which is about 0.3% of the body weight.

doi:10.1371/journal.pbio.1002533.g003

Distribución del número de células y masa para diferentes tipos de células en el cuerpo humano (para un ser humano adulto de 70 kg). La barra superior muestra el número de células, mientras que la barra inferior muestra la contribución de cada uno de los principales tipos de células que componen la masa corporal celular total (sin incluir la masa extracelular que agrega otros ≈ 24 kg). A modo de comparación, la contribución de las bacterias se muestra a la derecha, ascendiendo a solo 0,2 kg, que es aproximadamente el 0,3% del peso corporal (Sender et al., 2016).

Individualidad fisiología

La visión fisiológica de la individualidad considera a una máquina, a un edificio, a un organismo, como un compuesto de partes que cooperan por el bien del todo. En este sentido, la complejidad se manifiesta en una creciente especialización y división de las funciones ya sea en partes, en órganos, en distintos sistemas. Del todo, ya sea un boceto, ya sea un cigoto, una hipótesis génica, las partes; reunidas éstas, el conjunto. Un concepto que derivó en la propuesta de Ada Smith¹³¹ de que el progreso es inherente a la división del trabajo o la ciencia, en el análisis cartesiano¹³² de las partes para entender el todo, la reducción del todo a la descomposición en partes se ha extendido a la arquitectura: desde su sistema jerárquico clásico (arquitecto, aparejadores, ingenieros, encargados....), hasta la lógica de especialización en cada uno de sus elementos, para recomponerse en un todo, que llamamos edificio. Sin embargo, la orquídea no subsiste sin la avispa¹³³ (Deleuze,

¹³¹ En su obra "La Riqueza de las Naciones", publicada en 1776, Smith sostiene que la especialización y la división del trabajo son fundamentales para el aumento de la productividad y la eficiencia en la producción de bienes y servicios. Según Smith, si cada trabajador se especializa en una tarea específica, se vuelve más hábil y eficiente en esa tarea con el tiempo, lo que conduce a una producción más rápida y a una reducción en los costos de producción. Smith señala que la división del trabajo no sólo aumenta la eficiencia en la producción, sino que también tiene un impacto en la economía en general. Según él, la división del trabajo lleva a una mayor producción de bienes y servicios, lo que a su vez aumenta la oferta, reduce los precios y mejora el bienestar general de la sociedad.

¹³² En su obra "Discurso del Método", publicada en 1637, Descartes, como también Bacon y Galileo, defiende la idea de que la comprensión de la naturaleza puede lograrse a través de un proceso de descomposición del todo en partes más simples y la comprensión de estas partes más simples. Descartes creía que la naturaleza era un sistema mecánico complejo y que, para entenderlo, era necesario descomponerlo en sus partes constituyentes y analizar cómo funcionaban estas partes en relación entre sí. Esta idea de la descomposición del todo en sus partes constituyentes ha sido muy influyente en la ciencia moderna y ha llevado a importantes avances en campos como la biología molecular, la física de partículas y la química.

¹³³ Gilles Deleuze utiliza la relación entre la avispa y la orquídea en su libro de 1969 "Lógica del sentido" (Logique du sens) para construir su teoría de los "acontecimientos". La relación entre la avispa y la orquídea es un ejemplo clásico de coevolución, en la que dos especies evolucionan juntas en respuesta a la presión

2005c), ni la hormiga sin la *myrmicae*¹³⁴. Pero no solo para orquídeas u hormigas. Centenares de estudios durante esta centuria han demostrado que, sin estas relaciones simbióticas, ni nuestro sistema inmunológico ni nuestro sistema digestivo podrían funcionar. No somos individuos desde el punto de vista fisiológico clásico, ni por supuesto, nuestros edificios se pueden entender desde la singularidad.

Individualidad Génica

En arquitectura el concepto de tipo es entendido como los modelos o patrones de diseño constructivo que se repite a lo largo del tiempo y para diferentes lugares. Se caracterizan y los reconocemos por sus elementos formales, estructurales o programáticos comunes que se muestran en su diseño, tamaño, forma, función, simbolismo o estilo. A su vez, su variación se produce por influencia de factores culturales, geográficos y climáticos, evolucionando en el tiempo con la cultura y dinámicas sociales. Desde Semper hasta Pevsner, Rowe o Rossi, se ha argumentado que su estudio constituye parte fundamental del aprendizaje arquitectónico, ya que permite comprender los principios formales y funcionales subyacentes en los edificios, así como su evolución histórica y su relación con el contexto cultural y social. A diferencia de los procesos de aprendizaje ingenieriles, constituyen un enfoque histórico o epidemético hacia las formas y estilos arquitectónicos utilizados en distintas épocas y culturas. En este sentido, el concepto de tipo puede ser entendido como una mirada y búsqueda de un origen, al tratar de entender cómo y por qué ciertas formas arquitectónicas han perdurado, mientras otras han desaparecido, así como su evolución en el tiempo. También en cómo estos tipos se han adaptado a diferentes contextos, ya sean culturales, geográficos o climáticos. A través de ellos se manifiestan también los principios constructivos y de diseño, así como las tendencias de cada sociedad a la que daría respuesta la arquitectura. En esta "historia" acumulada (Moneo), los tipos son información transmitida, que permitiría con variaciones, proponer diseños de edificios que respondan a los requisitos y contexto presentes.

selectiva mutua. En este caso, la orquídea desarrolla una estructura especializada que atrae a la avispa, que a su vez poliniza la flor al intentar copular con ella. Esta relación simbiótica es un "acontecimiento" que, según Deleuze, que se caracteriza por una serie de relaciones causales que no pueden ser reducidas a una simple causa y efecto lineal. Deleuze utiliza la relación entre la avispa y la orquídea para argumentar que la naturaleza está llena de acontecimientos complejos y contingentes que no pueden ser explicados por una lógica causal simple. En cambio, estos acontecimientos deben ser comprendidos como parte de un tejido complejo y siempre cambiante de relaciones y conexiones.

¹³⁴ La relación entre las hormigas y su hongo cultivado es muy compleja. Las hormigas trabajan conjuntamente para cultivar el hongo, transportando y procesando el sustrato (generalmente hojas y otros materiales vegetales) para hacerlo adecuado para el crecimiento del hongo. Además, las hormigas defienden el cultivo de depredadores y enfermedades, y mantienen el ambiente adecuado para el crecimiento del hongo ya que las hormigas no pueden alimentarse directamente del sustrato vegetal utilizado para cultivar el hongo, puesto que su sistema digestivo no está adaptado para descomponer la celulosa presente en las plantas. Así, las hormigas cosechan los cuerpos fructíferos de los hongos cultivados, que son ricos en nutrientes y fácilmente digeribles. A su vez, el hongo proporciona a las hormigas una fuente rica en proteínas y carbohidratos. Las hormigas también han desarrollado una serie de adaptaciones para ayudar a asegurar el éxito del cultivo del hongo, como la capacidad de detectar y eliminar las esporas de hongos no deseados y la capacidad de controlar la temperatura y la humedad del cultivo. Esta relación entre las hormigas y su hongo cultivado es un ejemplo de simbiosis compleja mutualista, en la que ambas especies se benefician mutuamente hasta el punto de que estas especies de hongos se han vuelto dependientes de las hormigas para su supervivencia, y las hormigas a su vez se han vuelto dependientes de los hongos para su alimentación (Hölldobler & Wilson, 2009; Wilson, 1992).

Esta aproximación comparte con la biología genética la idea de que son la transmisión de sus códigos informativos y sus mecanismos de evolución lo que constituye el objeto de conocimiento. Es decir, ambas disciplinas buscan entender cómo los organismos o los tipos arquitectónicos sobreviven mediante la transmisión de información, evolucionando y adaptándose al medio ambiente, siempre cambiante. Así en caso de la genética, la composición de los genes es determinante tanto para estudiar los rasgos que parecen definir al individuo, como para entender su composición única. Los genes influyen en su apariencia, salud y comportamiento. Además, esta información se considera productiva para comprender las enfermedades hereditarias, la evolución de las especies y el desarrollo de nuevas terapias, de forma análoga a la que la aproximación arquitectónica utiliza los tipos para seguir estudiando como la individualidad de ciertas formas puede ser utilizada para adaptarse a nuevas necesidades y demandas variables, como las características de un lugar, una comunidad (Krier, 2013) o un cliente particular, pero manteniendo tipos o patrones reconocibles. Desde este enfoque, la arquitectura, sería el estudio de la información que se transmiten en los tipos y sus mecanismos de variación o incluso la producción de nuevos tipos arquitectónicos (N. A. Salingaros, 2005). Nos permite aprender de los edificios precedentes y utilizar esta información en nuevas construcciones, identificar patrones¹³⁵ (Alexander, 1980, 1981a), elementos comunes, que permiten desarrollar un lenguaje arquitectónico propio y distinguirse en su trabajo (otro proceso de individualización) a la vez que transmiten de nuevo información (Venturi).

Los mecanismos de selección natural de la biología (variación aleatoria, herencia, selección natural y adaptación), en principio, parecen mucho más distintos que en la arquitectura, ya que muchos de los edificios seleccionados por la historiografía arquitectónica se han convertido en “tipos” por académicos e historiadores (algo que denunciaría Alexander). Si bien éstos, no se han convertido en patrones constructivos, desde el punto de vista de la transmisión de información, han sido reproducidos e imitados millones de veces, hasta convertirse en verdaderos tipos o al menos, éxito evolutivo desde el punto de vista de su reproducción como información. A esta forma de transmisión de información el etólogo Richard Dawkins los denominó “memes” (Dawkins, 1999), es decir, unidades de “información cultural” que se transmiten de persona a persona por imitación o reproducción que evolucionan a través de la “selección cultural”. Según el etólogo británico, estos memes se desarrollan de la misma manera que los genes, a los que considera “verdaderas unidades de selección”. Este enfoque conlleva que nosotros y todo organismo, seríamos algo similar a meras “máquinas” o “vehículos de transmisión y transporte” de genes (Dawkins, 1993). Un meme puede tomar muchas formas, incluyendo canciones, ideas, modas, tecnologías, hábitos y rituales y desde luego, edificios. Son similares a los genes en su capacidad de replicación y selección, pero operan en la cultura en lugar de la biología. Según Dawkins, al igual que los genes, los memes compiten por la

¹³⁵ Para Christopher Alexander, los tipos y los patrones son conceptos diferentes pero relacionados. En su teoría de la arquitectura, Alexander define un patrón como una solución a un problema recurrente de diseño que se ha demostrado efectiva en la práctica, mientras que un tipo se refiere a una categoría o clase de edificios o espacios que comparten características y propiedades comunes. En este sentido, los patrones pueden ser utilizados para crear y definir tipos arquitectónicos, y los tipos pueden ser utilizados para identificar y agrupar patrones relacionados.

atención y la reproducción, y los que son más exitosos en replicarse y difundirse tienen más probabilidades de sobrevivir y evolucionar.

A su vez, Dawkins es un gran crítico de la teoría simbiótica (Dawkins, 1989), considerando la cooperación entre organismos como una forma más de selección natural pero no uno de sus mecanismos relevantes. Para él, la complejidad y la diversidad de las formas de vida que observamos en el mundo natural son el resultado de la selección natural actuando sobre pequeñas variaciones aleatorias en el ADN. De ahí, que lo realmente importa son los genes, es la información, el resto es subsidiario. Desde la teoría de la simbiogénesis, para Margulis la selección natural no es suficiente para explicar la complejidad de la vida, siendo la cooperación simbiótica entre organismos fundamental para la evolución y la comprensión de esta complejidad y diversidad. Lo que se pone aquí en cuestión son dos modelos contemporáneos de entender el mundo. En el primero, la información es lo que prevalece y caracteriza la evolución, tanto de los organismos, como de sus formas de organizarse, adaptarse al medio, y construir. En el segundo, son las interacciones en un medio dado.

De la primera se deriva que no solo los seres vivos se entienden como meros portadores de información, sino como parte de la cultura, también los edificios. Podemos entender que la proliferación “real” de textos e imágenes de edificios aislados (en lo visual) que la tecnología de la comunicación hace posible compartir, se vuelven *memes*, se imitan siguiendo los mismos mecanismos que la biología. De acuerdo con la teoría de Dawkins¹³⁶, aunque la variación genética en una población puede ser aleatoria, la selección natural es el proceso por el cual ciertas variantes se vuelven más o menos comunes en una población en función de su impacto en la supervivencia y la reproducción de los individuos que las poseen. Así, los edificios se “viralizan” en función de ciertas características que hacen que se compartan, se multipliquen, sobrevivan frente a otras. En esta perspectiva, el patrón es información textual y visual. El edificio es información, es texto y matemáticas (ceros y unos, bits), es mero transporte gen-ético, significa y simboliza, expresa hasta el punto ya comentado, de que un render, una imagen, puede y es arquitectura, que un texto, es y puede ser arquitectura. Lo que es relevante para nosotros es que, en esta aproximación no es necesaria la noción de entorno físico, puesto que, en un entorno informacional, la interacción es sobre los procesos de producción de transmisión de textos e imágenes, no sobre los procesos de habitar y construir. Las interacciones, se producen, pero a diferencia de un patrón “clásico”, la información generada no evoluciona según la adaptación al medio, a otras especies, a nuestro habitar. Es decir, los modos de reproducción técnica en imágenes llevaban consigo no solo la capacidad de transmitir información de forma más efectiva que la tradición gremial (construcción sin planos, ni imagen final del edificio) sino que, dependían de los medios técnicos de producción y reproducción de la información. Evidentemente, el fenómeno no esperable, pero coherente, es que no solo la teoría de la arquitectura derivara hacia la arquitectura como signifiante, sino que los arquitectos centraran parte de su trabajo hacia la producción y publicación de textos e imágenes. Si un plano es dónde se “lee” y transmite la arquitectura, un plano es arquitectura. Si una imagen

¹³⁶ Para Dawkins, la selección natural es el fenómeno emergente que surge de la interacción entre las características individuales de los organismos y su entorno. Es decir, siguiendo en la Teoría de Sistemas Complejos, la selección natural, y no la vida, es la consecuencia emergente de este proceso. En otras palabras, la selección natural no puede ser reducida a las propiedades individuales de los organismos o de su entorno, sino que surge como resultado de la interacción entre ambos

fotorrealista es información arquitectónica, es, supuestamente arquitectura. Si la arquitectura significa algo, se puede codificar por textos. Si es computable, se puede reducir a una condición económica o de consumo de energía. Para Dawkins, la proliferación de imágenes “memes” de arquitectura, responde a los mecanismos descritos por su teoría, y son resultante coherente de su propuesta.

Por el contrario, para la perspectiva simbiótica, lo fundamental en la evolución natural son los procesos simbióticos, la capacidad de los seres vivos de interactuar, de intensificar las interrelaciones entre ellos y el medio, lo que amplía exponencialmente el número de conexiones. Es decir, es la simultaneidad conectada de millones de procesos orgánicos, lo que produce la emergencia de la complejidad creciente de la vida. Son las interacciones y las realimentaciones entre el medio y las especies que lo habitan¹³⁷, lo significativo. Para esta teoría los mecanismos de transmisión de información genética, sin negar su importancia, no son suficientes para explicar el fenómeno sistémico de la vida, de la propia composición homeostática de la atmósfera, de la multi-biodiversidad detectada, de los mecanismos de nuestra propia cultura y comportamiento social, incluido el construir.

Como se ha visto, la infinita interconexión y profundidad de interrelaciones entre todos los seres vivos, en todas las escalas, no solo pone en duda la noción de individuo, sino también, el disciplinar y acotado enfoque genético e informativo de la naturaleza viva, y en nuestro caso, de la arquitectura. Desde la propuesta del habitar salvaje, una imagen producida por un ordenador o un texto explicativo es información que no puede ser considerada una construcción arquitectónica ya que no interacciona, no produce un habitar, no intercambia, no destruye, no genera. En definitiva, no son simbióticas. En el habitar humano, observamos patrones constructivos que, además de seguir reglas coherentes con la teoría genética de la evolución, no se entienden sin la hipótesis sostenida por la biología simbiótica. Es decir, nuestros edificios, pueden ser considerados “recipientes” de información, pero también, lugares para habitar contruidos por una especie biológica en un cierto nicho biológico, utilizando materiales disponibles en un medio, que convive con el resto de las especies, produciendo procesos constructivos que se adaptan o mueren, avanzando por variación, colaborativamente.

En nuestro caso, no se trata de profundizar en qué teoría del conocimiento es científicamente más coherente con los datos que obtenemos del mundo, sino de extraer consecuencias para la arquitectura, proponer vías coherentes con la cultura científica y buscar explicaciones que, desde nuestro punto de vista, no pueden ser desarrolladas solo desde el aislamiento de la teoría disciplinar. La noción de individuo como portador de genes, de información, conlleva una gran especialización, un alto grado de conocimiento técnico y científico, y parte de un enfoque reduccionista. Implica reducir la complejidad a

¹³⁷ Para la Teoría de los Sistemas Complejos un fenómeno aleatorio es aquel que ocurre al azar, sin que haya un patrón o una explicación clara detrás de él. Por ejemplo, el movimiento de las partículas en un gas es un fenómeno aleatorio, ya que no hay un patrón discernible en su movimiento individual. Por otro lado, un fenómeno emergente es aquel que surge como resultado de la interacción entre las partes de un sistema complejo, y que no puede ser explicado por la suma de las propiedades individuales de las partes. En otras palabras, es un fenómeno que emerge de manera colectiva y que no puede ser reducido a las propiedades de las partes individuales del sistema, es decir, la principal diferencia entre un fenómeno aleatorio y un fenómeno emergente es que el primero ocurre al azar, mientras que el segundo surge como resultado de la interacción entre las partes de un sistema complejo y no puede ser explicado por la suma de las propiedades individuales de las partes.

un lenguaje, una vez más matematizable, sujeto a la obtención de datos por medio de la tecnología, a su análisis por sistemas de computación, para desentrañar la realidad.

En arquitectura, el énfasis en la información conlleva el mismo camino: una hiper-especialización de los textos y lenguajes, con un alto grado de dificultad de comprensión por los no expertos. Al mismo tiempo, implica también, la multiplicación de las imágenes y textos, de las lógicas de producción y publicación. Pero a diferencia de las ciencias genéticas, capaz de proponer soluciones para enfermedades hereditarias, la agricultura o la biotecnología, en arquitectura, el dominio de lenguajes especializados sobre la producción de textos e imágenes arquitectónicos no supone avances sustanciales en el habitar o la construcción y modos de vivienda: como propuso en parte Alexander, los modos de habitar parecen producirse independientemente de las teorías y planos arquitectónicos.

Nuestra hipótesis es que a diferencia de la información codificada en la secuencia de los cuatro nucleótidos (12,800,000,000,000 bits de información que se encuentran localizados en el ADN, y al copiarse, en el proceso de replicación se produce la vida), los edificios no se auto-repican. **Lo que pretendemos argumentar así es que los patrones de información que contiene un edificio, tendencias, relaciones y comportamiento, son la resultante del proceso de habitar.** Es decir, una construcción humana es un proceso entendido como una entidad en constante cambio y evolución, que se construye a partir de una serie de eventos interconectados. En otras palabras, es un flujo de acontecimientos que se desarrolla en el tiempo, y que implica una relación dinámica entre lo que sucede y cómo se relaciona con su entorno. Por decirlo de alguna manera, un edificio es una entidad en constante cambio y evolución, que se construye a partir de una serie de eventos interconectados, implica una relación dinámica entre lo que sucede y cómo se relaciona con su entorno. Un edificio contiene información de la serie de momentos o “actualidades” en términos de Whitehead, que son instantes de experiencia de cómo se ha creado. Estas actualidades se entrelazan entre sí para formar un proceso coherente, que se desarrolla a lo largo del tiempo. En ningún caso, se trata de un proceso aislado, sino como propone la teoría simbiótica, están interconectados y forman parte de una red más amplia de procesos de habitar. Para Whitehead, esta interconexión se expresa a través de lo que denominó “prehensión”, que es la capacidad de cada proceso para “percibir” o tomar en cuenta a otros procesos y, a su vez, ser percibido por ellos.

En definitiva, los edificios y la información que portan son la resultante del proceso de habitar. Como ha propuesto Lynn Margulis, las interacciones que se producen en un medio no son una abstracción informacional. Es la interacción del medio con los seres vivos, son las interacciones entre ellos lo que produce la construcción, las que produce el habitar. La información presente en el edificio se refiere al proceso de habitar, no al propio edificio. De ahí que el habitar salvaje se vea influenciado por el medio físico, nuestro comportamiento o nuestras redes de energía. Es en las conexiones que generamos dónde debemos “mirar” si queremos entender la arquitectura, si queremos hacer arquitectura. Por ello, desde el habitar salvaje, una arquitectura simbiótica nunca puede ser un render, nunca puede ser una imagen, puesto que se construye desde las conexiones, para conectar, para ampliar las posibilidades de habitar. Y será mediante el proceso de habitar, de adaptación al ambiente, el que mostrará si sobrevive o no y qué problemas resuelve. Patrones constructivos que hoy se multiplican por doquier, ya que se adaptan muy bien a ciertas circunstancias, desaparecerán en otras. El arquitecto que quiera sumarse a los procesos

que subyacen en el construir, si pretende entender los flujos que produce el habitar, tendrá que conocer esos patrones de información, saber leerlos y estudiarlos, deberá construir una teoría o saber leer desde la intuición (Bergson) las evidencias que muestran qué sucede cuando se produce una variación, o cuando no lo hace.

En definitiva, saber que se está trabajando, no con un patrón formal ni constructivo, sino como una resultante de un patrón de comportamiento humano en un edificio. Es por ello, que obtener información con el que caracterizar patrones de comportamiento, es la manera de comprender los procesos que tienen lugar durante el habitar. Identificar y sensorizar determinadas variables es clave para ampliar el conocimiento, visualizar las relaciones y las interconexiones arquitectónicas. Desplegar una plataforma IoT para construir estos patrones con los que obtener información, es a su vez un proceso imprescindible para diseños de edificios cuyo objetivo es un habitar salvaje. Es decir, si se quieren maximizar las conexiones, debemos saber qué flujos interesa permitir, si que supongan una merma de las condiciones de habitabilidad, la salud o la eficiencia energética.

En este sentido, tal y como para Margulis, toda vida es simbiótica, para nosotros, toda construcción lo es por el hecho de estar construida por unos seres vivos, en un medio, con el que siempre está en interacción. Se haya pensado desde las relaciones o desde la información autorreferencia arquitectónica, la construcción siempre es un hecho biológico propio del ser humano. Por eso siempre construimos, con arquitectos o sin ellos, por eso nuestras construcciones se parecen tanto, con teoría arquitectónica o sin ella. Proyectado o pensado desde un enfoque genético, una construcción puede que no genere muchas conexiones o sean irrelevantes para la vida o incluso perjudiciales para sus habitantes, pero en tiempo evolutivo como tipo, si las formas que plantean no generan conexiones, desaparecerán. Lo fundamental del habitar salvaje es que genera cuantas más posibilidades de habitar. En términos spinozistas, amplía la potencia de habitar.

Ver más para conocer

Desde la perspectiva de que el lugar es único, específico, un nodo de una red y no, un gran espacio tridimensional indeterminado ni el fondo de un paisaje. Desde el enfoque de que el habitar salvaje es un patrón emergente de conexiones vivas. Patrones que podemos leer en las huellas del terreno, en sus construcciones, en sus modos de vida, que enraízan con historias de generaciones pasadas y futuras, un habitar que está intrínsecamente comprometido con el lugar. Lo fundamental del habitar salvaje es su propia singularidad con el lugar, su propia especificidad en un nicho biológico específico al que se adapta y adaptan todas las especies. Definido así, si queremos conceptualizar operativamente para construir un habitar, debemos conocer las relaciones, conceptualizar sus conexiones, identificar sus intensidades. No se trata de cruzar el mar. No se trata de permanecer estáticos, no se trata de no avanzar. No se trata de mirar atrás. Se trata de conocer las dinámicas intrínsecas y entrelazadas del habitar en un lugar, de entender sus fuerzas y reacciones. Se trata de sumar las lógicas complejas de un sistema vivo que se interconecta con las nuestras en un sitio concreto. Se trata de surfear, no de homogeneizar¹³⁸. No se trata

¹³⁸ “Si el hombre hubiese habitado originalmente un mundo tan tajantemente uniforme como una torre de edificios, o tan monótono como un aparcamiento, o tan desierto de vida como una fábrica automatizada, es

de no actuar. No es un sistema pasivo. Se trata tanto de conocer como está funcionando el sistema como de prever cómo evolucionará el sistema con nuestra acción. Dado que todo lugar de la tierra habitable para nosotros está ya habitado por la vida, se trata de conocer las redes que permiten sus especies, de cómo lo habitan, de conocer sus características antes de arrasar e imponer la tabula rasa. De ahí que la arquitectura domesticada, ese habitar corral, sea al mismo tiempo tan irracional como bárbaro (también idiota, ignorante). Este conocer salvaje, implica que debemos incorporar y comprender tanto lo que nos aportan nuestros sentidos, pero, sobre todo, también lo que solo podemos conocer hoy mediante extensiones sensoriales, con nuestra tecnología. Por esto, un habitar salvaje que no sea nostálgico, que no busque congelar, volver a un pasado ilusorio —e iluso—, debe aumentar las conexiones, con lo que no vemos, pero sabemos que está ahí, con lo que conocemos con nuestros sentidos, pero también con lo que otros “ven” con sus otros sentidos. Una arquitectura salvaje, insta, en definitiva, a construir desde el propio nicho biológico específico que lo configura. Para eso hay que entender las relaciones del medio con el habitar, las relaciones del habitar en el medio. Y reconstruir y construir, y construir y reconstruir... ¡relaciones!

Ver más para conocer más

Construir implica conocer. Esto queremos decir cuando hablamos de IoT en un edificio. IoT no son un conjunto de dispositivos para conectar electrodomésticos a una red. Tras la gran disociación de la arquitectura moderna entre los sistemas de climatización y las propuestas formales (Ábalos, 1997), los dispositivos IoT pueden ayudarnos a entender y visualizar la separación del medio al que está expuesto el ser humano. IoT es una manera para conocer esa especificidad, para saber cómo se comporta el entorno, los otros, nosotros. Para comprender cómo está enredado en la trama de la vida un cierto lugar-habitar, en sus ciclos atmosféricos, en las micro redes de las plantas, en los flujos de aire, en sus corrientes de agua tanto como en nuestros flujos de energía, de transporte, de nuestra economía. También en sus contaminantes, en la composición activa de sus tierras. En cómo responde a los cambios de luz, a las dinámicas solares, estacionales, lunares. También de conocer midiendo, cómo afectan ciertas decisiones arquitectónicas, no tan solo a nuestro comportamiento, sino también al medio, a esos “otros”. A esa biodiversidad menguada por la acción humana. O, dicho de otro modo, para que conozcamos, sepamos, que nuestro habitar es todo menos neutro. Visualizar parámetros básicos de este habitar parece ingenuo, pero tan solo estamos empezando. Vislumbramos, cómo IoT combinado con IA puede ayudarnos a reconocer patrones emergentes que producen el habitar, pero sobre todo a visualizarlos, a hacerlos presentes. Se habla de eficiencia, pero eficiencia ¿en qué? El habitar ha quedado fuera de la ecuación en manos tan solo de flujos energéticos y condiciones estandarizadas homogéneas de confort. Visualizar que un edificio nos afecta, es el objetivo primero e inmediato de un edificio inteligente. Que nosotros seamos conscientes de que nos modifica, es el primer paso hacia una arquitectura salvaje. El segundo, saber que también afectamos y nos afectan. El tercero, combinar los patrones de comportamiento con la AI para evaluar cómo evolucionará nuestro habitar ante una determinada arquitectura o viceversa, cómo una determinada arquitectura modifica el habitar. Ampliar las posibilidades e interconexiones de una arquitectura-corral, de una domus-control, de una domus-separación, en el *oikos* de la destrucción previa, en la

dudoso que hubiese tenido una experiencia sensorial lo bastante variada para retener imágenes, modelar lenguas o adquirir ideas” (Mumford, 2010, p. 130)

ciudad-enjambre¹³⁹. ¿Se romperá el habitar domus-propiedad? El carácter muy estático de los patrones habitacionales lo pone en duda, pero nunca se sabe cómo evolucionará un sistema complejo. La ciudad como máquina, también da muestras de interrelaciones con la naturaleza, pero esta desconexión ha sido leída como debilidades de nuestros sistemas sociales, económicos, políticos o de orden tecnológico, más que como una evidencia de una disociación de nuestros bio-genes.

En conclusión, la naturaleza salvaje ya no es un lugar por domesticar, sino un espacio a preservar y conectar.

¹³⁹ “Si el hombre hubiese habitado originalmente un mundo tan tajantemente uniforme como una torre de edificios, o tan monótono como un aparcamiento, o tan desierto de vida como una fábrica automatizada, es dudoso que hubiese tenido una experiencia sensorial lo bastante variada para retener imágenes, modelar lenguas o adquirir ideas” (Mumford, 2010, p. 130)

Holoedificios y holociudades

Los edificios entendidos como holobiontes que desarrollan procesos complejos.

Desde el pensamiento constructivo se han considerado tres hipótesis de partida:

- Todo está en permanente en evolución, en permanente cambio.
- Toda entidad u objeto está en procesos, la realidad son procesos.
Ambas fueron conectadas por Whitehead al afirmar que “el mundo es un proceso de devenir, nada es estático, todo es dinámico” (Whitehead, 1956).
- Nos podemos aproximar a la realidad desde la teoría de los sistemas complejos, para la que todo está conectado con todo, y es en las interacciones, donde se producen fenómenos emergentes. Es decir, aquellos que no devienen de las propiedades y características de los elementos/procesos interconectados.

Estos apriorismos, conllevan implicaciones metodológicas: nos aproximamos a una cierta realidad a través de procesos. También implica que todo está en permanente evolución en un sistema complejo. El habitar es una de sus resultantes, los edificios y las ciudades, otra. Estas hipótesis nos han permitido estudiar los edificios como parte de esos sistemas, por lo que nos ha permitido proponer cuáles son los procesos que tienen lugar en un edificio y dónde puede enfocarse la arquitectura. Para profundizar en el conocimiento de estos procesos en un sistema complejo, se ha propuesto aplicar tecnología IoT y Ciencias de la Computación como forma de medir y analizar los edificios. Si a su vez, la información obtenida de esta manera puede realimentar los procesos que tienen lugar en un edificio para potenciar su habitar, hemos convenido que el edificio puede denominarse inteligente.

Es decir, partimos de una cierta realidad procesual, a la que nos aproximamos a su vez mediante un proceso de pensamiento, lo que nos ha llevado a tratar de entenderla como un sistema complejo. Siendo consecuentes, para obtener información sobre estos procesos, debemos tener datos sobre las interconexiones, flujos y dinámicas que acaecen en un edificio. Por ello, se ha propuesto monitorizarlos mediante sensores.

Desde nuestra posición constructivista, entendemos que esa nueva “realidad” —conocimiento sobre el edificio— dependerá tanto de los sensores como de los métodos aplicados para generar información. Es decir, la realidad construida de esta manera dependerá de tres factores aparentemente independientes:

1. El estado de conocimiento de la tecnología IoT, es decir, qué pueden medir y qué situaciones, con qué rango de precisión, a qué coste y cómo transmiten la información.
2. El estado de conocimiento de los métodos de computación, es decir, con qué modelo simulamos y procesamos los datos para obtener información.
3. El estado de conocimiento arquitectónico, es decir, que nos permita identificar los flujos, parámetros y variables significativos para caracterizar el comportamiento de un edificio.

La idea de proceso nos remite a un constante *re-enaction*, *memory*, *repetition*. Fenómenos que se repiten, patrones. Es decir, proponer estudiar un fenómeno a través del estudio de los procesos que tienen lugar, no implica negar que hay cosas concretas, existentes

particulares que nos dan la continuidad de los fenómenos naturales o un hecho concreto, como una cierta arquitectura. Proceso es el devenir de la experiencia, sí, pero nos interesa incluir nuestra intuición, nuestra herencia y memoria (Whitehead, 1956, p. 230), tan cercana a la tradición arquitectónica y urbana (los occidentales nos situamos en el territorio y en el tiempo por los edificios). Esto se concreta en que todo se concreta en algo, pero también a que es el desarrollo de una aspiración subjetiva. Estamos tratando pues entre una visión estática —clásica— que se centra y estudia el objeto y una aproximación dinámica. La primera se centra en lo que permanece, como la forma, el material y la estructura. La segunda, en lo que cambia, como el comportamiento de las personas, los flujos energéticos o las dinámicas del aire o la luz.

Estudiar un proceso en base a obtener información implica que la metodología propuesta es dependiente de la elección de la información requerida y la forma en la que la obtenemos. Así, comprendemos que todo el proceso depende de si el conjunto de sensores, su ubicación, su análisis, de los datos, los modelos computacionales están bien/mal elegidos en base a cierta aproximación que solo puede ser intuitiva-experimental. Esta intuición es la forma en la que nos aproximamos a un edificio como un realidad-objeto que puede ser conocida en unidad. Bergson lo definió como “de forma absoluta”, en el sentido de que no lo percibimos parcialmente, que lo captamos en su totalidad, mediante un acto del pensamiento que es indivisible. Esto sólo se puede hacer a través de la experiencia. En cuanto queremos explicarlo, tenemos una serie ilimitada de factores, puntos de vista, que hacen imposible una comprensión absoluta del problema. Así, el análisis consiguiente, siempre será sobre una serie limitada de factores, desde solo algunos puntos de vista necesariamente parciales. Lo que siempre nos dará una versión limitada de lo estudiado (Bergson, 1960). Partir de Whitehead es asumir que toda entidad está entretejida con todo el resto (Whitehead, 1956, p. 74): esto es, considerar que todo está conectado con todo, y todo, influye en todo. A este respecto, hemos sido educados en aislar aspectos de problemas y resolver desde ahí sin preguntarnos por el resto de las conexiones. A la inversa, empezar con todas las conexiones, nos llevaría a la inoperancia. En este sentido, las ciencias de la computación y la AI, permiten estudiar conexiones entre variables a las que solo la intuición nos había permitido acercarnos, pero también otras completamente ocultas. Estas dos características de los modelos computacionales pueden ampliar nuestro horizonte, pero sin hacerlo infinito, solo dirigido por el problema que se haya planteado. Lo que se pretende expresar, es que vamos a mirar las cosas desde lo que cambia, no desde lo que le da consistencia aceptando de partida que “intuimos” hacia dónde vamos y qué queremos obtener. Por eso es más fácil entender el proceso energético de un sistema ingenieril que cualquier proceso complejo, como el biológico, el comportamiento social o el arquitectónico.

Concretado nuestro punto de vista, de acuerdo con la propia experiencia-intuición, definimos siete procesos que pueden producir comportamiento:

- *Procesos de transformación de energía.*

Indubitadamente son una de las causas principales del cambio climático y de una posible 6ª extinción. Hay investigadores que geolocalizan incluso su comienzo (Stegner et al., 2023). Los procesos termodinámicos son a su vez, la base sobre la que ha evolucionado la actual civilización tecno-industrial. Entre muchas de sus derivadas, las máquinas termodinámicas hicieron posible que el habitar humano se dissociara en dos. Hasta el s. XIX, la arquitectura era responsable tanto de dar habitación, entendido como generar un

refugio aislado del medio (en términos de algunas arquitecturas occidentales), como de proporcionar condiciones ambientales distintas de las del exterior. La industrialización se realizó principalmente en climas en las que es necesario calefactar, hizo posible que sistemas mecánicos independientes de la arquitectura, introdujeran el calor en ella. Esta disociación de carácter estructural, junto al interés de las ciencias sociales por lo simbólico y el lenguaje, hicieron posible la bifurcación arquitectónica y e ingenieril. La de una arquitectura entendida como arte, catalizador social, poesía o funcionalista, que en realidad producía contenedores para habitar de una especie en expansión demográfica. A su vez, el habitar fue recodificado por la ingeniería de climatización a un conjunto parametrizable de variables ambientales interiores. Cumplió el deseo humano de habitar confortablemente independientemente de las condiciones exteriores, sin ningún esfuerzo físico por parte de sus habitantes. Estos parámetros interiores basados una aproximación higienista de la arquitectura de Richard Neutra (Neutra, 1954), fueron desarrollados por los arquitectos Olgyay (Barber, 2017; Olgyay, 1967) y Givoni (Givoni, 1969, 1992; Milne & Givoni, 1979), a través de un diagrama psicométrico. Este es utilizado para evaluar el confort ambiental y es ampliamente utilizado aún en la actualidad. Un sistema de climatización pues, debía proporcionar la energía suficiente para mantener estas condiciones climáticas, independientemente de un ambiente exterior. Esta disociación resultó problemática, tanto para la arquitectura, pero en sí, para el habitar humano. Significó que todo espacio-contenedor, debidamente impulsado por máquinas térmicas (relegadas a sótanos), comenzó a producir ingentes cantidades de CO₂. Paradójicamente, pero no desde la teoría de los sistemas complejos, al mismo tiempo que separaban el habitar de las condiciones exteriores, se estaban cambiando las condiciones exteriores. El clima, el “tiempo”, pasó a ser un espacio televisivo, no un problema vital en relación con el hogar.

Es decir, si queremos conocer cómo desempeña un edificio su capacidad para modificar el clima interior, pero también, como afecta al medio, debemos medir los consumos de energía primaria de un edificio. Hay que evaluar el rendimiento térmico real (exergía y emergía) de sus sistemas de producción térmica, como calderas y bombas, midiendo directamente sus temperaturas exteriores y consumos. Esta energía, denominada energía primaria de operación. Pero también, se debe ser capaces de calcular la energía embebida en la construcción de los edificios. Se podrá realizar un balance entre la energía que procesa un edificio respecto a la energía que ha sido necesaria utilizar en su construcción. Este balance no es tan sencillo, ya que además de energía primaria, los edificios son grandes transformadores de energía solar a la vez que grandes intercambiadores térmicos. Para eso, debemos monitorizar, in situ, cuanta energía llega y cuanta se cede, tanto como la velocidad de transferencia. Hay que incorporar sensores en la medida que nos den la posibilidad de entender todo el ciclo global del edificio, como parte fundamental de una plataforma de IoT. Así, sensores de temperatura en la estructura, proporcionarán la base para obtener información de cómo afectan los ciclos estacionales.

También se debe cuantificar con precisión los patrones de consumo eléctrico en tiempo real. Se podrá de esta forma evaluar el desempeño del edificio real, no calculado. Se podrán identificar ineficiencias, pero, sobre todo, interconecta en cómo es afectado y afecta, al resto de los procesos definidos. En el mismo sentido, pero utilizando el CO₂ como métrica cuantitativa, se incorporará el edificio a los ciclos del carbono. Siempre de forma local, pero con perspectiva global. Uno de los objetivos claros de una plataforma IoT es asegurarse que los edificios sean climáticamente neutros. La activación y desactivación de los sistemas de forma lo más eficiente según los siete propuestos finales, es otro de

nuestros objetivos. Si bien se deben sustituir las fuentes de energía no renovable con energía renovable producida in situ, se debe comprender tanto el potencial máximo que pueden proporcionar hasta cómo afecta su instalación al resto de procesos estudiados.

- *Procesos de distribución de energía.*

Son los encargados de un control climático zonal. Con agua o con aire, incluiremos aquí los sistemas de ventilación, pero también los eléctricos. Estos sistemas también impactaron en la disociación arquitectónicas consiguiendo que configuraciones arquitectónicas disparatadas desde el punto de vista térmico, pudieran ser confortables (Koolhaas et al., 2018). Aquí lo fundamental es entender todas las ineficiencias, obteniendo valores en la impulsión (temperatura y caudal) de los sistemas, al ser posible por zonas. Cruzados con los valores de temperatura, humedad y CO₂ producidos durante los procesos arquitectónicos. Debemos asegurarnos de que somos capaces de conectar con los sistemas automáticos del edificio (tipo SCADA), de sectorizar, de proponer medidas rentables auto-sostenibles (económicamente) y saludables (valores permisibles de agentes contaminantes, COVs). En este apartado la regulación y control son las bases para las que se debe orientar la investigación. En este sentido, la automática para sistemas de climatización está más desarrollada que para el resto. Se quiera o no, estos sistemas serán los responsables de proporcionar unas determinadas condiciones de habitabilidad “térmicas”, pero, insistimos, no las condiciones de habitabilidad. Éstas, en su enfoque interrelacional que se propone aquí, son mucho más complejas, para las que, en estos momentos sólo tenemos intuiciones.

- *Procesos energético-económicos.*

Por un lado, se han definido los procesos energéticos, es decir, un conjunto de operaciones que nos permiten transformar ciertos estados de la materia con trabajo. Sabemos que ese trabajo va a consistir en calentar o enfriar cosas utilizando energía.

En el actual contexto, cuando se habla de eficiencia, se mezclan dos enfoques.

- Hacer más con menos energía¹⁴⁰.
- El segundo, ahorrar energía

Ambos están relacionados tanto con cuestiones de cuantificación económica como con cuestiones sobre limitación de energía o consideraciones medio ambientales. Esta cuantificación económica que condiciona en gran medida las inversiones necesarias para mejora el desempeño de un edificio, dependen de un gran conjunto de variables. El mercado energético es muy complejo¹⁴¹, por lo que

¹⁴⁰ Lo que comúnmente se denomina aumentar el rendimiento del sistema. en términos exergéticos, que utilicemos sistemas que permitan obtener la máxima cantidad de trabajo de una determinada energía en un determinado entorno. Las variables aquí serán medir la cantidad de energía utilizada y medir la resultante. Pero, además debemos conectarla con variables medioambientales, como contaminantes producidos en sus procesos de obtención, transformación y transporte de la energía primaria. También de las afecciones al medio en su proceso de transformación in situ, en el propio edificio

¹⁴¹ Tanto, que la institución referencia a nivel mundial realizado por BP y la Universidad Herit-Wtt, el “Statistical Review of World Energy”, afirma este 2023 que “el mundo de la energía está cambiando rápidamente y es cada vez más complejo, y nuestro equipo de energía y economía está centrado en

prever el coste de la energía a corto o medio plazo resulta prácticamente imposible. Es decir, aunque a la hora de toma de decisiones sobre el diseño o reforma de edificios, las cuestiones económicas sean fundamentales, cuantificar los ahorros en términos económicos de implementar sistemas IoT para entender cómo se comporta un determinado edificio, o aplicar conocimiento sobre nuevos diseños, no es simple.

Se pueden, sin embargo, establecer en términos generales algunas tendencias (BP, 2023).

- Aumento de los precios energéticos.
- Disminución del consumo de energías no renovables.
- Aumento del consumo de energía renovable y la descarbonización.
- La transición energética hacia energías renovables permite una mayor independencia de los mercados globales y seguridad en el suministro.
- Las tensiones energéticas y la inestabilidad geopolítica irán en paulatino crecimiento conforme crezcan los problemas derivados del cambio climático.

A su vez, como afirman todos los informes, la valoración de la energía en el mercado energético actual, no es independiente de los factores sociales, climáticos y en parte, del consumo de los edificios. Los cambios en los sistemas de producción y la implementación de energías renovables en los edificios, repercutirá de forma directa en el precio y tipo de energía. En todo caso, siendo el precio de cada un edificio externo a los procesos que tienen lugar en el edificio, se debe cuantificar para mostrar qué ahorros esperables se pueden obtener haciendo el estudiar-edificios-horarios óptimo. Sin embargo, a medio plazo, la medida generalizada será el binomio €/CO₂ y no se debe perder de vista.

- *Procesos arquitectónicos.*

Generalmente no vemos edificios que cambian, se mueven o se transforman, aunque ocurre constantemente. El concepto dinámico no cambia, pero no responde a las velocidades temporales temporal del resto de los procesos que nos referimos aquí. Por lo tanto, nos centramos a cómo responde el edificio térmicamente (lo hace de muchas más maneras). Es decir, dadas unas condiciones climáticas y unas condiciones interiores, unos parámetros materiales y una forma, podemos prever cómo se comportará. Aquí, se cambia el enfoque. Las condiciones térmicas iniciales, serán un a priori, las estandarizadas, aunque aprenderemos que no son las que ni las que se dan, ni las que se desean, ya que cambian según una multiplicidad de factores. Son dinámicas e intensamente relacionadas con todas las anteriores. Pero podemos observar cómo los humanos nos movemos buscando siempre que se puede las condiciones que son más confortables para una determinada actividad. La arquitectura, debería ser capaz de hacer posible la máxima cantidad de situaciones posibles. Por nuestra parte, sensorizando flujos, ser capaces de detectar estos patrones de comportamiento que hemos denominado habitar. Pero también de prever que qué pasaría si cambiamos toda una envolvente, colocamos un nuevo acceso,

comprender los diferentes elementos de la transición energética y sus implicaciones para BP [...] que estamos estudiando las opciones para publicar el informe anual Statistical Review of World Energy".

abrimos o cerramos huecos, o disponemos una zona vegetal en un determinado lugar. No solo en relación con un proceso térmico, sino a los otros seis procesos identificados. Para evaluar el desempeño de los procesos arquitectónicos, utilizaremos las métricas obtenidas de los sensores de cada una de las zonas, básicamente medidas de temperatura, humedad, presencia y CO₂. También de COV's. Sin olvidar la radicación solar que incide y las condiciones de iluminación. Este es un punto polémico, ya que normalmente, se relacionarían estas métricas con el desempeño de los procesos de producción y distribución climáticos. Este cambio supone incidir en que es la arquitectura la que proporciona un espacio habitable, con unas determinadas condiciones.

- *Procesos climatológicos.*

Es decir, cambios atmosféricos que nos producen sensación de frío calor, comodidad o incomodidad. Los podemos medir por la temperatura, la humedad, velocidad del viento, pero también incluimos aquí contaminación ambiental. Nuestra aproximación topo-lógica, nos indica que tenemos que conocer el estado de estas variables en el lugar del edificio y no de forma general. Sin desarrollarlo aquí, reconocemos que la capacidad de un edificio para cambiar las condiciones climáticas globales puede ser despreciada, pero no las locales. A su vez, es evidente que el sumatorio de todos los procesos de habitar, está cambiando el clima. Además, los edificios son capaces de cambiar radicalmente las condiciones de habitar en sus exteriores. Debemos monitorizar y sensorizar los exteriores con estas dos perspectivas.

- *Procesos humanos.*

Habitar un edificio incluye desplazamientos, movimiento, acciones y acontecimientos. El cómo estás en un sitio influye en el comportamiento. Si estás bien permaneces, si no estás bien no permaneces. Permanecer en un sitio de forma amigable es tan sólo una de las formas del habitar. Sin embargo, el habitar amplía las posibilidades de interacción, intercambio e interconexión.

Procesos biológicos no-humanos.

Es el habitar de todas las especies vivas con las que compartimos el espacio y el tiempo. Evidentemente nuestros patrones y construcciones, así como la forma que transformamos la energía y afectamos al medio les influye. No sabemos en qué medida, salvo que hay una pérdida de biodiversidad. Menos evidente es que la pérdida de biodiversidad nos afecta. La biodiversidad es una manera indirecta de evaluar las conexiones que se establecen en el ambiente. A más biodiversidad, más conexiones en lo que se denomina la trama o la red de la vida. Es una manera de valorar los activos, o también, "salud" de un ecosistema o la nuestra propia (World Health Organization, 2015). A menos biodiversidad.

Los patrones de comportamiento biológicos no humanos, son los comportamientos que se producen de los seres no-humanos en el entorno inmediato de los edificios. Solo ahora empezamos a entender los vínculos entre nuestra salud física y mental con la simplificación y reducción de la exposición humana al medioambiente. Por otro lado, a nivel global, la pérdida de biodiversidad está relacionada con una baja productividad agraria, con efectos más intensos de pandemias, con vulnerabilidad ante plagas y reducción del agua potable. Este será uno de los vectores principales de la segunda mitad

del S. XXI y, seguro, el principal del S. XXII. No solo porque su reducción de la biodiversidad y salud pueda ser preocupante, o sobre la nutrición y el agua sino también porque supone un cambio ético y de posición del ser humano en relación a la tierra. Medir las condiciones de habitabilidad de estas especies y encontrar cómo favorecerlos, es a medio plazo garantía de salud y bienestar. Además, de ser una de las estrategias clave para controlar el cambio climático. La variación de temperatura supone un riesgo global sobre las especies, principalmente insectos (Warren et al., 2018), que podría entrar en un espiral de extinción (Barnosky et al., 2011; Kolbert, 2014; Wilson, 2020) lo que llevaría a un colapso del ciclo del carbono (Rothman, 2017). En todo caso, los datos no cejan de ser negativos, siendo las tasas de destrucción de la biodiversidad superiores a las esperadas y una métrica nítida de la extinción en ciernes (Cowie et al., 2022). Uno de los desafíos actuales es medir la exposición que la pérdida de biodiversidad supone. Su complejidad se debe a la densidad de relaciones y la limitación de datos actuales que combinan mediciones indirectas mediante satélite y trabajos de campo. Ante un desafío global, las métricas de biodiversidad deben realizarse y comprobarse in situ, es decir, son específicas de una determinada ubicación. Esto hace que los proyectos basados en tecnologías de monitorización y sensorización IoT, sean fundamentales para conocer su evolución. De esta manera no solo se podrán alimentar los modelos globales de predicción (catastrófica en todos los casos) sino también, con las métricas obtenidas, generar modelos de detección de áreas sensibles a la biodiversidad. Esto permitirá que planificaciones económicas o territoriales, puedan identificar tanto procesos o acciones, como actuaciones directas, ubicadas en áreas de alta biodiversidad, como bosques saludables, áreas privilegiadas para la conservación o áreas ricas en especies. Las métricas de detección de deforestación nos pueden ayudar a evaluar a su vez, zonas o potenciales de pérdida de biodiversidad. No solo se puede generar un conocimiento del entorno próximo sino también, directa o indirectamente a extrapolar estrategias que permitan ante una acción humana, evaluar cómo una operación directa en un área incrementa o disminuye el riesgo de pérdida de biodiversidad. Cualquier administración, también empresas, incluidas las agroalimentarias, debería contar con métricas que permitan identificar riesgos potenciales de un territorio dado. A medio plazo, la afección de cada edificio, de cada actividad en su entorno próximo, debería ser un parámetro con el que evaluar su desempeño. A largo, una medida para establecer o no sobrecostos en sus transacciones.

Estos procesos los podemos identificar por los patrones de comportamiento que se nos muestran en las acciones: patrones de comportamiento del entorno biológico, de los sistemas de producción de energía, de los sistemas de climatización y ventilación, del precio de la energía, de la arquitectura de los edificios, del ambiente exterior, y de los usuarios. Todos están interrelacionados en una red compleja. La interacción entre ellos no sigue ni mucho menos correlaciones lineales. Hay mutuas influencias que no paran de cambiar. Sabemos que el habitar —que depende al menos, de siete— está planteado desde su independencia. Aumentar el conocimiento sobre la influencia de cada uno de estos procesos aumentará el conocimiento arquitectónico, y por lo tanto, influirá de manera determinante en los nuevos diseños y estrategias de rehabilitación del entorno edificado. Actualmente, el habitar —proceso sobre el cuál el arquitecto trata de proyectar siguiendo patrones intuitivos—, se nos muestra como aparentemente independiente de la configuración arquitectónica (básicamente forma) y urbana. ¿Qué quiere decir esto?

- Que las personas utilizan los edificios cuando “toca”, es decir en función de la empresa en que trabajan, estudian o viven, cuya arquitectura ha tenido poco que ver en su elección.
- Que el ambiente exterior se considera dato externo en todo proyecto tanto arquitectónico como ingenieril.
- Que el comportamiento de las personas en un edificio está más determinado por su función más que por su configuración arquitectónica.
- Que el precio de la energía varía según lógica de mercados capitalistas y no por los procesos que tienen lugar en un cierto edificio.
- Que el medio ambiente y la vida de otros seres no se ha integrado en la lógica de los edificios (o desde la lógica de la máxima separación).
- Que los sistemas de climatización responden a unas condiciones de demanda energética más que a factores de forma en la que se utilizan los edificios.
- Que los sistemas de producción de energía se activan en función de las demandas de climatización.

Hacia un nuevo paradigma para los entornos contruidos

Información y sistemas físicos, un camino para ampliar el conocimiento

Buscamos un cambio de paradigma en la forma en la que conceptualizamos los edificios. Al igual que no se estudian fenómenos complejos a partir del dato, por ejemplo, de la posición específica de los átomos y nos centramos en un estado macroscópico, no podemos entender un edificio a partir de variables discretas o elementos. Pero también sabemos que no podemos ni entender ni caracterizar el sistema sin datos. Es decir, proponemos **una aproximación multiescala de los datos, que deben transformarse en conocimiento:**

- La primera, la caracterización macroscópica, la podemos denominar “**termodinámica**” tal y como se hace para conocer estados de sistemas, normalmente con variables como la temperatura, la presión o el volumen. Nos da el conocimiento general sobre la situación del sistema.
- La segunda, la información, la podemos denominar “**computacional**”¹⁴² (Serón Arbeloa, 2022, 2023) se centra en los procesos de obtención de datos, es decir, cuales procesar, dónde y cuándo, con qué periodicidad. Se trata de reconocer que solo un pequeño porcentaje de los datos colaborarán a aumentar el conocimiento sobre el sistema, haciendo posible la toma de decisiones en tiempo real (realimentación). De lo contrario, sabemos que la cantidad de datos se hace rápidamente inmanejable, con altos costes de proceso y almacenamiento.

En esta primera fase, ante la disyuntiva de no hacer nada y seguir el camino de la simulación energética de edificios mediante la construcción de un modelo virtual estático, incapaz de atrapar la complejidad del sistema y, menos de ser la base de una realimentación en tiempo real, se eligió la toma de datos de las máximas variables plausibles. La transformación de los datos obtenidos en conocimiento arquitectónico proporciona la oportunidad de explorar nuevas aproximaciones al hecho constructivo, dar lugar a una más profunda comprensión de cómo habitamos y responden los edificios e innovar en la relación entre los sistemas. Por último, descubrir cómo los sistemas biológicos se pueden entrelazar de forma efectiva en nuestra forma de vivir y diseñar espacios contruidos. Sin embargo, en esta era digital, a diferencia de otras formas de construir conocimiento, esta transformación de los datos en información debe proporcionar la capacidad de interactuar con los sistemas de forma rápida y precisa. Debe ser **capaz de adaptarse** a situaciones con incertidumbre en tiempo real. Encontramos pues, diferentes campos de acción implícitos en el cambio de modelo:

- Conocimiento a partir de datos para comprender mejor cómo habitamos y funcionan los entornos contruidos humanos aplicable en nuevos diseños y planteamientos arquitectónicos.
- Conocimiento a partir de datos para entender cómo funciona un determinado entorno contruido, con el que implementar estrategias de intervención para su optimización.

¹⁴² Según Paco Serón, computacional es el nombre correcto de las máquinas informáticas

- Conocimiento a partir de datos para la toma de decisiones en tiempo real capaz de adaptar los sistemas del edificio a las condiciones reales de operación.
- Conocimiento a partir de datos para comprender cómo afectan los edificios a las personas que los habitan, al medio con el que interactúan.
- Conocimiento a partir de datos para comprender cómo los edificios interactúan con otros edificios, como parte fundamental de la red (malla) urbana.

Siete variables para un entorno complejo

El comportamiento de un edificio depende de:

1. **El habitar**, ya que es su función principal, es decir, dotar de espacio confortable y saludable a los humanos. Un edificio vacío no consume, uno que no da “habitación”, que no ofrece condiciones para ser habitado, no maximiza su función principal (que no es la simbólica). Su variable es la ocupación, pero también otras menos medibles, sobre la preferencia de ciertos lugares para realizar ciertas actividades. Todos ellos configuran lo que denominamos, “**patrones de comportamiento de las personas**”.
2. **El clima**, que, aunque no depende de nuestras decisiones, determina la respuesta de un edificio. Con frecuencia olvidamos que climas constantes, por ejemplo, de 22 grados, no es necesario ningún sistema HVAC y los edificios solo tienen que centrarse en proporcionar habitar. A la inversa, en un clima extremo, es fundamental disponer de un HVAC por muy pasivo que sea el edificio ya que la configuración y elementos constructivos no pueden proporcionar la energía necesaria. Es el gradiente térmico con respecto a nuestro metabolismo, el que interesa. Además, el gran cambio conceptual de este XXI es conocer que el sumatorio de nuestras acciones (de nuestro habitar, de transformar la materia y de la nuestra movilidad) modifica el clima, produciendo dos grandes efectos: crisis del agua y la pérdida de biodiversidad.
Las variables con las que conceptualizamos el clima son las temperaturas y humedad exteriores (muy importante que sea por zonas), la irradiancia solar y el viento. Todos ellos configuran lo que hemos denominado “**patrones de comportamiento del clima**”
3. **El edificio** que, con su orientación, materiales, configuración arquitectónica, sus sistemas pasivos, el desempeño de su envolvente, proporciona el habitar. Medimos su desempeño con sus temperaturas y humedades interiores, la temperatura de sus muros por zonas, la concentración de CO₂ y la iluminancia. Todos ellos configuran lo que hemos denominado “**patrones de comportamiento de los edificios**”.
4. **El sistema HVAC**, principalmente caracterizado por su consumo energético, las temperaturas de impulsión y de retorno. Cuando se puede, caudales. En todos casos, por comportamiento operacional. En este contexto, también por su huella ecológica, es decir, lo que emite a la atmósfera en sus procesos de transformación de la energía.
5. **El precio de la energía y sus costes asociados**, que influyen en gran medida en las decisiones sobre nuestro confort. Esta capacidad de afección corresponde

a el comportamiento simbólico, materia de estudio de las humanidades y ciencias sociales. Está muy imbricado con el habitar hasta tal punto, que las sociedades capitalistas, pueden confundirlo. Este factor es claramente diferencial con el resto de las especies con respecto a la transformación de la materia y energía (refugio, alimento), por lo que algunas teorías inciden en lo simbólico como lo estrictamente humano. La religión, las fórmulas y modelos matemáticos, el dinero o la literatura, son buenos ejemplos de ello.

Desde luego, en el sistema hay que meter otros dos, una vez más,

6. **La producción renovable in situ**, principalmente fotovoltaica y geotérmica. No pueden ser entendidas como meras centrales que producen. Deben ser estudiadas junto con el habitar, ya que nos indica actividades y acciones influenciadas con los momentos en que podemos producir más. En viviendas unifamiliares, esta combinación es clave.
7. **La biología**, principalmente la acción de la vegetación sobre el desempeño de las personas y el edificio. Pero también, sobre el cambio de comportamiento de los ocupantes, la influencia sobre y de los edificios sobre consumo energético, así como su capacidad para proporcionar el habitar de más biodiversidad.

Como hay que tomar decisiones, hay que jerarquizar. La UZ entiende la economía (5) como un factor principal para la toma de decisiones, cuando la prioridad es el habitar. Otras universidades, por el contrario, son más conscientes. Para ellas, sin un habitar, no hay universidad.

—A modo de ejemplo, la USJ ha construido 3 edificios -encargados a un arquitecto con gran trayectoria- representativos, más dos edificios nZEB, uno de ellos solo para estudiantes, más un bosque. Todo ello en el periodo que la UZ ha conseguido a duras penas construir un edificio tipológico y desfasado, con gran sobre coste, que vuelve a dar la espalda a la ciudad y sin pensamiento reflexivo sobre la biodiversidad (incluida el humano) o el aprovechamiento inteligente (arquitectura HI) y menos, a la arquitectura AI que defendemos. Evidentemente ganó la propuesta que minimizó el punto 5 -honorarios profesionales-, la pescadilla se muerde la cola) —.

Nuestra propuesta debe de ser clara:

- el habitar universitario (1) es la prioridad al mismo tiempo que es consciente de que el habitar humano está mermando la biodiversidad (7).
- No es una posición altruista, al contrario, es egoísta: al depender este habitar del resto de las especies, un habitar del s.XX conlleva a medio-largo, la pérdida del nuestro.

Equipos multidisciplinarios

Como ingenieros y arquitectos que nos hemos focalizado sobre lo que hemos llamado “entorno construido”, detectamos que nuestro campo de influencia está básicamente limitado al habitar (1), los sistemas de climatización (4) y la promoción de la biodiversidad (7). Me explicaré. Las decisiones de nuestro enfoque IoT hace que nuestro sistema recoja datos del habitar, del clima y del edificio (1, 2 y 3) para operar sobre los sistemas de climatización, los sistemas pasivos o activos del edificio (3 y 4). A su vez, aceptado que nos encontramos en un sistema complejo y, por lo tanto, realimentado, nuestro análisis y visualización de la información conllevará cambios en el habitar (como bien se ha visto que cambios económicos). Nuestra aproximación debe de ser capaz de mostrar diferencias en el comportamiento de zonas con rica biodiversidad, frente a las que no la tienen. Promover la utilización intensiva (en densidad y calidad) del edificio —estar— debe de ser el objetivo de la monitorización. Es algo que hacemos ya, que podemos seguir haciendo (al cuantificarlas). A su vez, solo el sumatorio de nuestras acciones de forma global (holística), tendrá influencia sobre el clima global (2), recordándonos que también habitamos un sistema realimentado, la Tierra.

Aquí surgen dos comentarios sobre los edificios (3) y su climatización (4).

- Los comentarios y análisis sobre la idoneidad o no de la configuración arquitectónica de los edificios existentes, son baldíos. Es tanta la inversión económica (5) necesaria para mejorar la envolvente de un edificio o cambiar su orientación, que son inaplicables a escala global.
- Hay que recordar, que el diseño arquitectónico de la segunda mitad del s. XX parte de la premisa no explícita, de que su configuración arquitectónica arquetípica se basa en considerar infinito el entorno (2) y la energía (5). Es decir, se diseñaba como si el medio fuera un sistema ideal del que obtener calor y energía con capacidad ilimitada de verter residuos. Su máxima ha sido dar **confort urbano** al crecimiento exponencial de la demografía humana. Este ya no es el problema del s. XXI: es gestionar las consecuencias de este aumento.
- En algunas ocasiones será más fácil y rentable (5) demoler y empezar de nuevo. En otros, seguir construyendo edificios nuevos. En los dos casos, **todo lo aprendido con nuestro universo IoT sobre edificios, el medio y las personas, será (es) fundamental.**
- Confundir nuestro sistema complejo con la acción sobre la climatización, es uno de los errores que estamos cometiendo. Afortunadamente el vicerrector es un *humanoqueescucha*, y reconoce que somos más que ingenieros “térmicos” jugando con *sus* instalaciones. Si no, no se habría llegado hasta aquí, ni con Serón (digitalizar) ni con Pueyo (comportamiento humano).

Un ingeniero debe ser capaz de aplicar soluciones SMART (Specific, Measurable, Actionable, Realistic, and Time-Based) al mismo tiempo que conoce las soluciones ideales (arquitectura y ciencia). De forma plausible, efectiva, realizable, realista, pragmática, nuestro sistema, es un camino. No el único camino, pero sí, el camino transversal (debemos probarlo).

- Plantamos árboles que den sombra, perfecto, monitorizarlos, controlamos su riego, su estado, sus efectos sobre el habitar y sobre el edificio.

- Instalamos FV, perfecto, monitoriza su producción, visualiza cuándo se está produciendo, crúzalo con el comportamiento humano y del edificio.
- Renovamos la envolvente, perfecto, conoce en qué puntos tendrá más sentido invertir, descubre que no es lo mismo el este que el oeste, abre los espacios a la naturaleza, permite la ventilación natural, indicando cuando abrir y cuando cerrar, identifica cuando la irradiancia nos ayuda, cuando debemos evitarla.
- Cambiamos o renovamos el sistema HVAC... perfecto, conoce qué sistema se adecua más al patrón específico de comportamiento de un edificio y sus habitantes, a las energías in situ, conéctalo con su envolvente, orientación, etc.

Actuar desde el paradigma económico (5), y por lo tanto desde la perspectiva simbólica puede conllevar una evaluación incorrecta de sus consecuencias. Los edificios son grandes transformadores de energía y materia, requieren e intercambian mucha información. Estas transformaciones e intercambios no actúan en el campo de lo simbólico, sino de forma física (materia) sobre el entorno físico, sobre nuestro ecosistema. Aunque lo pueda ser para nosotros, este ecosistema global, no un entorno simbólico y está transformándose. La confusión entre estas dos perspectivas es permanente, de forma que se entrecruzan aproximaciones en las que se toma lo simbólico (estrictamente humano) por lo real, y lo real, el entorno físico (el mundo) por una construcción subjetiva de nuestra percepción. La naturaleza es una realidad material, objetiva, real, existente independiente de si la percibimos, aunque al mismo tiempo, nuestra percepción y comportamiento socio-simbólico, la transforma. Los primeros actuaran siempre sobre sistemas ideales: política, economía, modelos, que están más allá de la realidad. Los segundos, siempre sobre sistemas materiales, que puedan medir, acotar, afectar. La universidad es un sitio difícil, ya que está lleno de idealistas que creen ser materialistas (filosofía y letras) y materialistas que actúan como idealistas (científicos).

Crisis y cambio de paradigma

Cualquier cambio de enfoque implica crisis. Éstas proporcionan las condiciones para que lo que se plantea de una cierta manera, pueda cambiarse. A su vez, los cambios de paradigma se suelen producir fuera del paradigma, puesto que los conocimientos que definen un enfoque, también lo acotan y lo limitan. Nuestro papel como universitarios, palabras de Paul Feyerabend debería recordar que “la mejor educación consiste en inmunizar a la gente contra los intentos sistemáticos de educación”.

Observamos que en ingeniería y arquitectura se olvida con cierta facilidad que trabajamos con modelos que han sido contruidos desde las observaciones y medidas que eran posibles en cada época. Es decir, todo modelo o teoría se basa en los datos disponibles en ese momento. En la actualidad nos encontramos en un cambio de paradigma que pone ciertos enfoques en crisis. No podemos seguir obviando el gran volumen de datos que producimos y que somos capaces de analizar. Éstos podrían utilizarse para “complejizar” los modelos disponibles, de forma que se añaden coeficientes y matices a los modelos clásicos con los que operamos y simulamos. Es otra manera es asumir que “*all models are*

wrong, but some are useful”¹⁴³ y tratar de cambiar la perspectiva. De lo que se trata, no es del rigor matemático de una formulación matemática, si no de que la predicción sobre el comportamiento de un sistema a través de un modelo u otro sea más exacta que otra. Además de la exactitud, la utilización de un modelo frente a otro también está supeditada a si el modelo es dinámico o estático. En los sistemas estáticos, o muy estáticos, como una estructura, es posible utilizar modelos que den una solución o un conjunto de soluciones fiables, con poco coste computacional. Aunque que requiera una computación compleja, no es relativamente una dificultad, dado que la estructura debe estar fijada mucho antes de que la construcción comience. Para sistemas dinámicos en los que se solicita actuar sobre el sistema en tiempo real, los modelos, además de ser precisos, deben ser capaces de computar en tiempos finitos.

Sensorizar, o la ampliación de nuestro campo de conocimiento

Todos los modelos están basados en los datos disponibles. La consecuencia es que todos ellos dependen directamente de la evolución técnica, dado que es la técnica la que proporciona los dispositivos que miden los parámetros de la realidad. Cada día, con mayor profusión, capacidad y precisión. Dicho de otra manera, **los sensores son ampliación de nuestra capacidad de observar el mundo**. En la actualidad estamos inmersos en un crecimiento exponencial en la generación de datos, de manera que ni nuestros modelos, pero tampoco nuestra inteligencia humana puede asumir esta tasa de incremento. En otras palabras, producimos más información de la que somos capaces de procesar con nuestra inteligencia, por lo que o bien aumentamos nuestras capacidades, bien cambiamos los modelos (o las dos). Para la primera opción, estamos desarrollando la Inteligencia Artificial; para la segunda, metodologías que no buscan relaciones causales, sino patrones, correlaciones ocultas (o a veces intuitivas, pero sin modelo físico), tendencias a partir de las observaciones. Combinar ambas aproximaciones constituye el cambio de paradigma en el acceso del conocimiento que dará los mejores resultados para sistemas complejos. De lo que se trata, es de aprehender esta doble entrada para proponer una hibridación en la que las nuevas perspectivas dirijan la toma de datos, y a su vez, los nuevos datos, proporcionen nuevos campos de exploración. Es lo que hemos denominado desde nuestra propuesta de edificios inteligentes, habitar salvaje. Es decir, combinar una aproximación termodinámica para caracterizar el estado macroscópico del sistema-edificio, y otra, informacional, capaz de establecer qué variables son más determinantes, cómo se afectan las unas a las otras. Todo ello debe ser capaz de aumentar nuestro conocimiento sobre los edificios, de la misma manera que es un procedimiento aplicable para obtener más conocimiento del medio, también sobre nuestras acciones, a la vez que nos permite tomar decisiones más rápidas y precisas sobre los sistemas. Estamos convencidos de que el estado del mundo solo podemos captarlo a través del conocimiento, solo nos lo pueden dar la paciencia de la observación pausada.

¹⁴³ Box, G. E. P. (1976), "Science and Statistics", Journal of the American Statistical Association, 71 (356): 791–799, doi:10.1080/01621459.1976.10480949

Sistemas complejos y reconocimiento de patrones

La propuesta presentada se alinea con lo observado en la naturaleza. Es importante entender que aumentar nuestras capacidades a través de la IA y nuevos modelos no implica superar a la naturaleza, como se podría pensar. Los humanos realizamos operaciones sumamente complejas como conducir o hablar un idioma. Estas propiedades no las observamos en otros seres vivos por lo que hemos identificado la inteligencia desde capacidades propias y únicas. En contra posición, cuando nos alejamos de estas características, nos cuesta identificar como inteligentes comportamientos de otros seres, a los que denominamos “menos inteligentes” o sin inteligencia. No obstante, actividades cotidianas para nosotros como para otras muchas formas de vida, tales como caminar, respirar o refugiarse, demuestran procesos altamente complejos a pesar de la diversidad de sistemas involucrados. Reconocer de forma instantánea cualquier forma de vida frente a lo inanimado o discernir con facilidad lo realizado por nosotros de lo hecho por otras especies (hasta ha producido la dicotomía artificial y natural), son procesos no triviales e inteligentes compartidos también con otras especies. La focalización del concepto de inteligencia en actividades únicamente humanas desechando otras, se deriva en parte de la cotidianidad con la que acometemos ciertos procesos.

Intuitivamente, sabemos que no necesitamos sensorizar miles de parámetros para realizar operaciones como correr o hablar de forma consciente. Nuestro cerebro la hace en tiempo casi instantáneo. Aprendemos a través de la repetición, creando patrones de activación en respuesta a diferencias y cambios. En este contexto, utilizamos la noción de patrones para expresar las combinaciones de factores en secuencias correctas y con intensidades precisas de muchos miles de variables para generar respuestas específicas. Desde la perspectiva de la neuropsiquiatría, se ha propuesto que nuestro cerebro ha desarrollado una “biblioteca” de estructuras de interconexiones neuronales estables, a las que llamamos “engramas” (Poo et al., 2016).

El concepto de engrama aborda la idea de huellas de repetición que quedan en nuestro cerebro después de haber llevado una acción o pensamiento con regularidad. Estas huellas permiten que ciertas actividades sean realizadas de manera inconsciente. Los engramas son esenciales para la creación de factores de comportamiento y habilidades automatizadas (Tonegawa et al., 2015). Operan como repeticiones acumulativas con diferencias mínimas, posibilitando procesos y comportamientos fluidos y eficientes. Si bien percibimos la uniformidad y continuidad de las cosas a través de la aparente repetición de nuestro entorno y acciones, siempre existen sutiles diferencias que confieren singularidad a cada repetición (Deleuze, 2002b). En este contexto, “Diferencia y repetición”, Deleuze argumentó que la diferencia es un concepto esencial de la realidad, en contraposición a la perspectiva predominante en la filosofía occidental, que ha enfatizado la identidad y similitud. La repetición no constituye una mera reproducción o duplicación, sino un proceso generativo que conlleva la producción constante de diferencias.

Por otro lado, hemos observado cómo los sistemas complejos están estructurados en base a la idea de que existen fenómenos compuestos por innumerables interconexiones y elementos. Esto hace que no podamos percibir ni comprender todas sus interacciones de forma individual. No obstante, podemos observar un comportamiento coherente que tiene la capacidad de adaptarse a entornos cambiantes. Es decir, en un cierto nivel, encontramos diferencias en cada una de las interacciones, pero en otro nivel, vemos

patrones de comportamiento. En otras palabras, no entendemos bien cómo funciona internamente el sistema, pero somos capaces de comprender y prever su evolución.

Así, podemos estudiar el concepto de inteligencia ya sea de un ser vivo o en IA, basándonos en patrones. De esta manera, destacamos la importancia de identificar patrones en los datos para construir engramas y generar respuestas coherentes de manera automatizada. Esto se aplica tanto para producir comportamientos como para generar acciones y pensamientos. El proceso de toma de decisiones automáticas en un entorno complejo podría describirse de la siguiente manera:

1. **Reconocimiento de patrones:** identificar patrones en los datos permite extraer información significativa y tomar decisiones informadas.
2. **Aprendizaje a través de la repetición y variación:** La exposición constante a situaciones similares, aunque no idénticas, contribuye a mejorar los patrones y la comprensión de las relaciones entre los datos, las condiciones y las respuestas del sistema.
3. **Almacenamiento de respuestas efectivas:** Una vez que se ha identificado una respuesta efectiva a un patrón específico, esta respuesta se almacena para futuras referencias. Podemos llamarlo "engrama artificial", ya que representa la respuesta almacenada a una situación.
4. **Activación de respuestas almacenadas:** Cuando se detecta una situación similar en condiciones presentes o futuras previsibles, se activa y aplica la respuesta almacenada. Sin embargo, sabemos que esta respuesta no es una reproducción idéntica y puede adaptarse y ajustarse según las circunstancias siempre cambiantes.
5. **Realimentación y mejora continua:** La realimentación permite comparar el rendimiento de la respuesta automática en función del entorno, lo que lleva a ajustar y modificar el engrama para una mejor adaptación a las circunstancias cambiantes, que sabemos que evolucionarán.

Para ser inteligente en un entorno complejo, ya sea como seres humanos, IA o incluso edificios inteligentes, subrayamos la importancia de utilizar patrones, lo que conlleva a su vez un aprendizaje basado en la repetición y la variación, el almacenamiento de respuestas efectivas y la adaptación para mejorar y responder eficazmente a contextos cambiantes. En el ámbito de la informática, este proceso sigue pautas similares: sensorización y toma de datos, almacenamiento de memoria, identificación de patrones o secuencias de información, representación de los datos para su utilización y realimentación mediante el aprendizaje automático.

Si nos alejamos de la informática y tomamos un ejemplo más intuitivo como la acción de caminar, podemos entender mejor este proceso. Aunque caminar es aparentemente sencillo, exige adaptaciones fisiológicas y neuronales que permiten mantener un estado de desequilibrio estructural constante. Esta habilidad es excepcional entre las formas vivas, lo que nos permite adaptarnos a una amplia variedad de actividades complejas en diferentes hábitats. Sin embargo, desde la cotidianidad, a menudo pasamos por alto la complejidad involucrada en este proceso. Implica desde el manejo interno del desequilibrio dinámico hasta el reconocimiento cambiante del entorno (por no entrar en los ajustes energéticos internos, a través del metabolismo). Este proceso de reconocimiento de patrones se lleva a cabo de manera instantánea y con un consumo de energía extremadamente bajo en comparación con los sistemas informáticos disponibles.

Al caminar y realizar otras acciones similares, el cerebro procesa una gran cantidad de información sobre la ubicación de cada parte del cuerpo para ajustar nuestros movimientos al entorno, en un proceso denominado propiocepción (Laskowski et al., 2000). A su vez, el entorno solo es reconocible a través de sensores, nuestros sentidos. Aunque aprender a caminar puede ser un proceso costoso en términos de tiempo y esfuerzo, una vez asimilado, dispara engramas de manera automática para ajustarnos a diferentes escenarios.

Si en vez de caminar, cambiamos de medio y queremos bajar rápidamente por una montaña, las cosas son diferentes (Riskowski et al., 2005). Correr por una montaña es un proceso extremadamente complejo que requiere la coordinación de casi incontables acciones en tiempo real. Podríamos considerarlo como una extensión intensificada de la habilidad de caminar, con algunos contrastes (Drum et al., 2023). De forma similar a caminar, reconocemos la superficie como un medio coherente e identificable gracias a sus elementos (piedras, raíces, cambios de superficie, etc.), pero a su vez, diferente de entornos más habituales. A su vez, cada uno de los pasos que tenemos que dar, se enfrenta a unas condiciones locales muy desiguales. Si se proviene de un entorno urbano, acostumbrados a ciertas velocidades, la primera vez que te expones a este medio, careces de un “almacén de respuestas efectivas”. En otras palabras, las estanterías de engramas estarán vacías, lo que te obligará a combinar los engramas de caminar “urbano”, con el control consciente, ralentizando así el proceso. El resultado es que te moverás a un ritmo más pausado, te cansarás y en el mejor de los casos, evitarás lesiones.

Paradójicamente, el control “consciente” hará que todos los desempeños sean mucho menos eficientes. Para desarrollar la capacidad de correr cuesta abajo y mejorar la adaptación a este entorno diferente, la repetición (que no el cálculo y el estudio de las variables involucradas) es fundamental. En conclusión y en línea con nuestra idea de conocimiento, esta adaptación no se logrará mediante un análisis exhaustivo de todas las combinaciones posibles, ni almacenando todas las posibles rutas en una base de datos, sino a través de patrones de respuestas de movimiento con los cuales construir engramas que se activarán de manera semiautomática frente a terrenos parecidos. Esto es, partiendo de este ejemplo, es que ni nosotros, ni la IA, ni como se propone aquí, los edificios inteligentes, se adaptan reconociendo y parametrizando todas las variables involucradas para calcular respuestas aisladas.

Esta comprensión de los sistemas complejos nos lleva a utilizar modelos simplificados, como es la generación de patrones. Aunque reconozcamos las limitaciones de estos modelos en términos de predicción exacta, su capacidad de adaptación es clave para generar pronósticos cada vez más precisos a medida que "se entrenan". Con este ejemplo, ponemos de relieve que tanto la IA y los edificios inteligentes, como nuestra capacidad para adaptarnos en entornos de incertidumbre, operarán desde los mismos principios.



Kial Jornet bajando por un terreno siempre diferente. Con una intensidad energética elevada, su cerebro tiene que tomar millones de decisiones adaptativas no conscientes para transitar por un terreno que cambia en cada instante. Para ello dispone de 5 grupos de sensores, de los que prácticamente solo utiliza 3 (información visual, información de equilibrio en el oído interno y sensaciones táctiles que transmiten las piernas y manos), un cerebro que procesa información y unos **engramas contruidos** a través de miles de horas de entrenamiento. La propiocepción implicada, sin entran en el metabolismo y las adaptaciones internas necesarias, deja en trivialidades el cálculo mental, la memorística de textos, la composición, ordenar líneas o jugar al ajedrez. A estas habilidades no cotidianas, les hemos dado un sentido de “inteligencia humana o HI”. Sin embargo, la evaluación de contextos dinámicos, diversos y evolutivos por medio de patrones para adaptarnos(los), se revela como la mayor muestra de capacidad inteligente.

El reconocimiento de patrones, clave en la definición de (edificio) inteligente.

Inteligencia cotidiana

El concepto de inteligencia se ha construido desde el contraste entre nuestro comportamiento y el de otros seres vivos observados en la naturaleza, privilegiando las diferencias. Es decir, se ha abordado desde la perspectiva de capacidades humanas implicadas en procesos que demandan una intervención más consciente de la mente para resaltar las capacidades excepcionales como medidas de inteligencia (habilidades que requieren un trabajo mental al que no estamos habituados). Por ejemplo, actividades como el cálculo matemático, juegos como el ajedrez, la habilidad para dibujar o componer música han sido destacados como ejemplos irrefutables de nuestra inteligencia. Al mismo tiempo, que estas capacidades, que como se ha dicho, no las detectamos en otros seres vivos. Históricamente, pruebas como el test de Turing, basado en ser capaz de mantener una conversación, evaluaba la capacidad de una máquina para exhibir un comportamiento lingüístico indistinguible del humano, se consideraban indicativas de la inteligencia. Además, habilidades como escribir una novela o pintar una obra de arte, se veían como demostraciones de un alto nivel de inteligencia no alcanzables por otras especies. Estas métricas a menudo se centraban en tareas complejas y específicas que resaltan la singularidad y la creatividad.

Sin embargo, la concepción actual de la inteligencia ha evolucionado para reconocer que la inteligencia también se manifiesta en las actividades cotidianas, en la adaptación al entorno, en la resolución de problemas prácticos y en la capacidad de aprender y desarrollarse en diversas áreas. Cualidades que sí podemos observar en otras especies y también, en el despliegue de la inteligencia artificial. De esta manera, el enfoque se amplía para abarcar tanto lo excepcional como lo común, reconociendo que la inteligencia es un conjunto diverso de habilidades que se manifiestan de diferentes formas en la vida. A medida que exploramos diferentes perspectivas y discutimos diversos enfoques, podemos identificar patrones y tendencias que reflejan un cambio en la forma en que se concibe la inteligencia, pasando de una visión más limitada y centrada en capacidades excepcionales hacia una comprensión más abierta y diversa que incluye una variedad de habilidades y adaptaciones cotidianas. En esta concepción, la inteligencia se convierte en un espectro de capacidades que abarcan tanto lo intrínseco como lo extraordinario en la experiencia humana: muchos seres vivos construyen y casi todos buscan refugios, es decir, habitan inteligentemente.

La distinción entre una construcción y arquitectura trataba de incidir en que solo el *hombre* tenía un comportamiento “inteligente”: usaba la razón para crear con la materia construcciones “más” elevadas. Aquí, las dificultades para establecer enfoque sobre lo que es un comportamiento inteligente, son evidentes.

Esta evolución en la concepción de la inteligencia cuestiona nuestra propia percepción de superioridad en el reino de la inteligencia. Por un lado, observamos en las especies comportamientos y habilidades exclusivas que muestran una elevada complejidad y adaptación al entorno. Por otro lado, las máquinas pueden superar ciertas tareas que

alguna vez se consideraron exclusivas de los humanos. Esto, por un lado, cuestiona el antropocentrismo y, por otro, la interacción entre la inteligencia humana y artificial nos desafía a reconsiderar y expandir nuestros propios conceptos preconcebidos. Esto enriquece nuestra comprensión de lo que significa ser inteligente en un mundo cada vez más conectado y tecnológico.

Además, la inteligencia incluye aspectos emocionales y sociales, como la empatía, la comunicación efectiva y la capacidad de relacionarse y colaborar con otros. En este sentido, la inteligencia no se limita a tareas específicas o a demostrar conocimiento profundo en un área en particular. Más bien, se manifiesta en la flexibilidad mental para adaptarse a diferentes desafíos y en la capacidad de aplicar el conocimiento y las habilidades en situaciones diversas incluida la toma de decisión éticas. También implica la creatividad y la innovación, la capacidad de generar nuevas ideas y enfoques para abordar problemas y situaciones.

La inteligencia no está aislada de la percepción del entorno. Implica la consideración de múltiples perspectivas, la evaluación de las consecuencias de las acciones y la capacidad de tomar decisiones informadas y responsables en un contexto dinámico. La inteligencia abarca la capacidad de adaptarse, comprender, aprender y tomar decisiones efectivas en una variedad de contextos. Involucra la habilidad de resolver problemas, analizar situaciones complejas, reconocer patrones y extraer información significativa para un cierto fin.

Con reconocimiento de patrones se busca identificar regularidades y relaciones en datos complejos y variables. En el contexto de la inteligencia, el reconocimiento de patrones refleja la capacidad de un sistema para extraer información significativa de datos aparentemente caóticos y utilizarla para tomar decisiones informadas. La noción de patrones es coherente con la idea de que el mundo está lleno de regularidades y repeticiones. Así una inteligencia basada en patrones radica en la capacidad de detectar y aprovechar estas regularidades, procesadas en el cerebro:

“el cerebro, al tratar de anticipar lo que la próxima ola de sensaciones le comunicará, constantemente hace inferencias y actualiza sus creencias en función de lo que le transmiten los sentidos e intenta minimizar las señales de error de predicción y previene la sorpresa. Literalmente, es un órgano fantástico en el sentido de que genera hipótesis y fantasías que le son apropiadas para tratar de explicar los **innumerables patrones** y el flujo de información sensorial que está recibiendo”¹⁴⁴

Captar, transportar y almacenar este flujo sensorial para convertirlo en patrones con el que extraer información para operar en un medio dinámico, es el enfoque más amplio de la inteligencia que estamos considerando. En este sentido, reconocer patrones en las acciones cotidianas y en el entorno local, es crucial para la adaptación, el aprendizaje y la toma de decisiones efectivas tanto de los seres vivos, como para una construcción que queramos denominar inteligente. Estos patrones pueden manifestarse en la forma en que interactuamos con el mundo que nos rodea, en la dinámica de comportamiento de una población e incluso en la estructura de un lenguaje. Pero evidentemente, en cómo habitamos y construimos.

¹⁴⁴ https://elpais.com/elpais/2020/08/27/eps/1598522363_899499.html

El reconocimiento de patrones es ya hoy, esencial para comprender y modelar fenómenos en una variedad de campos, como la visión por computadora, el procesamiento de señales, la biología computacional y aún más en entornos complejos y con incertidumbre. En la arquitectura, todo su contexto y complejidad son solo parcialmente observables, y su comportamiento incierto. Son entornos en los que la lógica no puede representar bien ciertas incertidumbres. Es este sentido, en el que los nuevos datos obtenidos de estos entornos pueden surgir inéditos paradigmas.

Inteligencia arquitectónica

De la misma manera que el concepto de inteligencia basado en la excepcionalidad de las habilidades humanas ha sido puesto en crisis, dado que es posible desde un ordenador generar una composición de fachada, una distribución de planta de edificio o un boceto “bello”, también se pone en cuestión el concepto de inteligencia arquitectónica. A este respecto, insistir en una arquitectura basada en la composición de elementos, de distribución de soluciones habitacionales sobre un límite o dibujando croquis como prueba de transcendencia humana, conlleva un enfoque parcial que no incorpora oportunidades derivadas de nociones de lo que significa ser inteligente en contextos cada vez más interconectados y digitales. Es decir, el despliegue digital en arquitectura permite realizar tareas consideradas exclusivas de los seres humanos, como la generación de diseños arquitectónicos, lo que plantea preguntas sobre el papel del arquitecto.

Ante las nuevas habilidades introducidas por la AI, la digitalización de la arquitectura se ha entendido como modelado de información de construcción (BIM), simulaciones computacionales, visualización en 3D, análisis de datos, realidad virtual y aumentada, entre otras tecnologías como el cálculo paramétrico estructural. La aplicación de esta tecnología ha transformado los procesos de diseño arquitectónico, permitiendo una mayor precisión, eficiencia y comunicación entre los profesionales involucrados. Pero también cambios en la forma en que se conceptualizan y representan los diseños arquitectónicos, pasando de los planos en papel a modelos digitales tridimensionales y visualizaciones interactivas que han afectado profundamente a la profesión. Sin embargo, tales cambios no son comparables con la disrupción que con la capacidad generativa de arquitectura que está desplegándose mediante AI.

Este cambio puede ser interpretado como un cambio y crisis del papel tradicional del arquitecto. Sin embargo, también se presenta como una oportunidad para que la tecnología se haga cargo de tareas repetitivas de manera más rápida y eficiente que los seres humanos. Esto a su vez permite concentra el enfoque en los aspectos más estratégicos y de innovación del trabajo arquitectónico, como la interpretación de las necesidades de las personas, el medioambiente, la conexión con la industria, los materiales empleados, así como aspectos culturales. Más tiempo para desplegar una pensamiento crítico y propositivo sobre el modo en que habitamos.

En este sentido, seguimos sin entender bien cómo las personas interactúan con los edificios, así como cómo modifican nuestro habitar el medio, aspectos para nosotros, fundamentales en la arquitectura. Las decisiones de diseño deben estar informadas por la manera en que los usuarios se mueven, utilizan y experimentan el entorno construido en un cierto ambiente. Aquí es donde la recopilación y análisis de datos se vuelve esencial. Los sensores y las tecnologías de monitoreo pueden proporcionar información valiosa

sobre el comportamiento, pero hay que saber qué sensorizar, cómo hacerlo y para qué. Esta recopilación y análisis de estos datos, puede identificar patrones de comportamiento y preferencias de los usuarios clave para el diseño y desempeño arquitectónico. Esto no solo ayuda a los arquitectos a diseñar espacios más funcionales y adaptados a las necesidades reales, sino que también les permite anticipar cómo podrían evolucionar las interacciones humanas con el entorno construido en contextos de cambio.

La tecnología y la recopilación de datos no reemplazan la intuición y la actitud propositiva del arquitecto, sino que las enriquecen. Al combinar la experiencia y la visión del arquitecto con los datos objetivos, se puede lograr un diseño más informado y orientado a los problemas. Es tan básico conocer qué monitorizar como qué problema se pretende construir con ellos. La inteligencia en arquitectura radica en la capacidad de fusionar ambos enfoques para crear entornos construidos que sean tanto funcionales como conscientes de su afección a la biosfera, que se adapten a las necesidades cambiantes y promuevan la máxima experiencia del habitar en un cierto lugar.

La digitalización de los entornos arquitectónicos también implica que no toda la información necesaria para procesar información arquitectónica provendrá de la sensorización. Como se ha indicado, de la misma manera que no tendría sentido emular un sistema de conducción autónoma a través de señales de millones de sensores o modelizar virtualmente de todo trayecto posible, tampoco tiene sentido tratar de aprehender el conocimiento arquitectónico a través de miles de parámetros. Si se ha demostrado que es a través del reconocimiento de patrones como opera la robótica, la visión artificial o la conducción autónoma, también podemos obtener conocimiento de los patrones arquitectónicos. Estos patrones condensados en los propios edificios, en la tecnología de la construcción o en la teoría de la arquitectura, son un almacén de información indispensable. Los modelos híbridos nos permiten partir de modelos que incorporan esta información.

En este sentido, a diferencia de lo propuesto en la teoría de patrones por Christopher Alexander, para el que los patrones son obtenidos desde información visuales y constructiva, los patrones en general se obtienen de la información necesaria para caracterizar el estado de comportamiento macroscópico de un edificio (termodinámica) para un cierto habitar (alimentado por datos, es decir, computacional). Es decir, hablamos de procesos dinámicos frente a una configuración estática. Pero no son incompatibles. La información almacenada en la propia configuración y ubicación de una construcción, más el estudio de los procesos que alberga, no da una hibridación, que nos permite para una situación dada, tomar ciertas decisiones consecuentes. Y viceversa, para un diseño nuevo, nos permite entender cómo ciertas configuraciones se comportan, para proponer un diseño adecuado para el problema arquitectónico que se plantea. En arquitectura, cada situación presenta unas únicas condiciones en las que se aplican los mismos principios. Podemos observar como de forma generalizada, la globalización también ha extendido patrones arquitectónicos muy identificables.

Dicho de otra manera, para cierta propuesta arquitectónica, conocer de antemano que comportamiento producirá, tanto del edificio, de las personas, de su entorno. Como se verá, utilizar modelos híbridos, conlleva evitar la necesidad de partir de modelos a los que complejizar con miles de variables y parámetros medibles, simulando todos los escenarios posibles. A escala urbana, el sinsentido es evidente. Tanto, que las ciudades han evolucionado, crecido y funcionan sin disponer de un modelo sólido a la vez que observamos que los patrones, se repiten por doquier.

Modelos de conocimiento

La enseñanza universitaria de la ingeniería y la arquitectura se ha basado en el desarrollo de modelos, seguida de la experiencia adquirida mediante el ejercicio profesional. Muchos de estos modelos parten de teorías científicas expresadas en ecuaciones (complejas). Estas ecuaciones y sus condiciones de contorno acotan tanto el problema como la condición de posibilidad de la solución. La resolución de ecuaciones a través del cálculo numérico, de los elementos finitos o simulación numérica (CFD¹⁴⁵) supuso una considerable revolución en la ingeniería, favorecida por el aumento exponencial por la capacidad de cálculo, pero no ha reducido la complejidad del análisis ni su aplicabilidad en contextos de tiempo-real. Por otro lado, en la actualidad, la explosión en la capacidad de computación, la sensorización y sobre todo, la disponibilidad de un volumen ingente de texto en la web, ha permitido el desarrollo de modelos basados en datos.

Modelos de conocimiento y los edificios

Sin embargo, en el contexto arquitectónico de la enseñanza de arquitectura conviven estos modelos con didácticas basadas en la experiencia profesional, sin necesidad de proponer explícitamente ningún modelo. Es decir, los estudiantes de esta disciplina se ven inmersos en dos modelos epistemológicos, dos marcos teóricos o esquemas conceptuales utilizados para analizar y comprender cómo se produce el conocimiento y cómo se justifica la hipótesis: la simulación, utilizada en sistemas ingenieriles y la experimentación profesional de la práctica profesional arquitectónica. La primera, incide en conceptos matemáticos que permiten la simulación estructural y térmica de los edificios; la segunda, el de la resolución práctica de edificios, sin necesidad de justificar una teoría o modelo explícito. La práctica, muy basada en forma de hacer decimonónicas —componer dibujos geométricos sobre un papel cuadriculado—, entiende que es posible acometer un proyecto de manera individual, cuasi—artesanal, o incluso, que la enseñanza, puede ser transmitida en la Universidad de la misma forma que por los procedimientos gremiales (de oficial a oficiante). La resultante es que la incorporación de modelos no se entiende con claridad, llegando a afirmarse que el modelo, es que no hay modelo apelando a una discutible conceptualización de la creatividad individual.

Si en alguna disciplina existen patrones y restricciones fuertes, es en la construcción (alguno, como más de 3500 años, como los muros de ladrillos o de sillería).

Esta aparente dicotomía hace por ejemplo que modelos matemáticos utilizados para la resolución térmica o estructural de edificios no han podido introducir en el problema del habitar o modelos arquitectónicos, no han considerado problemas térmicos o estructurales. Esto ha sido expresado en términos dicotómicos de arte/ciencia, o incluso de poesía/funcionalidad recurriéndose a términos utilizados por ingenieros como Vitrubio (s. I a.C) para explicar procesos arquitectónicos actuales (venustas, firmitas y utilitas). Además, los entornos construidos tienden hacia la permanencia —especialmente sus estructuras— lo que hace que no sea necesario aplicar la realimentación (o ésta es muy

¹⁴⁵ CFD fue definido como el “the art of replacing the integrals or the partial derivatives (as the case may be) in the Navier-Stokes equations by discretized algebraic forms, which in turn are solved to obtain numbers for the flow field values at discrete points in time and/or space” (Anderson & Wendt, 1995). Es decir, pasamos de resolver ecuaciones complejas a computar, ¡complejamente!

lenta). Esta visión se ha extendido al cálculo de sus sistemas térmicos, calculados para condiciones ideales estandarizadas que se repiten año a año, sin apenas realimentación del comportamiento real de los edificios, con los que sería posible alimentar los métodos y cálculos iniciales.

En este sentido, partir de que los edificios son sistemas complejos es disponer un modelo, es construir un modelo que acepta la pluralidad de escalas y enfoques, sin posibilidad reduccionista. Asumir que los entornos construidos son sistemas complejos, es asumir su diversidad y multiplicidad de perspectivas. Pero también es asumir que falta mucha información todavía para creación de modelos que capturen de forma aproximada el comportamiento real de un edificio en condiciones de operación —del habitar—. Sobre esto, disponemos de más intuiciones que de información. Captamos la complejidad inherente del edificar—habitar, por lo que responder a la riqueza que emerge de nuestras edificaciones, con planteamientos dicotómicos, solo es una manera reduccionista más de simplificar la complejidad.

Modelos de conocimiento desde la computación

Los modelos basados en representar la realidad mediante ecuaciones matemáticas supusieron una revolución ampliada por la capacidad de cálculo de las máquinas computacionales. Las aproximaciones numéricas sustituyeron a la resolución analítica de ecuaciones, de forma que fue posible acometer muchos problemas para los que no se contaba con las ecuaciones precisas. A su vez, la revolución computacional hizo posible al aumento de la capacidad de transferencia, almacenamiento y gestión de datos, lo que aumentó de manera exponencial nuestra potencia para procesar información. La posibilidad de operar con más información ha derivado en el planteamiento de tres nuevos modelos. Los denominados gemelos virtuales (virtual twins), los gemelos digitales (digital twins) y los gemelos híbridos (hybrid twins). Su principal denominador común es que son modelos que se basan en recoger datos derivados del propio funcionamiento del sistema, proceso u objeto, para realimentar un modelo inicial, de forma que somos capaces de aumentar el conocimiento (o reducir la ignorancia del modelador), disminuir las desviaciones entre el comportamiento real y el precedido, la optimización de sistemas complejos y, operar sistemas en tiempo real (real-time).

La evolución hacia modelos basados en datos proporcionados por sensores puede estar encaminada hacia los siguientes objetivos (Chinesta et al., 2020; Chinesta Soria, 2018):

1. Reducción de la complejidad y número de modelos disponibles.
2. Disminuir las diferencias entre el comportamiento real del sistema y el esperado.
3. Incorporar la posibilidad de introducir acciones externas para poder dirigir el sistema hacia el objetivo deseado (control), o control en línea.
4. El filtrado del ruido en los datos no sesgados, que ayude a comprender el comportamiento físico del sistema.

Gemelos virtuales

La derivada del incremento computacional fue construir gemelos virtuales de una realidad física, sistema o proceso a través de una representación en la computadora sobre la que simulamos el comportamiento, las interacciones y las características de un sistema.

Utilizados especialmente en sistemas dinámicos como plantas de energía, redes de distribución o transporte, estos modelos han hecho posible monitorear y optimizar procesos, predecir fallos, simular plantas industriales, para tomar decisiones informadas sobre la eficiencia de un sistema. Estos modelos virtuales, se utilizan en procesos y sistemas de gran complejidad, para simular y predecir el comportamiento de un objeto o sistema en un entorno virtual. Permiten realizar análisis, pruebas y experimentos en un entorno real, controlado. Por lo que siguen siendo estáticos en el sentido que no están ideados para procesar los datos que producen con los que adaptarse a cambios en su entorno. Dicho de otro modo, no están diseñados para conectarse y entender lo que pasa en la contraparte, el mundo físico real.

Puesto que necesitan un modelo matemático que los describa, todos los intentos de aplicación en arquitectura se han acotado al campo de la climatización con los que realizar optimizaciones de sistemas diseñados y calculados desde modelos numéricos termodinámicos.

Gemelos digitales

La siguiente revolución han sido los modelos denominados gemelos digitales o Digital Twins. Estos gemelos digitales comparten con los virtuales la modelización digital de un objeto o proceso físico. Se diferencian en que su planteamiento se orienta hacia la representación y conectividad en tiempo real con la parte física. Es decir, los gemelos digitales son modelos que se realimentan con los datos que se producen en el entorno físico al que están conectados. Permiten la optimización y análisis de procesos para mejorar su rendimiento o plantear diferentes escenarios, a la vez que son capaces de supervisar en tiempo real. Esta sincronización y actualización continua de datos entre el objeto físico y su representación digital es posible por la capacidad de procesar los datos que parten de los sensores del mundo físico y las tecnologías de la telecomunicación. Este transporte y generación de datos proporcionan la información necesaria para conocer el estado del sistema con su evolución temporal en tiempo real, por lo que es capaz de anticipar y predecir situaciones futuras. Es decir, de ejecutar acciones adaptativas.

Aunque el concepto fue planteado en la década de 1970, no fue hasta la evolución computacional (de procesado y IA) y de la sensorización (IoT) cuando se ha extendido su aplicación. Esto se ha debido a la capacidad tecnológica de recopilación e intercambio de datos, su conexión con sensores que dan acceso al mundo físico y la capacidad de analizar y simular procesos complejos. Utilizado en industria, en el mantenimiento de sistemas de gran complejidad, en bioingeniería, energía y medio ambiente (especialmente en gestión de sistemas eléctricos inteligentes, generación y consumo de energía o estudios medioambientales) o redes de transporte, también se ha aplicado a la gestión de edificios y ciudades. Pasado un periodo de optimismo, se ha mostrado los gemelos digitales pueden complejizarse hasta resultar inoperativos, especialmente sistemas complejos con alta incertidumbre como lo son las ciudades o edificios. Algunas de las razones para explicar estas dificultades serían:

- **Heterogeneidad:** los sistemas urbanos y los edificios son inherentemente complejos y heterogéneos, con una variedad de componentes interconectados y variables. Modelar y simular adecuadamente todos estos

aspectos puede resultar difícil debido a la gran cantidad de datos necesarios y la complejidad de las interacciones.

- **Datos limitados, incompletos, desconocidos o inexactos:** obtener datos precisos y completos para construir un gemelo digital de un sistema puede ser inoperativo (tanto desde el punto de vista conceptual como de recursos). En muchos casos, los datos disponibles pueden ser limitados, incompletos o estar sujetos a incertidumbre, lo que dificulta la creación de un modelo preciso y confiable.
- **Escala y granularidad:** los sistemas urbanos y los edificios pueden ser de gran escala, lo que requiere una capacidad computacional significativa para modelarlos adecuadamente. Además, la elección de la granularidad del modelo puede ser un desafío, ya que un nivel de detalle excesivo puede generar modelos demasiado complejos y de difícil gestión, mientras que un nivel de detalle insuficiente puede no capturar aspectos importantes del sistema.
- **Interacciones complejas:** los sistemas urbanos y los edificios involucran interacciones complejas entre una multitud de componentes y actores, como el flujo de personas, el tráfico, las redes eléctricas, el clima, entre otros. Modelar y simular estas interacciones de manera precisa y realista puede requerir modelos más sofisticados y datos más completos.

Estas dificultades explican que los modelos de gemelos digitales se hayan desarrollado preferentemente para **operar entornos contruidos con gran control**, como edificios de última generación corporativos (“smart buildings”), centros comerciales o aeropuertos, **en los que el habitar está muy limitado**. Es decir, sus flujos están muy definidos y las posibilidades del usuario, muy acotadas (previsibles). En estos tipos de edificios, los sistemas HVAC de última generación permiten una gran automatización. Además, están contruidos con envolventes muy estancas, cuya abertura de huecos (estudiados para focalizar la atención en el interior o nulos en centros comerciales) está supervisada (o incluso impedida, como en edificios corporativos y aeropuertos). Muchos de los edificios autodenominados smart buildings, parten de un gemelo digital para el monitoreo y actuación sobre instalaciones, servicios y control de flujos, de ahí, la etiqueta de “inteligente”. Los modelos de gemelos digitales para zonas urbanas, pese al gran número de investigaciones y promesas futuristas (smart cities), su campo de aplicabilidad real queda muy constreñida a procesos de redes energéticas controladas, como son las eléctricas, de gas, movilidad o transportes como cercanías o tranvías.

La desviación entre las previsiones y la operatividad real de los modelos puede llevar a seguir profundizando en el nivel de detalle con el que se representa el sistema, siguiendo la inercia de las metodologías reduccionistas y también las inductivas, de manera que se representen gran cantidad de componentes individuales o se introduzca una gran cantidad de variables, sin atender a lo que es más difícil, sus interacciones. En algunos casos, la extrema complejidad de un gemelo digital podría ser incluso comparable con la construcción del modelo real. El trabajo invertido puede hacernos perder la perspectiva sobre lo que se pretende lograr con el gemelo¹⁴⁶, ¿se busca operar solo uno o ciertos

¹⁴⁶ En este sentido, entender que la digitalización de la arquitectura es añadir más y más detalle al modelo BIM, base actual de la simulación térmica y estructural, para la construcción de gemelos digitales, desde nuestra aproximación, es un error conceptual.

sistemas muy previsibles? ¿Se busca monitorizar y comandar la totalidad del sistema? ¿Se busca comprender su comportamiento global o solo analizar subsistemas o acontecimientos específicos? Pero también preguntarnos, ¿con que recursos computacionales y humanos se cuenta? ¿Es replicable toda esta inversión en otros procesos y objetos similares? ¿Disponemos de los datos necesarios? ¿Los podremos obtener? Conforme la evolución técnica se desarrolla, fuera de futuribles, se auto equilibran las posibilidades en las que los gemelos digitales son operativos, y por lo tanto útiles, y aquellos procesos en los que los gemelos digitales, son inoperativos. Dicho de otro modo, un equilibrio entre modelos con alto grado de detalle, pero de más dificultad de gestión con aquellos de bajo detalle, pero con menor precisión.

A su vez, los modelos desarrollados para sistemas construidos pueden mostrar desviaciones con respecto al comportamiento observado conforme aumentamos los grados de libertad de las personas. Esto puede ser debido a que, en primer lugar, no contamos con un modelo de comportamiento humano¹⁴⁷, empleándose a veces, meras simplificaciones; en segundo lugar, los sistemas complejos pueden evolucionar hacia estados impredecibles cuando se introducen pequeñas modificaciones en el sistema; y, en tercer lugar, muchos de los datos que pueden ser entendidos como ruido, pueden ocultar un modelo o conexiones que están ocultas, o simplemente desconocemos (como ocurre en ecología). La desviación entre los modelos y los datos observados muchas veces está asociada al ruido, pero también puede indicar la ignorancia del modelador. Lidar con la ignorancia, asumir que no comprendemos bien nuestra forma de habitar, que impide e impedirá el desarrollo de gemelos digitales de forma generalizada para edificios y ciudades, puede ser uno de los grandes desafíos. Abre la puerta a otras aproximaciones gnoseológicas sobre la arquitectura y el urbanismo.

La construcción de modelos desde los datos: inteligencia artificial

El diseño y construcción de sistemas capaces de adquirir, transformar, transmitir, almacenar y gestionar cantidades ingentes de datos, es una de las tareas principales de la ingeniería actual. Constituye la base de la ciencia de datos que desarrolla teóricamente el análisis y generación de información a partir de esos datos. Internet de las cosas (IoT) y la industria 4.0 han proporcionado el campo de desarrollo tecnológico necesario para su evolución exponencial, lo que se ha denominado Era 4.0, “Smart World”. El progreso no parece detenerse, por lo que se entramos ya en la Era 5.0: los sistemas autónomos cognitivos basados en algoritmos capaces de encontrar tendencias, patrones y correlaciones en los datos. La ciencia de datos desarrolla enfoques, técnicas y algoritmos que permite que las máquinas aprendan de los datos. Dentro de ellas, encontramos los campos o disciplinas como el Machine Learning, Deep Learning y el Manifold Learning. La primera de ellas, el Aprendizaje Automático, desarrolla técnicas y algoritmos y modelos basados en redes neuronales, regresiones lineales y logística, bayesianas, máquinas de soporte vectorial, árboles de decisión o algoritmos como el KNN, que permiten encontrar patrones y relaciones en los datos para hacer predicciones o tomar decisiones sin ser explícitamente programadas. Se basan en la construcción de un modelo a partir de los datos proporcionados. La segunda, Aprendizaje Profundo, es una subrama del aprendizaje

¹⁴⁷ Los modelos basados en agentes han tratado de simular comportamientos humanos, obteniendo algunos resultados en campos como la movilidad urbana.

automático que se basa en redes neuronales artificiales profundas, logrando avances significativos en áreas como el reconocimiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural, la visión por computadora y el procesamiento de voz. Por último, encontramos el Aprendizaje de Variedades, técnica de aprendizaje automático que se enfoca en modelar y visualizar estructuras subyacentes o variedades en conjuntos de datos de alta dimensión.

En física, los modelos no son más que expresiones matemáticas que nos relacionan ciertos datos de entrada con ciertos datos de salida. La aproximación “clásica” es encontrar el modelo a través de ecuaciones constitutivas y de conservación con los que describir el comportamiento de un sistema (cuyos parámetros se ajustan mediante la experimentación). Estas ecuaciones se han desarrollado a partir de otras expresiones más simples, como las leyes de conservación de la masa, la energía o el momento. Implican una comprensión profunda de los fenómenos que se están produciendo, de los principios físicos subyacentes y de las teorías establecidas.

Todos los modelos son construcciones que simplifican la realidad. En este sentido dejan de lado u omiten muchos de los aspectos que constituyen un cierto comportamiento o fenómeno entendido como un todo. Parafraseando a George Box, “todos los modelos están equivocados, pero algunos son útiles”; es decir, tenemos que aceptar la posibilidad del error y la inexactitud. La intuición y el presentimiento pueden guiar (y de hecho son básicos) pero no constituyen un modelo mental simulable. Éste debería incluir al menos preguntas como:

- ¿Qué debo incluir en el modelo?
- ¿Qué se debe dejar fuera y dentro?
- ¿Cómo represento los elementos que incluya y sus intercambios con el exterior?
- ¿Cómo represento las relaciones entre los elementos elegidos?

La primera de las preguntas incluye a su vez dos preguntas clave en el pensamiento sistémico: con qué amplitud selecciono lo que debo incluir en el modelo y, con que profundidad de conocimiento tengo que tratar lo seleccionado. Desarrollar buenas respuestas a estas preguntas, requiere habilidad y como tal, requiere experiencia. En este sentido Barry Richmond (Richmond, 2010) propone habilidades que consideramos pueden ayudar a conformar-construir una posible respuesta.

- En primer lugar, *el pensamiento desde los 10.000 m* es la amplitud y mirada de gran perspectiva, pero con poco, o casi sin detalle. Proporciona la estructura o marco general del problema. No profundiza.
- En segundo lugar, pensar el sistema como causa (system-as cause thinking), no como resultante. El modelo debe contener solo aquellas fuerzas o elementos que son capaces de producir el fenómeno y no otras (el edificio y la ciudad como causa del habitar y no la gravedad o la fuerza del viento, por ejemplo).
- Y, en tercer lugar, el pensamiento dinámico con el que nos referimos a la habilidad para filtrar los elementos no esenciales de la realidad que pretendemos aprehender/capturar con el modelo mental. Como dinámico, se entiende la dimensión conductual, es decir aquello que reconocemos como eventos, como patrones. El pensamiento dinámico es una aproximación en parte *epimetéica*, en el sentido de que hay que estudiar el pasado, volver la mirada para ver el patrón de comportamiento que emerge y evoluciona en el tiempo que conforma un evento.

Estas pautas interrogativas nos deben ayudar en introducir dos cambios que consideramos fundamentales desde el pensamiento sistémico, tanto en nuestros modos de construir y como también de construir modelos urbanos y de edificios que resuelva o se plante objetivos sistémicos:

1. Pensar en términos dinámicos y no tanto, o tan solo, en modelos estáticos.
2. Pensar en términos sistémicos, es decir, comenzar desde una mirada amplia y de poca profundidad, para si es necesario, aproximarse a modelos que deban incluir modelos analíticos, es decir, de gran especialización y profundidad en el conocimiento.

Como se ha indicado, además de entender desde qué perspectivas estamos planteando el problema, debemos pensar tanto qué se debe quedar fuera del sistema y como cómo represento y explicitar los elementos y las actividades que hemos incluido. En este último sentido, cada disciplina tiene su propio conjunto de términos, conceptos y símbolos y debemos poder comunicarnos entre ellas. El pensamiento sistémico se basa en gran parte en el concepto de proceso, donde los términos flujo, conversión, interrelación y almacenamiento, constituyen una especie de lenguaje común con el que inter-comunicar disciplinas. Los diagramas que utilizan flujos, acumuladores y transformadores, así como los elementos que se incluyen en el modelo, constituyen una excelente aproximación a los sistemas dinámicos —como es un edificio o una ciudad —.

A su vez, la teoría clásica de los modelos utiliza los términos "caja negra," "caja gris" y "caja blanca" para describir el nivel de transparencia y comprensión que se tiene sobre el funcionamiento interno de un modelo. Los denominados Caja Blanca o White Box Model son modelos utilizados para modelizar sistemas, fenómenos, procesos de los que se comprende completamente su funcionamiento interno. Se conocen todas las relaciones matemáticas y lógicas que el modelo utiliza para hacer predicciones. Los modelos de caja blanca son altamente interpretables y se utilizan en situaciones donde la transparencia y la explicabilidad son críticas. En el extremo contrario, los modelos Caja Negra o Black Box Model corresponde a aquellos que tratan de simular fenómenos de los cuales no se tiene una comprensión detallada de cómo funciona internamente. En otras palabras, se sabe **cómo se comporta** cierta realidad, por lo que se pueden hacer predicciones, pero no se conoce la lógica o las relaciones subyacentes entre las variables. Los modelos de caja negra son especialmente comunes en algoritmos de aprendizaje profundo y redes neuronales profundas, donde las interacciones entre las características pueden ser extremadamente complejas y difíciles de interpretar. En situación intermedia se denominan Caja Gris o Gray Box Model a modelos en los que se tiene cierta comprensión parcial de su funcionamiento interno. Esto podría significar que se conoce la estructura general del modelo, pero no necesariamente todos los detalles. Por ejemplo, se podría conocer la arquitectura de un algoritmo de aprendizaje profundo, pero no todos los pesos y parámetros específicos.

La elección entre utilizar un modelo de caja negra, caja gris o caja blanca depende de las necesidades específicas de la tarea y de las restricciones de interpretabilidad. En muchas aplicaciones, es un compromiso entre la precisión del modelo y la capacidad de entender y explicar sus decisiones. Modelos de caja negra, como las redes neuronales profundas, pueden ser muy poderosos en términos de predicción, pero pueden carecer de transparencia, no explican el sistema. Los modelos de caja blanca, por otro lado, son más

fáciles de interpretar, pero pueden tener un rendimiento ligeramente inferior en ciertos casos.

Ahora, **el cambio de paradigma es evidente**, puesto que el ML y el DL son métodos que no necesitan un modelo físico explícito, es decir, sin utilizar esas ecuaciones. Por lo tanto, permiten analizar un sistema sin conocer ni sus principios ni las teorías aplicables a ese problema (modelos denominados caja negra o “black box”). Analizan los datos para buscar patrones, correlaciones y relaciones, dando una salida en forma de predicción sobre la evolución o comportamiento de ese sistema. Lo interesante, es que ambos enfoques no son incompatibles entre sí pudiéndose complementar generando modelos híbridos, también denominados “caja gris” o Hybrid Twins.

A este respecto el enfoque en la generación de modelos es idéntico para todas las disciplinas, ya que las propiedades y el comportamiento de los sistemas dinámicos están determinados no por su estructura física y apariencia, **sino por la estructura y los procesos de sus sistemas**. Si este modelo es el adecuado, puede describir correctamente la estructura conductual (en nuestro caso el habitar), será “estructuralmente válido”. Buscamos pues, modelos estructurales capaces de simular respuestas en ciertas condiciones tanto de operación como lo que es esencial, en condiciones que no se han hecho antes, base de la innovación. Los modelos nos proporcionan la capacidad tanto de comprender qué ocurre cuando cambiamos ciertos parámetros o/y comprender las condiciones de mayor influencia sobre el mismo. Pero también, debemos conocer qué tipo de información nos puede proporcionar cada tipo de modelos seleccionado.

Tanto a nivel docente como en la realidad, es necesario insistir en el carácter constructivo de todo modelo: no es la realidad; no se descubre; no se des-vela. Es siempre un boceto, una aproximación de cierto conjunto de datos, de procesos, de comportamientos que somos capaces por nosotros mismo o ampliados por la tecnología, de observar. Incluso nos permiten predecir lo no observado, propiciando la construcción tecnología que nos lo permita.

Toda construcción de un sistema implica simplificaciones y adicciones. **Implica construir un propósito, función, fin**. Qué problema/tarea resuelve. Debe considerar las influencias, afecciones e interacciones con el entorno. Y éste, además debe ser explícitamente definido. Debemos especificar como el entorno influyen en la estructura. El modelado estructural es explicativo, concentra la definición y el reconocimiento de la estructura del sistema conductualmente relevante. De esta definición (esquemáticas, basada en conceptos, bocetos, diagramas...) se extraen las relaciones de influencia. Hay que indicar qué comportamientos similares pueden ser producidos por diferentes sistemas estructurales. **Esto indica que mientras que la estructura del sistema define el comportamiento, el axioma contrario no se cumple, es decir, no podemos inferir la estructura, solo de la observación de su comportamiento.**

Gemelos híbridos o Hybrid Twins

Como hemos visto, los análisis de datos nos pueden proporcionar modelos partiendo de información obtenida directamente del sistema frente al enfoque clásico o termodinámico

de carácter axiomático o epistémico, que parte del conocimiento acumulado para expresarlo en ecuaciones. Partir del análisis de datos se realizan simulaciones minimizando la necesidad de disponer del modelo, mientras que, para la segunda aproximación, disponer de un lenguaje matemático con ecuaciones, constituye el núcleo de su metodología. El primero, es especialmente útil cuando directamente no se conocen las ecuaciones de comportamiento, por ejemplo, en demografía, economía, sociología, el urbanismo, la arquitectura o la biología. El segundo, se aplica en la mayoría de los campos de la ingeniería. Sin embargo, también persisten muchos problemas ingenieriles de los que se desconocen las relaciones constitutivas o son muy difíciles de describir. Ocurre en esta aproximación, que cuando planteamos un problema, es posible disponer de más modelos que de datos. Desde la perspectiva de la información, el acceso a los datos no suele estar disponible y si lo están, pueden no tener ni la estructura y precisión requerida.

Como se ve, no puede haber dualidad, en el sentido de una elección de uno sobre otro. La no consideración de las ciencias de los datos puede resultar ya, anacrónico, mientras que no utilizar la base de conocimiento y experiencia profunda acumulada sobre el problema, poco operativo.

En este sentido, los Gemelos Híbridos o "Hybrid Twins", plantean una perspectiva desde la que se combinan los enfoques de modelos físicos y modelos de datos para obtener una representación más precisa y completa de un sistema o proceso. Con el avance de la tecnología y la disponibilidad de datos en tiempo real, se ha reconocido cada vez más el valor de combinar modelos físicos y datos del mundo para obtener una representación más precisa y completa de los sistemas. Este Hybrid Twin se construye desde un modelo físico de principios físicos capaz de capturar las interrelaciones y comportamientos del sistema analizado. Este modelo físico se complementa con datos del mundo recopilados de sensores, dispositivos y sistemas del sistema en tiempo real. Los datos se utilizan para calibrar y ajustar el modelo físico utilizando el principio de la realimentación, lo que permite una mejor correspondencia con el comportamiento y las condiciones del objeto, sistema o proceso "real" (Langlotz et al., 2022). Aunque podría entenderse que un Hybrid Twin corresponde con un modelo clásico descrito como caja gris, corresponden a contextos diferentes. Los modelos de caja gris se centran en la comprensión interna de fenómenos o sistema, mientras que los Hybrid Twin en la simulación en tiempo real para replicar de forma más precisa el comportamiento del sistema, especialmente en entorno smart, cibernéticos o inteligentes. Es decir, un modelo caja-gris en una forma de simular cierta realidad y Hybrid Twin, una forma de operar y controlar procesos en lo "real".

Como hemos explicado, en el contexto de entornos contruidos, aunque se hayan planteado algunas teorías arquitectónicas (caracterizadas por su incapacidad de predicción y carácter especulativo), los modelos disponibles se centran en la simulación energética y estructural. Es decir, para analizar un edificio no podemos partir de un modelo de comportamiento, pero sí disponemos del objeto y acceso a sus procesos. Pero, sobre todo, un edificio es una serie de condiciones de contorno fuertes (constrains) con las que conceptualizar un sistema. En este sentido, técnicas híbridas como "Data Driven Modeling with Physical Constrains", pueden resultar de interés. A su vez, utilizando la herramienta BIM, disponemos de un modelo de simulación física bastante detallado, que, combinado con la capacidad de aprendizaje y adaptación de los modelos de aprendizaje automático, podría dar resultados interesantes. Esta combinación se denomina "**Integrated Simulation and Machine Learning**". Podría ser especialmente útil para la simulación

energética, ya que disponemos de conocimientos previos sobre el comportamiento energético, formulado en ecuaciones y relaciones precisas que describen su comportamiento. El problema para plantear esta aproximación de forma holística es que desconocemos la descripción detallada del comportamiento del sistema. Aquí es dónde el Deep Learning puede ser de gran ayuda. En efecto, el DL **puede completar los modelos físicos al aprovechar su capacidad para descubrir patrones complejos y no lineales en los datos** (Raissi et al., 2019). Al combinar modelos físicos con técnicas de Deep Learning, se pueden superar las limitaciones de los modelos físicos tradicionales al capturar relaciones más complejas y sutiles en los datos observados. Si un modelo holístico sobre un edificio es todavía poco realista, al menos, un modelo híbrido podría mejorar la simulación energética al combinar el modelo físico con los datos observados y recopilados por los edificios, utilizándose para ajustar (calibrar) los parámetros y las características del modelo elegido, a la vez que también del modelo de Deep Learning, mejorando así la capacidad predictiva de la simulación. Con ello se podría disminuir la brecha entre la simulación (“performance gap”) con el comportamiento real del edificio (De Wilde, 2014; Herrando et al., 2016; Zou et al., 2018).

Es decir, el modelo físico del edificio, proporcionan una base sólida y una comprensión profunda del sistema, mientras que los modelos de Deep Learning pueden capturar patrones y correlaciones adicionales presentes en los datos. Esta combinación permite realizar predicciones más precisas y simulaciones más realistas. Entender la complejidad de los entornos construidos, podría lograrse al combinar la comprensión física ya disponible de los fenómenos que se producen en los edificios, con la capacidad de descubrir la complejidad de los patrones de nuestro habitar (ocultos en los datos). Al menos en teoría, podría proporcionarnos la metodología para operar en tiempo real de manera más precisa (óptima) los sistemas energéticos de los edificios en función del clima, su uso, y de las otras variables con las que hemos definido el problema el habitar (salvaje). Combinar estos dos enfoques descritos podría alcanzar varios objetivos, entre los que se encuentran comprender las interrelaciones implicadas en el habitar, optimizar el sistema, mejorar la precisión y eficiencia de los modelos disponibles, y reducción de los costos computacionales, siempre con premisa de poder aplicarse a la operabilidad en tiempo real. Actualmente se está aplicando este enfoque para mejorar los resultados de EnergyPlus (Chiesa et al., 2021; W. Pereira et al., 2014; Yang et al., 2020), programa de simulación energética (pero no aplicable en tiempo real), para predecir el consumo energético (International Energy Agency, 2018; Wang & Witte, 2022), para optimizar la gestión energética (Kubwimana & Najafi, 2023) , el comportamiento de los usuarios (Amasyali & El-Gohary, 2021) y para la detección de anomalías y mantenimiento predictivo.

Modelos digitales, pensamiento abstracto y enfoque transdisciplinar

Todos estos modelos siguen utilizando el pensamiento abstracto en la manera que se plantean los problemas. En la aproximación “termodinámica” es evidente que la abstracción es inherente a la formulación y comprensión de las ecuaciones constitutivas y de conservación para representar ciertos sistemas o procesos. Estos modelos, por definición son una abstracción de la realidad con los que describir y predecir el comportamiento de sistemas físicos. En los enfoques basados en el procesamiento de datos automático, pese a no ser imprescindible disponer de un modelo físico, también la abstracción juega un papel fundamental. En este último caso, el pensamiento abstracto se

centra en conceptualizar y definir los problemas, así como también en cómo interpretamos y evaluamos los resultados del aprendizaje automático. Los modelos de aprendizaje automático pueden generar predicciones o decisiones basadas en patrones identificados en los datos, pero se requiere un pensamiento abstracto para comprender el significado y las implicaciones de esos resultados en el contexto del problema en cuestión. Es decir, los modelos que hemos denominado “computacionales”, también son abstracciones.

De aquí, obtenemos una conclusión importante: los expertos deben comprender los conceptos y los principios detrás de los algoritmos y las técnicas de aprendizaje automático, pero a su vez, y aquí radica la dificultad, deberían tener la capacidad de abstraer y representar un cierto problema del mundo físico “real” en términos de datos y características adecuadas para el aprendizaje automático. Esto tiene una consecuencia inmediata: en términos generales, a diferencia del enfoque “termodinámico”, los enfoques híbridos, implican trabajos transdisciplinarios. Ser un experto en aprendizaje automático a la vez que experto en cómo funciona un cierto sistema, es ciertamente difícil. Sin olvidar **el papel clave de los ingenieros que proporcionan la sensorización, el transporte, el almacenaje y la gestión de los datos que no puede ser ajena ni al problema ni a la metodología elegida**. Sin duda, todos ellos deben conocer la base de la ciencia de datos para saber qué se puede medir, para qué medimos, cómo se pueden desplegar los sensores, como se transportan, almacenan y gestionan los datos, qué metodologías de análisis se utilizan y como se interpretan. No son conocimientos y disciplinas secuenciales ni lineales, en el sentido de que una precede a la otra. Están interrelacionadas de manera que la metodología de análisis dependerá de los datos, éstos de los sensores posibles, y a su vez el planteamiento del problema depende tanto del análisis como de los datos. Según nuestra aproximación *constructiva*, se trata de, una vez más, de una construcción epistemológica que acota el rango de posibilidad del problema y sus posibles soluciones, pero de manera mucho más abierta e inclusiva. Dicho de otro modo, aplicado al campo de los entornos contruidos, pero extrapolable a todo sistema complejo, **solo podemos trabajar de forma abstracta con patrones cuando es posible procesar patrones**. La intuición estaba, el cambio de paradigma, no. La arquitectura, como la biología, podía construir “manualmente” relaciones informacionales evidentes, en forma de inferencias: hace frío, aísla. Hace mucho viento, cierro la ventana. Mucho calor, me protejo del sur. Tengo madera, utilizo sistemas constructivos basados en técnicas de la madera. Mayor economía, más construyo. Podía como Alexander o Salingeros intuir que las repeticiones conformaban patrones, pero es con el pensamiento abstracto con el que se construye el futuro. No con la combinación de elementos, tipos o soluciones ya preestablecidas.



Para cualquier humano bien entrenado, detectar patrones de este entorno construido, es evidente. Los habitantes de Monemvasía situado en un istmo griego, construyeron sus casas combinando orientación, vistas, captación solar, protección del viento, captación de agua, materiales disponibles, orografía, gasto energético de transportar/se, tradición constrictiva, jerarquías sociales, etc. Esta combinación da lugar a un patrón que no ha sido abstractamente ni planteado ni procesado, sino que es la resultante de esa específica combinación de factores. Dicho de otro modo, si un constructor local, sin ningún plano ni cálculo, construye un edificio ahí, será diferente, pero indiferenciable. Si un arquitecto abstrae la información de ese patrón de forma “termodinámica”, es evidente que quedará fuera del patrón (al no poder evaluar todas las relaciones ocultas que subyacen). Hasta tal punto es así, que, por doquier, se crean normativas específicas de conservación para prohibir la intervención arquitectónica “libre”. Sin embargo, como hoy toda construcción debe ser “abstractamente proyectada” por un arquitecto mediante planos, memorias, etc., el proceso se centra **en la tipología y la copia de la expresión formal del patrón**. En este sentido, cualquier IA online, puede hoy emular y dibujar **este patrón visual**. Si la arquitectura se confunde con el dibujo y combinación de fachadas (tipología), esta disciplina está en riesgo. Pero, si de lo que se trata es de seguir construyendo, conociendo la totalidad del problema, la interacción entre la ciencia de datos con la arquitectura e ingeniería edificatoria en ciernes, puede dar resultados sorprendentes (puede que emergentes).

Estado de creencia de un sistema o “belif state”¹⁴⁸.

La aparente poca evolución de la arquitectura en las revoluciones digitales se debe en primer lugar, desde nuestro enfoque, a **que no podemos disponer de la especificación completa que requeriría todo el problema arquitectónico**, ya que sería prácticamente ilimitado —el habitar humano sobre la Tierra—. Si hipotéticamente se dispusiera, sería tan difícil de procesar como de aplicar. En segundo lugar, **no se dispone de toda la información del dominio de actuación**, ya sea porque no podemos acceder a ella, se desconoce o carece de información exacta. En tercer lugar, incluso si se conocieran las reglas de la arquitectura —insistimos, nada que ver con la composición y los órdenes, meras simplificaciones—, **los resultados podrían ser inciertos**. Los entornos construidos son ámbitos/sistemas que solo podemos observar de forma parcial. En todo caso, no son deterministas y no se conocen al completo.

En resumen, desde la perspectiva planteado, los entornos construidos se pueden entender para construir modelos híbridos:

- Desde el enfoque “termodinámico”. Al igual que la termodinámica es capaz de proporcionando información macroscópica sin el conocimiento dinámico de todos sus elementos mediante ecuaciones, con los que ha podido desarrollar modelos estructurales y térmicos.
- Desde el “computacional” o desde la información, con el que construir el estado de un sistema” o “belif state”¹⁴⁹. Este concepto está relacionado con los patrones de comportamiento en el sentido de que el sistema utiliza su estado de creencia para identificar y comprender los patrones en los datos y eventos que observa. Por ejemplo, si construimos el estado de creencia sobre cómo los usuarios interactúan con un edificio, puede reconocer patrones en sus acciones y tomar decisiones basadas en esos patrones. El estado de creencia se alimenta de datos históricos,

¹⁴⁸ El término "Estado de creencia" o "belif state" se refiere al conjunto de creencias, conocimientos o suposiciones que un sistema o agente posee en un determinado momento. Es la representación interna de lo que el sistema considera verdadero o falso, posible o imposible, y se utiliza para tomar decisiones y planificar acciones. En el contexto de la inteligencia artificial y la robótica, el "estado de creencia" se refiere a la información que el sistema tiene sobre el mundo, incluyendo la información sensorial percibida y los conocimientos previos almacenados. Este estado de creencia se actualiza y modifica a medida que el sistema interactúa con el entorno y recibe nueva información. El estado de creencia es fundamental en sistemas de planificación, toma de decisiones y razonamiento, ya que afecta la forma en que el sistema interpreta y responde a su entorno. Puede incluir información sobre la ubicación, la percepción de objetos, las metas, las intenciones de otros agentes y cualquier otro factor relevante para el sistema en cuestión. En resumen, el "estado de creencia" es una representación interna del conocimiento y las suposiciones de un sistema en un momento dado, que influye en su comportamiento y acciones.

¹⁴⁹ Para un cierto contexto, necesitamos disponer de una representación de las probabilidades de todos los posibles estados actuales del mundo en el que está inmerso el sistema. El término “belif State” se refiere al conocimiento que un sistema tiene sobre el mundo o sobre un conjunto de variables relevantes para su funcionamiento. Para determinar este “estado” se utilizan técnicas probabilísticas (como redes bayesianas) que permite al sistema asignar probabilidades a diferentes estados o valores posibles de las variables y actualizar a medida que se obtienen más información del sistema observado. En nuestro caso, el estado de creencia de un sistema arquitectónico podría ser utilizado para construir algoritmos de inferencia y toma de decisiones para razonar acerca de la incertidumbre. Es decir, tomar las mejores elecciones (óptimas) posibles en base a la información disponible. A través de técnicas como la fusión de datos, el filtrado bayesiano y la propagación de creencias, el sistema puede actualizar y refinar sus creencias a medida que interactúa con el entorno. Inmediatamente nos surge la pregunta para los sistemas construidos: ¿qué es en nuestro contexto, decisiones óptimas?

información en tiempo real y modelos internos del sistema sobre cómo el entorno funciona. A medida que el edificio interactúa con su entorno y recopila más datos, su *estado de creencia* puede actualizarse y refinar su comprensión de los patrones de comportamiento. Es decir, el estado de creencia de un sistema está relacionado con cómo el sistema interpreta y comprende los patrones de comportamiento en su entorno. Utiliza su estado de creencia para tomar decisiones informadas y adaptarse a las condiciones cambiantes. Los patrones de comportamiento pueden ser identificados y comprendidos mejor a través de la información contenida en el estado de creencia del sistema.

Es decir, esta aproximación híbrida, debe combinar modelos arquitectónicos, estructurales y energéticos con los datos obtenidos mediante la sensorización. Esta sensorización comprende tanto el comportamiento del edificio, de sus usuarios como la afección al entorno. Este sería, para nosotros, el sentido genuino de la digitalización en arquitectura.

La digitalización amplía nuestra capacidad de detectar patrones y construir nuevos.

Como se ha indicado, los seres humanos somos excelentes en el reconocimiento de patrones analizando tan solo unos pocos parámetros, con los que podemos conocer y adaptarnos al medio. Destacamos porque si bien otras especies también pueden mostrar cierto grado de reconocimiento, combinamos este reconocimiento con las habilidades cognitivas superiores. En estas habilidades se incluye la capacidad cognitiva avanzada, con la que se procesa y analiza información compleja que requiere la detección y el reconocimiento de patrones; el lenguaje humano es altamente dependiente de los patrones y estructuras gramaticales necesarias para los sistemas complejos de comunicación; la habilidades matemáticas y numéricas desarrolladas implica la identificación de patrones numéricos, secuencia y relaciones, lo que nos ha llevado a construir teorías científicas y resolver problemas a través de los números; y, la creatividad y el pensamiento abstracto, con los que somos capaces de idear nuevos patrones, combinar elementos de diferentes maneras innovadoras. A su vez, el pensamiento abstracto nos permite generar ideas originales. Desde una edad temprana, los seres humanos comienzan a identificar y entender patrones en el mundo que los rodea.

Estos patrones pueden manifestarse en diferentes formas, como secuencias numéricas, secuencias de eventos, estructuras visuales, relaciones espaciales, entre otros. Los humanos tenemos una capacidad innata para detectar regularidades, similitudes y diferencias en estos patrones, lo que nos permite encontrar significado y comprender el mundo de manera más profunda. Pero es importante señalar que esta habilidad natural, **puede ser desarrollada y entrenada a través de la educación, la práctica y la experiencia** (lo que se hace en la práctica en la arquitectura e ingeniería). A su vez, **los avances en la tecnología digital están permitiendo ampliar estas capacidades utilizando algoritmos para analizar y descubrir patrones en grandes conjuntos de datos, lo que amplía aún más nuestras capacidades.**

Como se ha indicado, para los humanos es fundamental que este reconocimiento se produzca de forma cuasi instantánea y precisa, ya que lo que juega es la supervivencia. El reconocimiento de patrones nos permite detectar peligros en el entorno y tomar medidas para evitarlos, pero también identificar recursos alimenticios, energéticos o lugares para habitar. Los patrones juegan un papel fundamental con el que somos capaces de aprender y retener experiencias para adaptarlas a nuevas situaciones actuales. Nos permite identificar regularidades en el entorno y aprender de ellas, como los ciclos climáticos, estacionales, vegetales o animales. Además, el reconocimiento de patrones se muestra fundamental para el desarrollo tecnológico, en la comunicación y en la cooperación. Así, el lenguaje es compartir patrones lingüísticos con los que es posible transmitir experiencias pasadas para aplicarlas en el presente. Por último y no menos importante, el reconocimiento de patrones de comportamiento de los “otros” —sociales—, es la forma en la que los humanos construimos relaciones de colaboración para realizar actividades conjuntas que mejoran nuestra supervivencia y adaptación.

Una de las consecuencias de que podamos aprehender el entorno de esta manera, es que la complejidad es aparente. Si bien existen infinitas conexiones y parámetros que dan una gran diversidad de acontecimientos, es analizar la gran escala rápidamente, la que nos permite tomar decisiones en tiempo real. Emular este proceso que evidentemente es posible, es el que puede ayudar a sortear las intrincadas correlaciones entre variables que dominan nuestros modelos actuales. Supone un cambio de perspectiva sobre los modelos que involucran geometrías, condiciones y variables complejas. Combinando magnitudes primarias con conceptos primarios, sería posible trabajar con la complejidad con algoritmos adecuados capaces de reconocer y producir respuestas simples a partir de entornos complejos. A esto nos referimos con modelos híbridos que combinen conceptos macroscópicos o termodinámicos con los datos proporcionados por la sensorización, realimentándose continuamente mutuamente. El cálculo debería acotarse a unos cuantos coeficientes que representaran el comportamiento del sistema.

Las ciudades inteligentes, nuevo modelo de acceso al conocimiento urbano

Las ciudades inteligentes, nuevo modelo de acceso al conocimiento urbano (E. Cano-Suñén et al., 2024)

Introducción

El crecimiento demográfico y la concentración de seres humanos en ciudades pueden ser considerados dos hechos fundamentales de la evolución humana del s. XX. En el s. XXI el crecimiento demográfico da muestras de converger hacia un máximo, mientras que la concentración urbana, sigue creciendo. En esta lógica, las ciudades inteligentes se presentan como promesas de eficiencia, sostenibilidad y bienestar. Basadas en la sensorización y monitorizaciones necesarias para obtener datos sobre el comportamiento urbano, las ciudades inteligentes permitirían incrementar aquellos procesos que conllevan un mejor funcionamiento urbano, automatizando determinadas tareas y optimizando la gestión de los recursos. Ahora bien, para que estos datos se conviertan en información es necesario disponer de modelos urbanos.

Incorporar perspectivas más amplias sobre la relación de la ciudad con estas condiciones exige una reformulación de los modelos urbanos disponibles, actualmente centrados de forma exclusiva en el ser humano. Si bien las ciudades inteligentes pueden ampliar el horizonte de posibilidad de las conexiones con el resto de la biosfera, la mirada aislada y productiva perseveran y se imbrican en los actuales modelos urbanos, consecuencia todos ellos de sistemas extractivos. Fuera de la eficiencia parece que la ciudad inteligente carece de dirección y sentido, o al menos no es capaz de proporcionar por sí misma un telos diferente del que nos ha llevado hasta aquí. Así, la ciudad inteligente como tal, para no formar parte de la larga lista de las utopías urbanas fracasadas o ser fagocitada por la lógica productiva, debe intensificar las conexiones del entorno construido con el medio. Disponer de nuevos modelos para su análisis, simulación y representación que eviten los anteriores modelos, al mismo que se le dota de un sentido, es perentorio.

Necesidad de un nuevo modelo

La ciudad inteligente se puede definir como un entorno construido al que añadimos una capa tecnológica capaz de obtener información digital con el que analizar su comportamiento, o al menos ciertos aspectos de este. A su vez, si la ciudad se puede entender como una plataforma de intercambio de flujos de información (Bratton, 2016), la ciudad inteligente podría concebir a sus habitantes como parte de una red. Este mundo virtual coexiste y se recombina con ciudades cada día más homogéneas y globalizadas (Cacciari, 2010). Esta dualidad entre el mundo físico y virtual no solo no intensifica las relaciones con el entorno, sino que profundiza en la disociación entre el mundo del que dependemos y del mundo dónde creemos vivir (Latour & Schultz, 2023). Entretenido tras pantallas, el urbanita es cada día menos consciente de cómo funcionan los suministros de energía, alimentos y agua, cuestiones todas ellas que le permiten desarrollar su existencia sin tener que interaccionar de forma lineal y unívoca con un medio que se le aparezca como hostil. La falta de indicios de qué y cómo funcionan las redes y las tecnologías de la

información que hacen posible su refugio de lo real en un mundo alternativo en el que consumir el tiempo vital, aumentan la separación y aislamiento.

Estas redes y tecnologías de la información son el fundamento del concepto “smart” de toda ciudad inteligente. Bien se centren en los servicios (energía, sistemas de tráfico, de salud, infraestructuras, etc.), bien en las personas (bienestar, ocio, redes sociales, negocios digitales, etc.), este concepto se basa en la sensorización, monitorización, adquisición, almacenamiento y tratamiento de datos para producir información (IoT) (Ashton, 2009). Que una ciudad sea inteligente, implica que dispone de sistemas y procesos capaces de conocer su realidad para tomar decisiones autónomas. Esto requiere generar información a partir de datos, sistemas de procesamiento, transmisión y almacenamiento de datos, modelos matemáticos y capacidad de computación. En definitiva, virtualizar todos o algunos de sus aspectos de la realidad urbana, y reducirlos a un lenguaje computable. Es decir, tenemos que virtualizar la ciudad si pretendemos evaluar ciertos impactos o simular el comportamiento de la misma y sus habitantes en función de distintos escenarios.

La virtualización es el proceso de generación de un modelo digital o matemático que corresponde a un sistema físico determinado, y que será utilizado para realizar análisis, representar valores o ciertos aspectos de la realidad, o crear otra completamente diferente. Virtualizar cualquier sistema implica establecer sus objetivos, identificar sus límites, así como las variables e interacciones más relevantes y características para el fin que estamos persiguiendo. Así, todo sistema virtual es un modelo, una simplificación de la realidad (Meadows, 2009) operativa para alcanzar cierto objetivo.

Este fin o sentido de la ciudad inteligente es altamente discutido: desde su capacidad para seguir y almacenar cada uno de nuestros movimientos para mejorar los servicios, aumentar la sostenibilidad y equidad social, o hasta propiciar una nueva gobernanza. Sin embargo, los registros de nuestro comportamiento pueden tanto ampliar el conocimiento sobre nuestros patrones de organización como amplificar los sistemas de vigilancia y control. Al mismo tiempo el conocimiento sobre la gestión y los recursos consumidos puede no alterar ni reducir el impacto de los procesos humanos sobre el medio. En este sentido, la experiencia está mostrando tanto nuestra incapacidad para gestionarnos políticamente con esta información (Greenfield, 2013) como para reducir las causas del cambio climático. El acceso a más información y conocimiento no ha dado lugar a una política más informada ni ecológica, sino más bien a una basada en la inmediatez, la banalidad y la superficialidad de los mundos virtuales (como por ejemplo muestra clara, pero no únicamente, las redes sociales). Siguiendo lógicas de propagación genética (Dawkins, 1993), despliegan una radicalización e identitarismo ideológico que favorece y alimenta el espectáculo y la demagogia.

Vemos que esta ausencia de sentido de la nueva capa tecnológica sobre la ciudad contrasta con los principios originales de la cibernética. Ciber, κυβερνητική, “el gobernante” o “piloto” fue introducido por el matemático Norbert Wiener (1965) por su capacidad de orientar o dar dirección a un sistema automático. Si la ciudad inteligente depende de sus dispositivos cibernéticos, debemos replantearnos no solo quién decide cómo se gobierna, pilota o pro-grama la ciudad, si no también si sus objetivos están implícitos y constreñidos en las tecnologías aplicadas. Ahora bien, esta ausencia de definición clara de objetivos sobre los que incluso aparecen posiciones contradictorias, no

impide en modo alguno que se continúe aumentando el número de sensores, así como la densidad y precisión de todo lo que pueda ser medido, cuantificado y virtualizado.

Es decir, la ausencia de sentido no impide que todas las ciudades busquen incrementar su capacidad de tomar decisiones informadas o reaccionar a ciertas condiciones ambientales de forma autónoma en tiempo real. A este respecto es suficiente con disponer de modelos que simulen y representen sus características físicas con los que producir la ingente cantidad de datos que proporcionan sus sensores, bases de datos y monitorizaciones. Obviamente, la contraparte es que generar modelos basados en la información deja fuera de foco todo aquello que no pueda ser medido y computado.

Cuando se pretende construir un modelo urbano, no se considera renovar aquellos que concibieron la ciudad como un plano bello o compuesto desde un punto de vista alejado de la Tierra, y menos aún los concebidos por cualquiera de las utopías. Se trata simplemente de que, dado un fin, dispongamos de modelos que sean capaces de establecer predicciones sobre si el comportamiento de un sistema urbano evoluciona en una u otra dirección determinada. Así, los modelos no basados en el análisis de procesos y flujos, como los que han tratado de reducir el dinamismo y la complejidad de la ciudad a geometrías estáticas (morfología urbana) incapaces de proporcionar resultados predictivos, no pueden ser la base teórica sobre la que superponer la capa digital. De la misma manera, si construimos modelos únicamente a partir de datos, podemos caer en dualismos entre el espacio físico y el digital y partir de modelos ajenos a nuestras condiciones de habitabilidad, lo cual solamente conllevará un aumento de la disociación con el medio.

Debido a ello, este texto defiende la necesidad de un cambio de paradigma respecto a los modelos urbanos con los que debe operar una ciudad inteligente, asumiendo que contamos con más datos que modelos, que no hemos definido con claridad cuál debe ser el sentido del sistema y, finalmente, que tampoco hemos determinado un objetivo concreto más allá de la eficiencia propia de las actuales lógicas de la producción.

Cosmovisiones y cosmotécnicas.

Sin apenas percatarnos, hemos cambiado de cosmología. Con dicho cambio, la misma institución científica que sirvió de esperanza y enarboló el sentido de evolución, de progreso y mejora continua e irreversible (Kurzweil, 2012), nos desvela ahora un horizonte muy diferente. La ciencia clásica proporcionó un telos determinado -el dominio del hombre sobre la naturaleza- y, en combinación con la técnica, modificó las condiciones de habitabilidad del planeta. Frente a dicho modelo, la nueva cosmovisión científica basada en la teoría de sistemas es la que ha desplegado los sensores e infraestructura necesarios para construir nuevos modelos sobre la biosfera (Lovelock, 1985) que a su vez hacen posible que la institución científica desvele las consecuencias de los cambios globales. Dichos modelos nos han mostrado que nuestra forma de habitar —básicamente urbana— nos encamina en dirección a la sexta extinción (Kolbert, 2014), la pérdida de biodiversidad (Eriksson & Hillebrand, 2019) y la simplificación de la vida, en términos de pérdida de biodiversidad. Lejos de una emancipación utópica, lo que se ha puesto de relieve es nuestra propia dependencia del mundo del que vivimos, así como de las profundas interdependencias entre todos los sistemas, vivos y no vivos, humanos y no-humanos. Al mismo tiempo, aun con toda nuestra actual capacidad técnica para procesar datos y,

construir y aplicar modelos, la ciencia continúa siendo incapaz de proporcionar modelos exactos, deterministas y certeros, si bien sí que es capaz de indicar la dirección del desastre al mismo tiempo que muestra su incapacidad para corregir por sí misma el desenlace pronosticado. Proporciona información de lo que pasará si seguimos haciendo lo que hacemos, pero no de cómo seguir haciendo lo que hacemos sin poner en riesgo las condiciones de habitabilidad del planeta.

Esta nueva cosmología replantea nuestra posición en el mundo destacando que, por contraposición al paradigma del infinito pre-entrópico, para Bruno Latour, estamos claramente cercados y delimitados (Latour, 2019): constreñidos a las condiciones de habitabilidad del planeta tanto como conscientes de que las estamos destruyendo. Hemos ido mucho más allá para constatar en la macro-escala nuestra condición de seres confinados en nuestro propio planeta (Latour, 2021), a su vez que la de la interdependencia entre todos los modos de vida en la micro-escala. En consecuencia, la naturaleza ha dejado de ser lo que no éramos nosotros, lo exterior a lo humano. Ya no puede ser por más tiempo la reserva de todo lo necesario para el modelo productivista de desarrollo humano. De la misma manera, la ciudad ya no es la muralla y cerca que separaba un estado civilizado de lo salvaje. Lo sabemos, pero aturdidos por el cambio radical que está acaeciendo, hemos quedado petrificados en la inacción, o lo que es peor, en la mera impostura de las cuestiones estéticas y morales sobre la sostenibilidad. Nos encontramos, pues, ante una nueva espacialidad, pero también ante una nueva temporalidad.

Dado dicho contexto cosmo y epistemológico, Luis Bettencourt y Geoffrey West (2010) han propuesto un modelo urbano en el que las ciudades funcionan como sistemas complejos con comportamientos emergentes. Es decir, que las ciudades actúan como centros de interacción social en los que se fomentan intercambios complejos entre personas y organizaciones. En estos sistemas, a más interacciones, más posibilidades de nuevas ideas y nuevas relaciones. Estos intercambios pueden ser económicos y/o energéticos, es decir, computables, pero también de ideas, conocimiento y cultura —obviamente mucho más difíciles de computar cuantitativamente—. La paradoja es que, a más interacciones en un sistema complejo, mayor incertidumbre y menor posibilidad tanto de control centralizado como de dirigir exteriormente el sistema hacia un fin determinado. Del mismo modo, también hay menor posibilidad de generar modelos virtuales operativos e incluso de determinar que, en sí misma, la ciudad pueda tener (hacia) algún sentido claro. Desde los sistemas complejos, de lo que se trataría entonces es que la ciudad pueda modelizarse como un proceso complejo y dinámico del que emerjan algunos patrones parciales de organización y comportamiento no previamente planificado. Estos patrones podemos describirlos en parte a través de distintos análisis de datos que funcionen como base de nuevos modelos de conocimiento urbano, pero también del acervo cultural y la experiencia humana adquirida en interacción con los mismos.

Finalmente, el despliegue masivo de IoT así como el crecimiento de los datos en internet, la computación y almacenamiento en nube y, en definitiva, el big data, combinado con el aumento de la capacidad de computación ha hecho posible el despliegue de la Inteligencia Artificial (AI) basada en sistemas ya conocidos y desarrollada desde algoritmos probabilísticos e inductivos como el aprendizaje automático (Machine Learning, ML). Impulsado por el acceso a grandes cantidades de datos, dichos análisis se muestran más efectivos en la resolución de una amplia gama de problemas del mundo real, desde la visión por computadora hasta el procesamiento de lenguaje natural. Estos enfoques

inductivos permiten que los sistemas de IA aprendan patrones y relaciones a partir de datos, en lugar de depender únicamente de reglas predefinidas de comportamiento determinado.

A este respecto, es necesario recordar que el espectacular desarrollo de ChatGPT (Generative Pre-trained Transformer) y ahora de Gemini, son modelos de lenguaje LLMs (Large Language Models) basados en una gran cantidad de parámetros (175 millones para GPT-3) mediante métodos inductivos y probabilísticos. Debido a ello, son *cajas negras* que no permiten ni pueden comprender completamente lo que dicen. Ello se debe que, para una cierta cantidad de datos, su comportamiento se limita a asignar una probabilidad determinada a ciertas secuencias, aprendiendo distintos patrones y reglas concretas a partir del análisis de billones de combinaciones posibles mediante el entrenamiento, siendo capaces debido a ello de dar la secuencia de palabras correcta para un determinado contexto.

Esto es particularmente importante, ya que aunque hayamos dado una prevalencia al lenguaje y nos sorprenda que una máquina pueda llevar una conversación fluida con nosotros, no funciona ni de la misma manera ni obtiene los mismos resultados que nuestra forma de procesar y entender los sistemas semióticos. La AI actual no exige comprender cómo funciona la cognición humana ni cómo se programa una inteligencia artificial, pues se basa únicamente en la capacidad tecnológica de procesar datos y la potencia de computación (Larson, 2023).

Nuestra inteligencia es profundamente situacional (Haraway, 1988), de modo que es nuestro entorno el que determina cómo se manifiesta nuestra inteligencia, ya que pone límites estrictos a lo que podemos hacer y a lo que podemos enfrentarnos. Es adaptativa en un entorno cambiante y pleno de incertidumbre, estableciendo continuamente inferencias situacionales y utilizando la experiencia previa de nuestro pensamiento para hacer conjeturas y juicios, así como seguir intuiciones que son de gran importancia en nuestra toma de decisiones (Peirce, 2007). Por lo tanto, lejos de las utopías tecnológicas elaboradas, por ejemplo por Raymond Kurzweil (Kurzweil, 2013), lo que ponen de manifiesto estos sistemas es nuestras propias restricciones para crear una inteligencia y lo lejos que estamos de comprender nuestra capacidad para interactuar con el medio de la manera en la que lo hacemos (Hoel, 2023). Es este sentido, si no podemos esperar un sistema que piense por nosotros, estamos más confinados que nunca en nuestros propios límites. A este respecto, no se puede reemplazar el pensamiento fundamental con procesos de ingeniería de datos, sino únicamente esperar nuevas configuraciones del conocimiento creado.

En consecuencia, el concepto de ciudad inteligente debe dotarse de nuevos modelos que se imbriquen en el actual contexto de incertidumbre, desastres ecológicos y complejidad. Modelos que incluyan en sus fines la reducción de la distancia entre el mundo del que dependemos y del mundo dónde creemos vivir. Modelos que incorporen la AI, pero sabedores de sus limitaciones y principios, y conscientes de que la inferencia humana para asociar ideas y conceptos es insustituible.

Mod(el)os de conocimiento y límites de la computación

Seguir utilizando modelos urbanos (y no urbanos) que no consideren las ciencias de los datos y la computación en la virtualización de ciudades inteligentes resulta anacrónico, inoperativo y excesivamente simplificador. Del mismo modo, no utilizar la base de conocimiento y experiencia profunda que toda ciudad acumula, sería un simple desperdicio. Frente a dichas posturas, nuevas propuestas de modelos como los denominados Gemelos Híbridos (Hybrid Twins) plantean una perspectiva con la que combinar enfoques de modelos físicos y modelos de datos para obtener una representación más precisa y completa de un sistema o proceso determinado (Chinesta et al., 2020). Chinesta y et. Han desarrollado estas nuevas aproximaciones se construyen desde un modelo físico -por ejemplo, el de una determinada ciudad-, y cuentan con el conocimiento acumulado y de los principios de las ciencias y la física necesarios para ser capaces de aprehender las interrelaciones y comportamientos propios del sistema analizando grandes volúmenes de datos. Concretamente, su funcionamiento se basa en añadir a los modelos disponibles la información obtenida de los datos recopilados de sensores, dispositivos y sistemas en tiempo real. Ahora bien, detrás de ellos siempre está la inferencia humana necesaria para saber, identificar y decidir qué medir, para qué finalidad y con qué objetivos concretos. En este sentido, es importante destacar que en dichos sistemas no existe la dualidad propia de los sistemas virtuales anteriormente comentados, sino que por el contrario existe una continua realimentación entre los mismos, de modo que los datos analizados son utilizados para ajustar el modelo físico, lo que permite una mejor correspondencia con el comportamiento y experiencia humana. John Gray a mostrado la importancia de incorporar perspectivas más amplias, hacia las experiencias no humanas, capaces de ampliar las condiciones y comprensión de lo real (Gray, 2020).

Utilizar estos modelos para estudiar la ciudad, permite focalizar nuestros esfuerzos para prever, no tan solo cómo evolucionará el tráfico en una ciudad, el consumo de agua o energía (mucho más previsibles), sino sobre todo para tratar determinados problemas que asuman en mucho mayor grado la complejidad e interdependencia con la indeterminabilidad del comportamiento humano. Preguntas como en qué medida afectarán ciertas políticas y diseños urbanos al comportamiento humano y no humano, a la vulnerabilidad social, al medioambiente y/o al bienestar de las personas son los principios guía del conocimiento producido con dichos sistemas. Debido a ello, construir modelos híbridos computerizables partiendo de la constitución física de una ciudad y las relaciones y patrones de comportamiento y organización urbana conocidos desde los datos obtenidos por la sensorización, puede ser un camino efectivo para el aumento del conocimiento de la ciudad, y un cambio en los paradigmas de análisis y diseño urbano.

En estas nuevas aproximaciones está implícito que la IA puede ayudar tanto al desarrollo de las ciencias humanas y sociales, como a la arquitectura y el urbanismo implicados en el conocimiento y mejora de las ciudades, pero no puede revolucionarlos, ya que se es plenamente consciente de que se basan en una simple expansión de la productividad computacional. El principio de eficiencia y productividad no constituirá una innovación operativa si no va acompañado de un sentido compatible con el contexto que hemos definido. Los algoritmos de patrones necesitan categorizar diferentes variables para determinar si el patrón de reconocimiento de patrones es correcto en sus identificaciones.

Debido a ello, este proceso necesita de la comparación con el juicio humano para que la IA pueda dar una respuesta “correcta”. Sin juicio humano, el resultado pierde su razón de ser.

Nuevos mod(el)os de procesamiento de datos requieren nuevos mod(el)os de representación (de la ciudad)

Para una ciudad inteligente, su modelización híbrida debería partir desde un enfoque reflexivo sobre lo que puede y no puede hacer la IA. Ello implica que las premisas sobre qué es una ciudad están arraigadas en el reconocimiento de la naturaleza interpretativa del conocimiento, que la exposición de los datos en sí está concebida para generar expresiones también cualitativas, y que la información se debe representar gráficamente para ser comprendida. Debido a la naturaleza y continuidad de la representación urbana, este último aspecto es crucial.

En cada mapa, plano o representación gráfica de las ciudades está implícito un determinado modo de pensamiento. Las nuevas tecnologías parten acríticamente de estas tecnologías renacentistas de representación, limitándose a incorporar información cuantitativa. En este sentido, las categorías básicas de información que consideramos cuantitativas y objetivas, y que son parámetros fundamentales de la producción de gráficos, ya son en sí mismas expresiones previamente interpretadas (Drucker, 2011). Sin embargo, no se incide lo suficiente ni se presentan como categorías de interpretación que han sido previamente seleccionadas por nosotros en función de la cosmovisión técnico-representacional desde la que aprehendemos (gráficamente) el mundo. Concretamente, a nuestra forma de representar la información es inherente la ambigüedad y la incertidumbre. Debido a la fuerza representacional de la información basada en “la imagen” de los datos, no reflexionamos lo suficiente sobre las problemáticas premisas que conllevan, centrándonos únicamente en la solución mostrada.

Además, las disciplinas en las que la representación gráfica es parte fundamental de sus principios de diseño como son el urbanismo y la arquitectura, no pueden partir de premisas que resulten proporcionales a los principios de certeza en los que se basan los métodos cuantitativos y/o empíricos debido a que no se pueden realizar experimentos repetibles en entornos controlados, con métricas confiables y estándares que puedan proporcionar información (relativamente) independiente del observador y su configuración epistemológico-representativa. Debido a ello, la ciudad está abierta a condiciones experienciales y subjetivas de interpretación mucho más amplias que las propias de las ciencias empíricas. Unas condiciones que se incrementan debido a su configuración como sistema complejo con fenómenos co-dependientes y la multiplicidad de variables implicadas, que difícilmente pueden ser exactamente las mismas para cada situación. En consecuencia, cualquier representación de datos mediante gráficas contiene grados de incertidumbre que no pueden ser ignorados desde una perspectiva constructivista del conocimiento. Debido a ello, cualquier decisión basada en datos debe enfatizar la cualidad expresiva de la interpretación implicada, pues toda información construida es subjetiva y situacional.

Ahora bien, el empleo de métricas y gráficos comunicativos para comprender los fenómenos urbanos es esencial para pasar de la información a la expresión subjetiva de fenómenos percibidos, si bien todo dato, para ser información, debe pasar por procesos

interpretativos que son por definición subjetivos. En este punto, es necesario incidir en que no estamos estableciendo la subjetividad como una expresión de idiosincrasia, espontaneidad, emoción o las peculiaridades individuales de un determinado agente epistemológico, sino como una expresión sistemática de información construida a partir de fenómenos percibidos según principios de interpretación.

Es decir, consideramos que cada métrica es un factor de una cierta realidad enfocada desde un cierto punto de vista, implicando necesariamente cada punto de vista la incorporación de conceptos como agenciamiento, suposición, inferencia, o presunción. Esto es, de forma más sencilla, implicando una costumbre o convención. De esta manera cualquier métrica es comprendida como un factor de una serie de condiciones por las que la información pasa de ser un “hecho” a una interpretación construida por una motivación humana para responder a determinados objetivos. Éstos pasan inexorablemente por la subjetividad del que los plantea y determina, ya sean éstos un colectivo, agentes individuales o disciplinas que quedan siempre enmarcados en un contexto moral, costumbrista o económico de comportamiento del que difícilmente el animal humano puede prescindir.

La consecuencia de obviar esta aproximación y enfocar los problemas complejos mediante representaciones mecanicistas lineales es que los gráficos y expresiones con los que se muestran los resultados sobre ciertos aspectos (de la arquitectura y el urbanismo) son leídos habitualmente como gráficos realistas de entidades discretas, y no como interpretaciones constructivistas. Variables que presentan cierta difusión, complejidad e interdependencia con otros muchos factores, son presentados mediante una lógica visual correspondiente a parámetros objetivos e independientes, propios de los sistemas aislados en condiciones ideales. Cada una de esas gráficas son construidas desde simples indicadores energéticos o patrones de ocupación que se limitan a aislar dos o a lo sumo tres variables con las que tratar de establecer relaciones bidimensionales. Ahora bien, esta reducción también puede ser entendida como una forma extrema de conocimiento interpretado pues toda variable puede ser intrínsecamente permeada y relacionada con otras muchas variables. Las lógicas cartesianas situadas en un contexto parcial y reduccionista pueden tener la apariencia de un conocimiento sistemático y preciso rigurosamente creado a partir de una base numérica, si bien el pensamiento analítico y numérico también depende de las interpretaciones desde las que se han construido sus procedimientos de simplificación y reducción de la complejidad existente.

Sin embargo, desde nuestro enfoque, para ser “precisos” es necesario replantear el punto de vista monofocal desde el que se han creado las lógicas cartesianas, como también la presunción de certeza con la que se encara la lectura de esas gráficas. Es decir, debería ser evidente —y no lo es— que ambos fenómenos implican muchas más acotaciones posibilistas y operativas sobre la certidumbre y el conocimiento aportado por los mismos sobre los fenómenos complejos existentes, que los reconocidos por sus propias posiciones.

Ante una gráfica de resultados del análisis de datos de variables urbanas, es tan importante lo expresado como el punto de vista introducido en su proceso de construcción. Para toda expresión cuantitativa de unos datos, no siempre es evidente su posición ni la perspectiva con respecto a la disposición, técnicas y objetivo interno con la que se ha generado esa información. Del mismo modo, toda representación cartográfica contiene en su expresión gráfica un conjunto de suposiciones sobre las cuales ha sido representado. Especialmente

en urbanismo y arquitectura, la información dibujada es tan dependiente del punto de vista que la ha generado como del observador que puede leerla de forma independiente. En este sentido, todo gráfico leído inserta el punto de vista desde el que se produjo en el punto de vista de su interpretante. En consecuencia, el objetivo del observador es capaz de modificar sustancialmente la información que han pretendido insertar sus creadores en la representación. Esta es una restricción insalvable para los sistemas inteligentes y los modelos híbridos.

La cartografía o un gráfico con datos sobre cierto aspecto urbano o arquitectónico marca e indica una cierta combinación específica y no explícita de un fenómeno complejo multidimensional que dista mucho de estar claramente delimitado. Cada plano o gráfica se abre a la interpretación al ser tan solo la precipitación de un determinado aspecto de un plexo de interrelaciones co-dependientes de un fenómeno que hemos definido como complejo.

Mientras que en la cartografía hegemónica occidental las entidades o unidades de información se entienden como abstracciones ficticias que sirven a un propósito, nuestro enfoque prima el potencial de las representaciones cartográficas para ser releídas desde diferentes puntos de vista y generar nuevas relaciones e inferencias interdisciplinarias que, sin planos ni gráficas no serían evidentes y/o posibles.

En consecuencia, nuestro enfoque constructivo cuestiona fuertemente la utilización de métricas estándar (ya sean ambientales, económicas o energéticas) para abstraer cuantitativamente información cualitativa de las circunstancias humanas y no humanas en un contexto dado. Planteado de otra manera, este punto de vista cambia el concepto estadístico de objetividad por los de interrelación, contingencia, permeabilidad y ambigüedad, todos ellos complejamente entrelazados.

Cualquier estudio urbano basado en métodos IA, incluso las técnicas más simples de cuantificación o las meras correlaciones lineales, deben abordar (antes de extrapolar cualquier conclusión) desde qué supuestos se han construido, para qué finalidades y en qué conceptos y contextos se basan. A su vez, todos estos supuestos, finalidades, conceptos y contextos dependen de dos factores clave: En primer lugar, los datos que proporciona una ciudad inteligente se representan en una evolución temporal. En segundo, lugar, están ubicados en un sitio concreto. En consecuencia, atender y reconsiderar la temporalidad y la espacialidad de las representaciones empleadas en cualquier modelo híbrido debe formar parte de toda aproximación a los problemas urbanos.

La temporalidad de la representación

Supuestamente objetivas, las gráficas que representan fenómenos dinámicos se basan en una evolución temporal de los datos. Proporcionan un cierto valor para un instante o periodo de tiempo determinado en una escala numérica. Es decir, asignamos un número (fechas, periodos, duración) a un cierto evento. Esta simple operación, permite establecer una determinada concepción del tiempo desde la que poder comparar acontecimientos. Concretamente, una concepción newtoniana y mecanicista basada en la premisa a priori de que existen entidades absolutas e independientes de todo tiempo y espacio, así como en el carácter uniforme, continuo y lineal de estos últimos. Una perspectiva que contrasta con el enfoque de Whitehead (Stengers, 2020), en el que el tiempo es resultante de las co-

relaciones establecidas entre los eventos y/o acontecimientos que se integran entre sí formando el flujo continuo que percibimos como la realidad. A diferencia de en la clásica concepción newtoniana, en la concepción de Whitehead el tiempo está interconectado con los eventos y procesos en curso, formado por acontecimientos interrelacionados de modo que son los mismos procesos los que producen el tiempo en lugar de limitarse a “tener lugar” en un tiempo previamente existente.

Estas dos concepciones antagónicas —la newtoniana y la whiteheadiana— permiten establecer dos sistemas. El primero, altamente operativo, se centra en cómo cambia una cierta variable respecto a un periodo normalizado, con lo que podemos establecer comparaciones y medidas con respecto a un determinado sistema. Sin embargo, no propicia considerar la naturaleza inter-relacional del fenómeno en profundidad. El segundo nos informa de la profunda interacción entre el proceso que tiene lugar y el acontecimiento. Por contra, debido a que es propio de ese fenómeno, no nos permite hacer comparaciones objetivas con, y traducibles a, otros sistemas. Su capacidad para proporcionar información se limita a la repetición y la diferencia con los que establecer patrones que pueden ser comparables con los de otros acontecimientos de naturaleza similar. Es decir, que sus resultados no se miden respecto a una referencia externa espacio-temporalmente absoluto y/u objeto ya que su estructura temporal es relacional, y por tanto constituida desde inflexiones y variables interconectadas.

A efectos prácticos, el enfoque mecanicista-newtoniano posibilita comparar, por ejemplo, el consumo energético de un edificio en un periodo con el de otro en el mismo periodo, pues la entidad epistemológica a comparar es un valor alfa-numérico producido en relación con un tiempo previamente construido de forma completamente independiente a los fenómenos en él ubicados. Del mismo modo, el consumo energético de un edificio en un periodo puede compararse también con la medición de otro fenómeno (por ejemplo, la eficiencia energética) producido en el mismo periodo. Sin embargo, este valor, no nos informa de que, para un edificio, ni todos los segundos son iguales ni cómo ha afectado al comportamiento de sus habitantes, al medio, o al de otro edificio con el que se lo compara.

En ciencias empíricas como las exactas, la ingeniería o las sociales, el tiempo se entiende continuo, unidireccional y homogéneo. Esta homogeneidad es la que hace posible que sus métricas sean estandarizadas y tengan dirección. Por el contrario, no da cabida a pliegues, discontinuidades, ambigüedades propias de los eventos relacionales: “antes de que suceda tal cosa” o “después de que ha sucedido” un evento significativo. En consecuencia, limita ampliamente nuestro conocimiento sobre la retrospección y/o la anticipación ontológicamente necesaria para comprender la entropía de los fenómenos urbanos y sociales.

¿Significa esto que no se pueden elaborar gráficas que incluyan múltiples enfoques interpretativos para generar nuevos datos estructurados? En realidad, lo único que significa es que, utilizando métodos mecanicistas, la interpretación siempre será a posteriori y en comparación con otros datos, lo que hace que nos centremos en el resultado (epistemológicamente construido) y no en los eventos (ontológicamente actuantes) que lo han producido. En consecuencia, partimos ya de las condiciones de posibilidad que han hecho posible la representación.

Si queremos capturar la red relacional previa a la representación, debemos invertir la secuencia de los procesos intelectuales al modelar el evento, incorporando la

interpretación. Esto conlleva no centrarse en mostrar lo que ya estaba implicado (paradigma trascendental del conocimiento), o lo que se suponía que se sabía (paradigma probabilístico), poniendo en primer lugar el carácter producido de las condiciones de posibilidad espacio-temporales de la información construida. La representación de la temporalidad así entendida debe incluir tanto los múltiples puntos de vista existentes como las posibles reelaboraciones futuras de los eventos investigados de acuerdo con una “posición móvil” que cambia dentro de una secuencia o devenir temporal. Tan importante es la intensidad y otros atributos de ciertas variables como sus características relacionales que marcan y co-producen el evento.

La temporalidad mecanicista es propia de la representación cartesiana, de modo que solo puede proporcionar resultados unidireccionales, homogéneos y continuos, muy lejos de la realidad constituida por un sistema complejo de eventos (Abram, 2021). El sistema cartesiano no puede incorporar la cualidad relacional que implica la codependencia entre los eventos que producen el acontecimiento, pero es imbatible para proporcionar información medible “objetivamente” por el observador. En la aproximación constructivista, las infinitas variables que afectan y son afectadas en un proceso, son seleccionadas para conformar un modelo en el que las diversas influencias implicadas —desde los estados de ánimo hasta las condiciones de contorno (restricciones)— deban incluirse a priori en la representación.

El espacio como temporalidad

Si bien tanto la teoría de la relatividad especial como la general tuvieron un impacto significativo en las concepciones tradicionales del tiempo y del espacio, apenas han afectado a la utilización efectiva del planteamiento cartesiano como modelo hegemónico para la representación del espacio urbano y arquitectónico. Si bien conocemos que el tiempo y el espacio no son las entidades separadas y absolutas imaginadas por Newton, sino que están intrínsecamente ligadas en el espacio-tiempo concebido por Einstein, la idea de un espacio absoluto, homogéneo e isótropo continúa anidada en el pensamiento técnico-espacial contemporáneo. En este sentido, el marco tridimensional (x , y , z) que establece el modelo cartesiano para describir un punto en el espacio continúa siendo válido para determinar las velocidades de los procesos a escalas humanas. Como consecuencia, sigue ignorándose el carácter relacional del tiempo y el espacio.

Gran parte del planteamiento cartesiano se debió a que el filósofo francés estableció una conexión unívoca entre los números y el espacio a través del álgebra. Desde entonces, los problemas espaciales pudieron resolverse mediante métodos algebraicos y viceversa, allanando el camino hacia la completa abstracción del sistema euclidiano, si bien ello conllevó la atribución al espacio de una homogeneidad e isotropía radicales propias de la concepción ideal de la geometría, donde a diferencia de en el mundo físico real, nunca hay una dirección privilegiada y todas son equivalentes.

Esta conexión entre números, álgebra y espacio continúa formando la base actual de los sistemas de representación en la arquitectura y urbanismo. O lo que es lo mismo: el sistema cartesiano ya estaba contenido en el núcleo fundamental de las reglas de la perspectiva desarrolladas en el Renacimiento. Tanto uno como otro establecen una relación bidireccional unívoca entre un sistema de representación espacial no relacional y uno visual con puntos de vista jerárquicamente privilegiados. En consecuencia, la

concepción mecanicista newtoniana del espacio no alteró las reglas fundamentales de la perspectiva arquitectónica ni su sistema representativo, sino que se limitó a proporcionar una herramienta matemática compatible y complementaria con los sistemas gráficos establecidos, a los que consolidó por su enorme fuerza y expandió como medio universal de representación arquitectónica y urbana. Constituida desde entonces como la referencia espacial absoluta, la concepción newtoniana del espacio cerró la puerta a todo otro mod(el)o de representación espacial, que a partir de entonces pasó a ser re-conceptualizado como “no-científico” por el simple hecho de no disponer de un sistema numérico preciso y objetivo asociado.

Si bien la revolución cibernética-digital primero, y el Big Data después, pudieron haber supuesto la oportunidad para que la espacialidad interpretativa de Whitehead se incorporara a la representación arquitectónica y urbana, lo que en realidad ha ocurrido ha sido todo lo contrario: el BIM (Building Information Systems) primero, y el GIS (Geographic Information Systems) después, se limitaron a mantener una concepción cartesiana del espacio a la que vincularon información alfanumérica independiente en forma de capas, restringiendo de este modo las condiciones de posibilidad de la representación a simples planos-imagen tridimensionales (BIM) y/o a meros mapas estáticos generados a partir de diversas variables (GIS). Avalados por su incremento de la productividad, la utilidad y la facilidad operativa y de interpretación, la incorporación de computación en la representación gráfica mediante los programas informáticos no cuestionó en ningún momento los conceptos renacentistas y cartesianos propios del mecanicismo, imposibilitando con ello la apertura de nuevos horizontes y modelos epistemológicos desde los que repensar tanto el espacio en sí mismo, como la modelización computacional del mismo necesaria para aprehender las lógicas propias de los sistemas híbridos y complejos en los que vivimos.

Las ciudades inteligentes son un espacio-tiempo dinámico sensorizado capaz de proporcionar datos para conocer su funcionamiento sistémico emergente, comprender los comportamientos humanos y no-humanos agenciados y automatizar ciertos procesos en tiempo real mediante una decisión pre(viamente)-pro-gramada. Para poder obtener información a partir de esos datos es necesario disponer de modelos como los virtuales o los gemelos digitales, si bien ambas opciones presentan reduccionismos epistemológicos que limitan su operatividad a entornos previamente simplificados. Sin embargo, la ciudad es un sistema complejo con fenómenos que presentan una gran cantidad de incertidumbre, realimentación e interconexión entre una cantidad ingente de variables cuya gestión exige tener que recurrir a la computación digital. Debido a ello, la ciudad en sí misma se convierte en una fuente de información capaz de acumular de forma estructurada (no necesariamente lineal) la experiencia habitacional humana, y no humana.

Un modelo de representación y procesamiento computacional complejo para una ciudad compleja debería poder incorporar de algún modo estas consideraciones. Además, los modelos complejos necesitan un objetivo, un problema a resolver, un para qué. En definitiva, un estado-eigen¹⁵⁰ como sentido y tendencia del sistema. La cosmovisión

¹⁵⁰ Ver: León Casero, Jorge. "Maquinas no-triviales en sociedades de control. Una lectura cibernética de la ontología maquina de Deleuze y Guattari/Non-trivial machines in control societies. A cybernetic reading of the machinic ontology of Deleuze and Guattari." *Revista de Filosofía*, vol. 46, no. 1, June 2021, pp. 99+. Gale OneFile: Informe Académico,

científica del mundo ha cambiado, e impone urgencias climáticas ante las que es necesario proponer alternativas desde la lógica de la producción. En consecuencia, dichos modelos también deberán incorporar modos de interpretar y/o comprender el modo en que las decisiones y procesos urbanos afectan al medio en el que tienen lugar las ciudades, o de forma más precisa, a los acontecimientos virtuales que generan los procesos espacio-temporales (Whitehead, 1968) desde los que se configuran los agenciamientos cosmo-técnicos entre ciudad y medio (Hui, 2020).

El despliegue generalizado de la sensorización y el Big Data permite incorporar la AI en los modelos híbridos para entender y simular la ciudad. Sin embargo, la AI presenta limitaciones conceptuales derivadas de sus propios principios probabilísticos basados en la cosmovisión cartesiano-newtoniana. A su vez, la creencia de que los datos son intrínsecamente cuantitativos, evidentes por sí mismos, neutrales respecto a los valores e independientes del observador, excluye la posibilidad misma de que puedan desarrollarse modelos computacionales aptos para dar cuenta de los agenciamientos complejos existentes entre la inmensa variedad de variables heterárquicamente co-dependientes (León Casero y Closa Guerrero, 2020). En consecuencia, debemos repensar los fundamentos de la forma en que los datos son concebidos, modelizados y representados cambiando sus condiciones de certeza a construcciones de incertidumbre y ambigüedad, rediseñando los medios gráficos adecuados desde los que poder expresar/mostrar la complejidad interpretativa que conllevan al menos en dos aspectos claves para el urbanismo y la arquitectura: la temporalidad y la espacialidad.

Un tiempo y un espacio absolutos y completamente independientes del observador como son los utilizados en las actuales representaciones urbanas, combinados con la practicidad y operatividad opaca conllevan únicamente a la aplicación de modelos y cosmovisiones lineales y mecanicistas que no dan cuenta de la actual complejidad del mundo. Por lo tanto, es necesario repensar cómo representamos la información que construyen nuestros modelos espacio-temporales y computan nuestros modelos de procesamiento, antes de comenzar a plantearse qué modelo computacional concreto es el más adecuado para procesar unos datos que ya han perdido la complejidad del mundo que pretenden explicar.

Modelos computacionales.

Hemos conceptualizado el habitar como un sistema complejo, al involucrar una interacción entre una variedad de variables y componentes que afectan al comportamiento del edificio en función del de las personas y viceversa. La interconexión de componentes, la emergencia de las propiedades de habitabilidad, la adaptabilidad, su dinámica a lo largo del tiempo, la interacción con las personas y con el medio, son aspectos clave.

Como se ha desarrollado, los edificios están compuestos por una amplia variedad de elementos y sistemas interconectados, como los sistemas térmicos, estructurales, funcionales, de envolvente, de agua, eléctricos, de telecomunicaciones, que interactúan en mayor o menor medida entre sí. Cualquier cambio en un sistema puede afectar a los demás. De ahí que, según la teoría de los sistemas complejos, los edificios pueden exhibir propiedades emergentes, como la eficiencia energética, su propia habitabilidad o su resistencia sísmica. Estas propiedades no pueden ser completamente explicadas por el análisis individual de cada componente/sistema, sino que surgen de la interacción entre ellos. A su vez, los edificios también pueden ser adaptativos, es decir, pueden cambiar y ajustarse para responder a diferentes condiciones. En un ejemplo sencillo, los sistemas de iluminación y climatización se pueden ajustar automáticamente según las condiciones ambientales y la ocupación. En un ejemplo (muy) complejo, los edificios son capaces de afectar a las personas en su comportamiento, generar estados de ánimo y propiciar ciertas formas de pensamiento. A la vez, estos comportamientos pueden inducir cambios en el edificio. En este sentido la interacción de las personas-edificios es desde nuestro concepto de habitar, el aspecto fundamental. Las actividades humanas dentro de los edificios tienen un impacto significativo en la forma en que funcionan, desde los flujos de personas hasta la eficiencia energética.

Por otro lado, es conocido que los edificios no son estructuras inalterables, sino que su velocidad de cambio es lenta con respecto a nuestros ritmos vitales. A lo largo del tiempo los edificios experimentan cambios en su comportamiento a lo largo del tiempo debido a factores como el envejecimiento, la degradación de materiales y las actividades humanas en su interior. Esto puede llevar a fenómenos emergentes a medida que el edificio envejece.

Otro aspecto fundamental de la comprensión de los edificios como sistemas complejos, es que esto implica establecer relación de afección con el medio en el que se sitúan. Entender las diferentes y diversas interacciones entre el entorno en el que se sitúan y cómo afectan al sistema global, puede conducir a edificios más eficientes y resistentes.

Conceptualizar el fenómeno de habitar como un sistema complejo, nos ha llevado a conceptualizar los edificios sistemas complejos. Esto implica proponer modelos (también abstracto) desde esta perspectiva. Es decir, dado que los edificios se pueden entender como sistemas complejos, el modelado y la simulación son caminos clave para comprender su comportamiento. En este sentido, los modelos computacionales pueden ayudar a predecir cómo los cambios en una parte del edificio pueden afectar el funcionamiento. Hemos explicado por qué los modelos híbridos o Hybrid Twins, son la manera más efectiva de avanzar en la digitalización: permite incorporar en los modelos el rico acervo arquitectónico que portan los edificios, las aproximaciones termodinámicas de los modelos térmicos, energéticos y estructurales, a la vez que permite incorporar nueva información de la sensorización para aumentar el conocimiento arquitectónico.

La no correlación lineal entre variables, una muestra de complejidad.

En los sistemas complejos, como los edificios, es común que las correlaciones lineales entre variables sean difíciles de encontrar debido a la naturaleza interconectada y no lineal de las relaciones entre las variables. Pequeños cambios en una variable pueden tener efectos no proporcionales y a menudo impredecibles en otras variables, lo que hace que predecir el comportamiento exacto del sistema sea muy difícil o incluso, inabarcable con el estado del conocimiento actual. Esto se alinea con los principios de la teoría de la complejidad.

Un ejemplo práctico de aplicación es la correlación entre la ocupación y el CO₂. Dado que se ha vuelto común disponer de sensores de temperatura, humedad y CO₂ en muchos espacios de los edificios, cabría esperar una correlación entre la ocupación de un cierto espacio y la concentración. Esto nos podría ayudar tanto en la gestión de la ocupación, en la operación de los sistemas de climatización, la detección de ineficiencias, problemas de mantenimiento, tanto como en la mejora de la salud y bienestar de las personas. En este sentido es conocido que un aumento en la ocupación produce un aumento en la producción de CO₂ debido a la exhalación de las personas. Sin embargo, la relación no es necesariamente lineal. Un aumento en la ocupación podría generar una demanda adicional de ventilación para diluir el CO₂ acumulado, pero también podría influir en otras variables como la temperatura y la circulación del aire, lo que a su vez afecta la concentración de CO₂. Sin embargo, es mucho más complejo, ya que la concentración de este gas puede verse influida por los siguientes factores:

- **Apertura de ventanas:** abrir una ventana puede introducir aire fresco desde el exterior, lo que puede ayudar a diluir la concentración de CO₂ en el interior del edificio. Sin embargo, la circulación del aire depende de la disposición del espacio, la dirección y velocidad del viento exterior, y otros factores. Además, en climas extremadamente fríos o calurosos, la apertura de ventanas podría afectar la eficiencia energética al aumentar la necesidad de calefacción o refrigeración.
- **Orientación del espacio:** la orientación del espacio puede afectar la cantidad de luz solar y calor que ingresa al edificio. En un espacio con buena orientación solar, la radiación solar podría calentar el aire en el interior, lo que podría influir en la circulación del aire y la mezcla de CO₂. Además, la orientación también puede influir en la dirección y velocidad del viento, lo que afecta la circulación del aire y la dispersión del CO₂.
- **Clima exterior:** el clima exterior puede tener un impacto directo en cómo el CO₂ se dispersa en el aire. En días ventosos, el viento puede ayudar a dispersar el CO₂ acumulado en el interior del edificio. En condiciones de alta humedad, la circulación del aire puede ser diferente debido a la densidad del aire y su capacidad para transportar la humedad.

Estos serían factores clave, sin embargo, hay mucho más:

- **Configuración arquitectónica del espacio y del edificio:** La disposición de los distintos espacios dentro del edificio influyen en cómo el aire y el CO₂ se distribuyen. Espacios más abiertos pueden permitir una mejor circulación del aire, mientras que áreas cerradas podrían requerir una atención adicional para garantizar una buena ventilación.

- **Tipo de actividad de los ocupantes:** las actividades realizadas en el edificio pueden generar variaciones en la producción de CO₂. Por ejemplo, actividades físicas intensas generarán más CO₂ que actividades sedentarias. Las áreas con una alta densidad de ocupantes o áreas donde las personas permanecen durante mucho tiempo pueden tener una concentración de CO₂ más alta.
- **Calidad de las ventanas y hermeticidad:** la calidad de las ventanas y su hermeticidad pueden afectar la entrada de aire fresco desde el exterior. Las ventanas mal selladas pueden permitir la infiltración de aire exterior, lo que podría afectar la circulación y la concentración de CO₂ en el interior.
- **Masa e inercia del edificio:** la masa térmica de un edificio o inercia térmica se refiere a su capacidad para almacenar calor. Esto puede influir en cómo el edificio se calienta y enfría a lo largo del día, lo que a su vez puede afectar la circulación del aire y la ventilación. La inercia térmica se relaciona con la resistencia al cambio de temperatura en un edificio. Los edificios con alta inercia térmica pueden experimentar cambios de temperatura más lentos, lo que puede influir en la circulación del aire y la distribución de CO₂ en el interior.
- **Flujo de aire natural:** la masa e inercia del edificio pueden influir en la forma en que el aire fluye a través de sus espacios. Los edificios con estructuras más pesadas pueden tener una circulación de aire natural diferente debido a la influencia de la gravedad y la distribución de la temperatura.
- **Efecto de enfriamiento nocturno:** los edificios con masa térmica pueden beneficiarse del enfriamiento nocturno, donde la estructura absorbe calor durante el día y lo libera durante la noche. Esto puede influir en la temperatura interior y la circulación del aire, lo que a su vez puede afectar la concentración de CO₂.
- **Materiales de construcción y mobiliario:** los materiales de construcción y el mobiliario también pueden influir en la calidad del aire interior y la concentración de CO₂. Algunos materiales pueden liberar compuestos orgánicos volátiles (COVs) que afectan la calidad del aire, mientras que otros pueden tener propiedades de absorción de CO₂.
- **Sistemas de filtración y purificación:** los sistemas de filtración y purificación del aire también pueden influir en la concentración de CO₂ al eliminar partículas y contaminantes del aire, lo que puede mejorar la calidad del aire interior.
- **El tiempo de retención del CO₂:** o período de tiempo durante el cual el CO₂ puede permanecer en el aire interior de un edificio antes de ser ventilado o diluido por el aire fresco. A su vez depende de muchos factores. Por ejemplo, un edificio mal ventilado o con sistemas de ventilación inadecuados puede tener un tiempo de retención más largo para el CO₂ acumulado, lo que resulta en una concentración más alta en el interior. En cambio, un sistema de ventilación eficiente puede reducir el tiempo de retención y ayudar a mantener niveles de CO₂ más bajos.

El sistema se puede complejizar aún más, si el espacio estudiado cuenta con la presencia de sistemas de climatización y ventilación, que a su vez puede presentar distintos sistemas, configuraciones, con variabilidad en la calidad y mantenimiento de sus elementos, así como distintos grados de automatización:

- **Sistemas de ventilación:** los sistemas de ventilación controlada pueden regular la entrada de aire fresco desde el exterior y la expulsión del aire viciado del interior. La

eficiencia y la configuración de estos sistemas afectarán cómo se diluye el CO₂ y cómo se circula el aire en el edificio.

- **Sistemas de climatización:** los sistemas de climatización, como la calefacción y el aire acondicionado, pueden influir en la temperatura y la humedad del aire en el interior. Estos factores, a su vez, pueden afectar la densidad y la circulación del aire, lo que influye en la dispersión del CO₂.
- **Recirculación de aire:** algunos sistemas de climatización pueden recircular el aire en el edificio para mejorar la eficiencia energética. Sin embargo, esto también puede llevar a una acumulación de CO₂ si no se gestionan adecuadamente.
- **Calidad del sistema:** la calidad y el mantenimiento del sistema de ventilación y climatización son cruciales. Un sistema mal mantenido podría no funcionar de manera óptima y afectar negativamente la calidad del aire interior.
- **Filtros y purificación del aire:** algunos sistemas de climatización también pueden incluir filtros y sistemas de purificación del aire que eliminan partículas y contaminantes, incluido el CO₂, para mejorar la calidad del aire interior.
- **Control automatizado:** La mayoría de los sistemas actuales de ventilación y climatización pueden ser controlados automáticamente en función de la ocupación, las condiciones climáticas y otros factores. Estos controles automatizados pueden influir en la concentración de CO₂ al ajustar la cantidad de aire fresco y la circulación.

Para un solo problema aparentemente sencillo se han identificado 22 factores¹⁵¹. Muchos de ellos, son disciplinas en sí mismas (la configuración espacial o la ingeniería de climatización). Identificar todos estos factores (de manera intuitiva) nos ilustran cómo las interacciones entre la presencia de personas, la ventilación, la apertura de ventanas, la orientación del espacio y el clima exterior son altamente interdependientes y pueden generar resultados emergentes no lineales en términos de la concentración de CO₂ en el interior de un edificio. Cada uno de estos factores contribuye a la complejidad del sistema y cómo interactúan entre sí para afectar la calidad del aire interior y el bienestar de los ocupantes. Este enfoque integral y detallado es esencial para comprender la dinámica del edificio y tomar decisiones informadas para optimizar su funcionamiento.

La teoría de la complejidad propone considerar estos factores en su conjunto y cómo interactúan para obtener una comprensión más completa y realista del comportamiento de los sistemas y no desde su análisis reduccionista. Es decir, la naturaleza interconectada y altamente interdependiente de todos estos factores refuerza la idea de que los edificios son sistemas complejos. Enfoques reduccionistas que analizan cada factor de manera aislada pueden proporcionar una comprensión limitada y parcial del comportamiento del edificio en su conjunto. Insistimos, para obtener una comprensión más completa y precisa,

¹⁵¹ Ocupación/Ventilación/Diseño y distribución del espacio/Actividades y uso del espacio/Sistemas de climatización/hermeticidad del edificio/Comportamiento de los ocupantes/Ubicación geográfica/Tiempo de retención del CO₂/Configuración arquitectónica del espacio y del edificio/Tipo de actividad de los ocupantes/Calidad de las ventanas y aperturas/Materiales de construcción y mobiliario/Sistemas de filtración y purificación del aire/Sistemas de ventilación controlada/Recirculación de aire en sistemas de climatización/Control automatizado de sistemas de ventilación y climatización/Calidad y mantenimiento de sistemas de ventilación y climatización/clima exterior/Masa e inercia del edificio/Flujo natural/Enfriamiento nocturno.

es necesario considerar la totalidad del sistema y cómo todas estas variables interactúan entre sí. Recordemos que, en los sistemas complejos, los efectos en cascada, las retroalimentaciones y las interacciones no lineales pueden generar resultados emergentes que no pueden ser simplemente deducidos a partir de la suma de las partes individuales. Esta es una característica fundamental de la teoría de la complejidad. En lugar de buscar correlaciones lineales, **es más útil considerar patrones y tendencias generales en las interacciones entre las variables y cómo estas pueden influir en los resultados a medida que cambian las condiciones.**

La teoría de la complejidad nos enseña que los sistemas como los edificios son inherentemente complicados y que las interacciones entre los componentes son cruciales para comprender cómo se comportan. Abordarlos de manera integral, utilizando enfoques sistémicos, la sensorización, el análisis de datos y la modelización, nos permite obtener una comprensión más completa y efectiva de cómo gestionar y optimizar estos sistemas en beneficio de la eficiencia, el bienestar y la sostenibilidad. Para el análisis del problema planteado, desde la perspectiva del control, la complejidad de los edificios también implica que los enfoques simples y lineales pueden no ser suficientes para gestionar eficazmente la calidad del aire interior, la eficiencia energética y la comodidad de los ocupantes. Los sistemas de control automatizado deben considerar la interacción y las retroalimentaciones entre múltiples variables para tomar decisiones informadas.

La modelación y simulación computacional a menudo metodologías útiles para abordar la complejidad en los edificios, ya que permiten examinar cómo las variables interactúan y cómo pueden cambiar las condiciones en función de diferentes factores. En resumen, la teoría de la complejidad enfatiza la comprensión de las relaciones no lineales y las interacciones entre las variables en sistemas complejos como los edificios.

Primeros resultados: CO₂, correlaciones no lineales y patrones.

A partir de los datos recopilados mediante la sensorización desplegada hasta la fecha, se ha constatado que la velocidad de decrecimiento del CO₂ no puede ser explicada mediante una simple correlación lineal con un solo factor, sino que es el resultado de una función compleja y multifacética. Entre los factores que influyen en esta dinámica se encuentran la ubicación del espacio sensorizado, sus aperturas, el estado y tipo de instalación de climatización, de los sistemas pasivos (como lamas y aleros), de la ocupación y el clima exterior. La ausencia de una correlación lineal no debe interpretarse como azar, sino más bien como una manifestación del comportamiento de un sistema complejo. En estos sistemas, las relaciones entre las variables no siguen correlaciones lineales predecibles, pero sí patrones y tendencias. Es decir, para ciertas condiciones similares, el espacio se comportará y evolucionará hacia cierto estado característico.

Los datos muestran que el comportamiento de un espacio específico dentro de un edificio depende de una combinación no determinista de múltiples factores. Estos factores, a su vez, contribuyen a valores del crecimiento del CO₂ variables, que pueden ser utilizados para identificar patrones y caracterizar tanto el comportamiento del edificio como el de sus ocupantes. Este hallazgo resalta la riqueza y la complejidad de las interacciones en el entorno construido y subraya la necesidad de adoptar enfoques integrados y holísticos para su comprensión y optimización.

A su vez, a partir de la recopilación de datos mediante la sensorización desplegada, hemos observado que las velocidades de decrecimiento del CO₂ varían significativamente según el tipo de espacios, la orientación y el clima exterior. Cada configuración de variables en un espacio y momento determinado es única. Sin embargo, en medio de esta singularidad, se manifiestan aspectos comunes y patrones identificables que permiten comprender y regular el comportamiento del sistema en su conjunto.

Los resultados muestran que estas configuraciones no obedecen a meras casualidades o al azar. En lugar de eso, están guiadas por una combinación compleja y no determinista de factores interrelacionados. La presencia de patrones emergentes subraya que, aunque la configuración exacta de variables puede ser única, existen elementos constantes y regularidades que influyen en el comportamiento del CO₂ (y de muchos otros valores). Es a través de la identificación de estos patrones y regularidades que se revela la naturaleza no lineal y compleja del comportamiento de los edificios. Cada conjunto único de condiciones interactúa con aspectos compartidos y factores reguladores, lo que permite su caracterización y comprensión más allá del azar y hacia los fundamentos subyacentes que rigen el sistema.

Podemos estudiar estos patrones detenidamente para aprender qué condiciones son óptimas para cada combinación de variables específica. Estos patrones nos permiten detectar desviaciones significativas del comportamiento esperado, lo que a su vez nos ofrece una valiosa oportunidad para comprender mejor cómo cada factor influye en el sistema en su conjunto. A medida que desentrañamos los patrones emergentes, podemos discernir cómo se comportarán ciertas partes del edificio en función de condiciones específicas.

Este análisis nos brinda una perspectiva única para anticipar y prever cómo ciertos espacios reaccionarán ante diversas condiciones. Al conocer la influencia de cada factor y cómo se entrelazan, podemos tomar decisiones informadas para optimizar la calidad del aire interior, la eficiencia energética y la experiencia de los ocupantes. Además, esta comprensión nos permite asignar de manera más estratégica ciertas actividades en espacios particulares en función de las condiciones imperantes en un momento determinado.

En resumen, estos patrones identificables nos proporcionan una hoja de ruta para navegar la complejidad del comportamiento de los edificios. A través de este enfoque construimos un universo de interacciones y relaciones no lineales que subyacen a cada configuración de variables. En lugar de ser un proceso azaroso, se convierte en un conjunto de pautas y regularidades que nos permiten abordar la gestión y la optimización de los edificios de manera más eficiente y efectiva.

Qué medir para construir y profundizar en estos patrones

De ahí, que, para completar cualquier estudio, necesitamos cruzar el máximo número de variables. En principio, de forma relativamente sencilla (tanto desde el punto de vista técnico, económico, de instalación y de mantenimiento), sensores que proporcionan datos de temperaturas exteriores, de la irradiancia sobre el edificio o la dirección e intensidad del viento en cada una de sus orientaciones. Esos datos los tenemos para 2022 de forma genérica.

A su vez, para operar sobre los sistemas que consumen energía (economía) necesitamos para optimizar, la curva de operación del HVAC de los edificios. La respuesta de la aproximación propuesta es doble;

- Encendido de la climatización inteligente: horario de encendido y apagado óptimo en función del sistema complejo.
 - o Después: añadir factores de modulación de los sistemas HVAC además de la temperatura de retorno. Apagados tácticos en función de la evolución del día y de la ocupación.
- Construcción de horarios y asignación de horarios y aulas en función de patrones anuales. Grupos asignados, además de factores espaciales y docentes, por factores térmicos.
 - o Después: ajustes en los horarios de comienzo y finalización de clases. Simular una tarde sin docencia.
- **Apertura inteligente de ventilación en verano.** Cuándo debo abrir y cuándo no, cuándo activar la ventilación mecánica en aquellos edificios de los que se disponga.

Creo que más o menos tenemos todo para hacerlo en el Ada Byron. Podemos estimar ocupaciones, entendido como presencias, densidades, no como números finitos de personas. Sabemos si hizo viento, si fue el día soleado, la temperatura, la operación de su bomba de calor, sus horarios, su calendario...

Necesitamos un recurso: una analista de sistemas. ¿Hasta dónde podemos llegar? ¿Nos lo dirán Raquel y Sergio? Pruebo.

Cruzar todos estos datos, nos dará una idea global del comportamiento del edificio.

Para ciertas combinaciones de factores, veremos que el edificio se comporta mejor si hacemos X. Ese X, **esa combinación de factores puede ser el óptimo** (recordad que podemos variar la operación HVAC, pero no el clima exterior y muy poco la ocupación). **La función que minimizar es el consumo de energía, pero, cuidado, maximizando la ocupación** (algo que no se hace en el cálculo térmico).

Los edificios son enormemente inerciales, pero también su comportamiento. ¿Por qué no lo vemos? Porque nos focalizamos enormemente en día a día nuestra vida, es decir en reconocer patrones a corto plazo, pero no somos igual de eficientes para reconocer patrones cíclicos y reiterativos (pero nunca un martes de feb será exactamente igual al martes del año anterior o de dentro de 5). La confusión entre “tiempo” y “clima” está muy extendida.

BLOQUE 05. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Sensorizar, una plataforma inteligente para los edificios de la EINA

Internet de las cosas aplicada a los edificios.

Sensorizar, una plataforma inteligente para los edificios

Los edificios consumen alrededor del 40% de la energía total transformada en Europa (Tribunal de Cuentas Europeo, 2020, 2022). Y dado su potencial de optimización, su papel es decisivo para la aplicación por la Unión Europea de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con el compromiso de reducir más del 20% del consumo de energía a partir de 2020 y el 32,5% antes de 2030 (European Commission, 2020a, 2020b, 2021, 2017; European Commission, 2020).

Reducir el consumo energético de ellos entornos construidos supone una prioridad para las políticas industriales de la UE, así como para lo cumplir con los objetivos de reducción de las emisiones de carbono de la ONU. Reducir su consumo energético-económico, supone proyectar edificios que utilice de forma óptima la energía para su funcionamiento. Así como también es fundamental implementar políticas y estrategias de renovación en los edificios existentes. Para reducir de forma significativa el consumo de energía de los edificios se debe mejorar el desempeño de las envolventes del edificio, utilizar equipos de producción térmicos eficientes y sin emisiones contaminantes, utilizar energías renovables, controlar la ventilación, obtener energías limpias in situ. Todas estas estrategias son conocidas y se están implementado para descarbonización los edificios para el 2050.

Otra de las estrategias básicas para alcanzar los objetivos señalados, es digitalizar los edificios (Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings, 2021; European Commission, 2021). La digitalización de los edificios se refiere a la aplicación de tecnologías digitales y la integración de soluciones tecnológicas avanzadas en el diseño, construcción, operación y gestión de edificios con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de carbono. La UE ha establecido ambiciosos objetivos para la reducción de emisiones de carbono y la mejora de la eficiencia energética en los que otorga a la digitalización de los edificios un papel clave en la consecución de estos objetivos. De forma resumida, los objetivos fundamentales de la digitalización de los edificios en este contexto son:

- **Eficiencia Energética:** La digitalización permite el monitoreo y control en tiempo real de los sistemas de energía, calefacción, refrigeración, iluminación y otros equipos. Esto facilita la identificación de ineficiencias y oportunidades de ahorro de energía, lo que conduce a la reducción de consumos energéticos y, por lo tanto, a una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Gestión Inteligente:** Mediante sensores, sistemas de automatización y análisis de datos, se puede lograr una gestión más inteligente de los edificios. Esto incluye la adaptación automática de sistemas según las condiciones en tiempo real y la optimización de operaciones para un rendimiento máximo con el menor consumo posible.
- **Monitorización:** La digitalización permite un seguimiento detallado del rendimiento de un edificio. Se pueden rastrear consumos energéticos, emisiones, calidad del aire interior y otros parámetros clave para tomar decisiones informadas sobre mejoras y optimizaciones.
- **Predicción y Mantenimiento:** Los datos recopilados pueden utilizarse para predecir fallos y problemas potenciales en sistemas, lo que permite una planificación proactiva de mantenimiento y evita costosas interrupciones.

- **Participación Activa de los Usuarios:** Los sistemas de retroalimentación y control pueden permitir que los usuarios participen activamente en la gestión del consumo de energía y otros aspectos, lo que aumenta la conciencia y la responsabilidad en la reducción de la huella de carbono.
- **Estándares y Normativas:** La digitalización de los edificios también implica el desarrollo de estándares y normativas que guíen la implementación de soluciones tecnológicas, asegurando la interoperabilidad y la calidad de los sistemas.

La digitalización de los edificios se inscribe en una estrategia de carácter general que incluye tanto el sistema energético global como las competencias digitales de los ciudadanos. Se destacan cuatro vectores fundamentales: la capacitación de los ciudadanos en habilidades digitales, la creación de infraestructuras digitales sostenibles para asegurar la conectividad, el fomento de la gestión e innovación en las empresas y la implementación de servicios públicos digitalizados en áreas como la salud y la identidad digital.

En términos de infraestructura, Europa se encuentra en la necesidad de crear un sistema energético de mayor inteligencia que el actual. Esta inteligencia se define como la capacidad de interacción de sistemas, lo que implica, según la Unión Europea, una mejora en la eficiencia energética y en el uso de recursos, junto con la promoción de la descarbonización, la digitalización y la electrificación. Para lograrlo, se requiere la integración de diferentes sectores y una descentralización del sistema energético, lo que subraya la necesidad de un enfoque amplio de digitalización. En este contexto, ejemplos concretos de cómo esta estrategia puede mejorar la eficiencia incluyen:

- Monitorizar el consumo de energía en tiempo real.
- Recibir asesoramiento personalizado y especializado sobre cómo reducir dicho consumo.
- Regular la temperatura de un espacio en función de la demanda real.
- Implementar una carga inteligente para vehículos eléctricos.
- Ajustar el consumo de electrodomésticos de acuerdo con los precios energéticos, manteniendo un ambiente interior confortable y saludable.
- Facilitar a las autoridades la supervisión y análisis de la pobreza energética, mientras que al sector energético le permite optimizar sus operaciones y priorizar las fuentes de energía renovable.

Para materializar estos avances, es imperativo impulsar proyectos de digitalización y automatización que empoderen a los usuarios y administradores de edificios para tomar decisiones informadas y planificadas en relación con su uso de energía. Esto resultará en un mayor conocimiento del consumo energético, tomas de decisiones más estratégicas, ahorros económicos significativos y una optimización más precisa y controlada de la energía utilizada en los edificios.

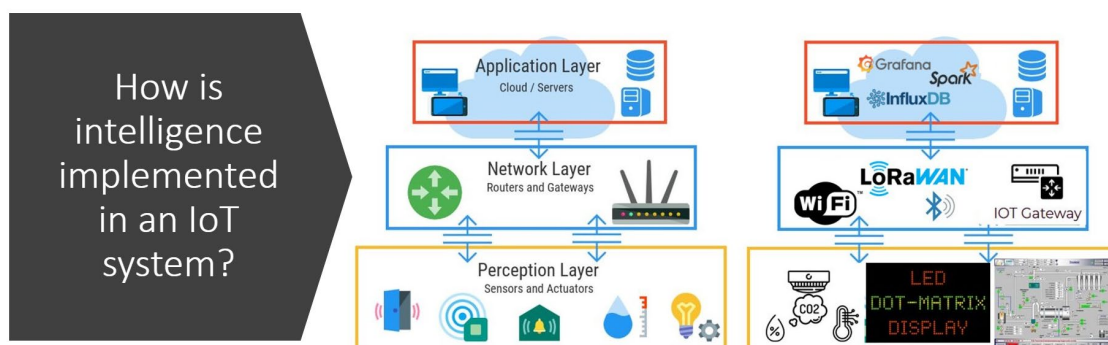
Por tanto, si el objetivo es reducir las emisiones y el consumo de los edificios, las políticas de optimización energética y descarbonización deben centrarse tanto en el diseño de nuevos edificios como en la renovación del parque edilicio existente, que posee un significativo potencial de mejora. En síntesis, para lograr estos objetivos, la digitalización es esencial para la integración de soluciones que abarquen desde la implementación de fuentes de energía renovable hasta la mejora de la envolvente y las instalaciones del edificio. Cuando estas soluciones trabajan en conjunto, pueden lograr una mayor

eficiencia en la reducción de los costos de operación y mantenimiento, al mismo tiempo que elevan el confort y la salud de sus ocupantes, reduciendo la emisión de contaminantes y la producción de CO₂.

Para comprender cómo se integran los diversos y a menudo dispares sistemas que interactúan dentro de una construcción, es esencial examinar de manera profunda las interrelaciones complejas que surgen entre sus sistemas activos y pasivos, las fuentes de energía, el uso del edificio y su entorno, entre otras interconexiones. La teoría de sistemas complejos propone una perspectiva que concibe el mundo como intrínsecamente interconectado, donde surgen patrones y formas recurrentes generados por la dinámica de un contexto particular.

Según esta teoría es en la interacción constante entre patrones duraderos y eventos específicos los que dan forma a lo que consideramos como la realidad (Boulton et al., 2015b). Además, sugiere que ciertas inestabilidades estructurales pueden inducir cambios en el sistema, impulsando su evolución. Subraya que en este proceso siempre existe la posibilidad de puntos de inflexión significativos. Este potencial para la manifestación de lo inesperado, lo que llamamos "emergencia", fomenta una actitud de exploración constante en el ámbito de los edificios.

Esta perspectiva también implica un cambio fundamental en la forma en que la ingeniería y la arquitectura han abordado la intervención en los edificios, centrándose en los puntos de conexión en lugar de las diferencias y perspectivas aisladas. En lugar de tratar los sistemas por separado, se propone comprenderlos como partes interdependientes de un conjunto más grande. Esta visión holística no solo amplía nuestra comprensión de los edificios, sino que también promueve enfoques más flexibles y adaptativos en su diseño y funcionamiento. Es decir, desde nuestra perspectiva, la teoría de sistemas complejos incide sobre la intrincada red de interacciones dentro de los edificios y nos desafía a considerarlos no como entidades aisladas, sino como componentes entrelazados en el tejido más amplio de su entorno y contexto (Beauchamp-Akatova, 2007).



Desplegar una plataforma IoT, clave en la digitalización de la arquitectura

La digitalización de la arquitectura no es una operación ni neutra ni simple.

Para analizar las interconexiones que tienen lugar en un edificio, desde la perspectiva de los sistemas complejos, es esencial contar con datos suficientes para caracterizar estas interdependencias en situaciones reales de funcionamiento. Esto implica dos enfoques

estratégicos fundamentales, el conocimiento previo sobre los edificios y la obtención de mediciones reales. Es decir, se necesita tanto una comprensión profunda de los diversos sistemas involucrados en el funcionamiento del edificio, así como de los principios arquitectónicos que influyen en sus procesos, como obtener datos directamente de la operación del edificio.

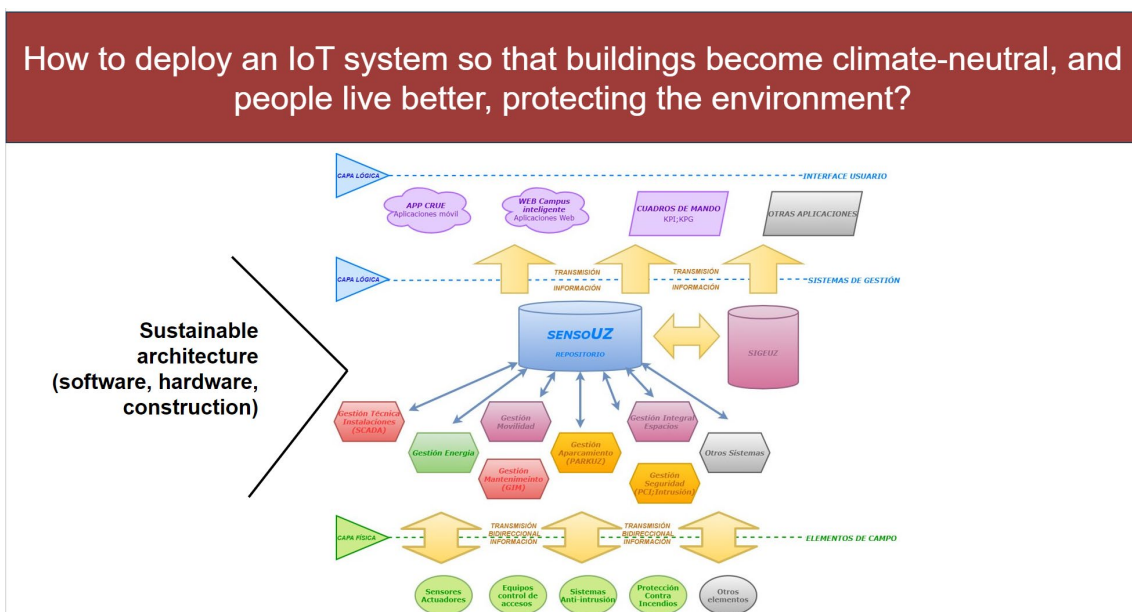
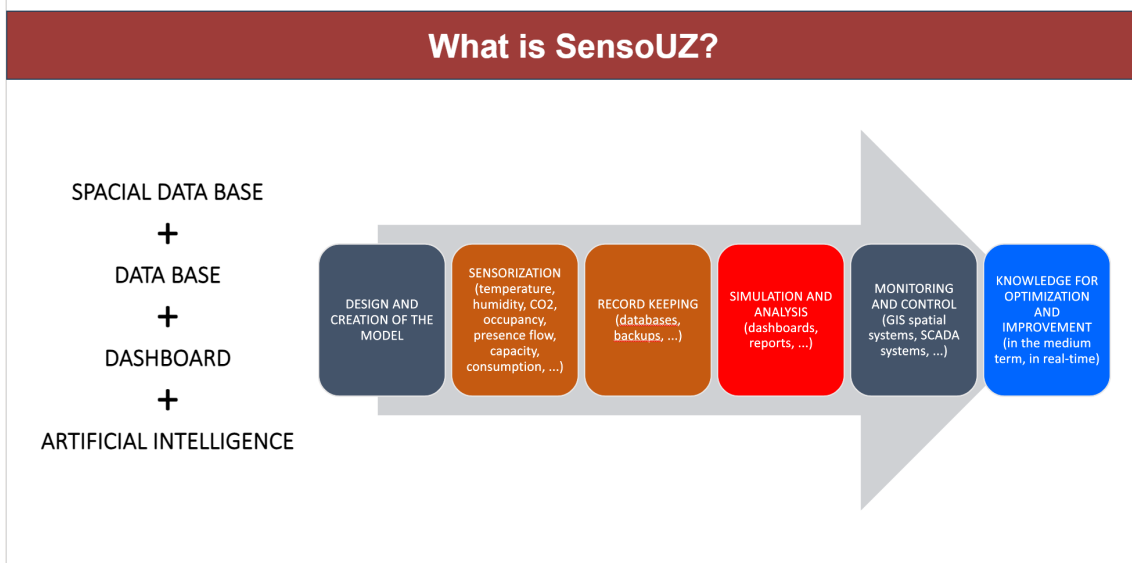
En el primer caso, es esencial examinar la literatura y la historia del comportamiento de ciertas soluciones arquitectónicas en condiciones específicas, así como las características de diversos sistemas activos y pasivos que se pueden instalar para optimizar el funcionamiento del edificio. En el segundo caso, se requiere implementar un sistema de recolección de datos capaz de sensorizar y monitorear ciertos parámetros del edificio.

Esta obtención de datos, para medir ciertos parámetros, se denomina sensorización. La sensorización es parte consustancial de la digitalización de la arquitectura. Requiere de una red de comunicaciones capaz de conectar y transmitir esas señales por medio de una red, denominada IoT. (Internet of Things). Sensorizar implica la elección de qué parámetros se requieren monitorizar, aquellos que pueden revelar aspectos cruciales de la operación del edificio. Además, hay que considerar que la elección también depende de las tecnologías disponibles, es decir, de su alcance, costo, mantenimiento y nivel de dificultad técnica. Por lo que se deben de proponer criterios para la selección de sensores entre varias opciones disponibles. A su vez, esta elección está determinada por las particularidades de las redes IoT necesarias para la implementación y recopilación de datos.

Por todo ello Identificar a priori qué parámetros deben ser medidos en el edificio es un desafío sustancial que abarca varias disciplinas. Debe considerar tanto los principios del IoT como la configuración arquitectónica, el uso, la ubicación y las instalaciones del edificio que se entrelazan para crear ciertas condiciones interiores. Además, incorporar la influencia de los edificios en el entorno directo contribuye a un enfoque más integral y complejo.

En consecuencia, el proceso inicial de implementar un sistema de IoT en un edificio no puede ser considerado simple ni independiente de factores como el clima, la forma y la intensidad del uso del edificio, su diseño arquitectónico, los materiales utilizados, la distribución espacial y su contexto ambiental y social.

Es decir, el proceso de medir el funcionamiento de un edificio para comprender las complejas interacciones en un edificio requiere un enfoque holístico que abarque tanto el conocimiento profundo de sus sistemas como la implementación cuidadosa de sistemas de captación de datos. Esta integración no solo exige una consideración meticulosa de las características físicas del edificio y de los sistemas IoT, sino también una conciencia completa de su impacto en su entorno y la sociedad en general. Dicho de otro modo, la elección de los parámetros a medir y los sensores, tanto en su rango, disposición, características o ubicación, determinará en gran medida los resultados obtenidos.



Plataformas IoT y arquitectura.

Para hacer operativa la sensorización de un edificio es fundamental disponer de una plataforma IoT. Es decir, del conjunto integrado de sistemas que permiten la conectividad, interacción y gestión de dispositivos y objetos a través de una red. La clave es la conectividad, que dota a ciertos sensores y autómatas, comunicarse, compartir datos y actuar en tiempo real. De forma general, una plataforma IoT generalmente de ser capaz de proporcionar cierta conectividad a través de redes (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRa, etc), gestionar dispositivos heterogéneos, recopilar datos de sensores y otros dispositivos, para su procesamiento y almacenamiento. Además, debe permitir la automatización de acciones en base a los datos monitorizados, para adaptar el sistema a condiciones cambiantes. Debe hacerlo de forma segura, de forma que no se ponga en riesgo el sistema. Por último, debe poder integrarse con otros sistemas y aplicaciones existentes, como sistemas de gestión de edificios, aplicaciones móviles y sistemas empresariales.

En el contexto, una plataforma IoT sería la base tecnológica para capturar, transmitir y analizar datos en tiempo real desde los sensores y dispositivos en un edificio. Esta plataforma facilitaría la monitorización y el control eficaz de diversos parámetros del edificio, lo que es esencial para comprender sus interconexiones y optimizar su rendimiento en función de los objetivos establecidos.

Además, y de manera particular en nuestro enfoque, se requiere comprender y definir claramente los objetivos de todo este proceso. En otras palabras, se trata de establecer si el análisis de las distintas soluciones arquitectónicas e ingenieriles persigue un concepto específico de eficiencia económico-energética, busca potenciar la salud y el confort térmico de sus habitantes, o si los objetivos parten de nuevas perspectivas sobre cómo habitar, en el contexto actual.

Estos objetivos pueden variar significativamente y pueden llevar a decisiones de diseño completamente diferentes. Por ejemplo, si el enfoque es la eficiencia económica y energética, se podrían priorizar soluciones que reduzcan el consumo de energía y los costos operativos del edificio. Por otro lado, si el objetivo principal es mejorar la salud y el bienestar de los ocupantes, las elecciones de diseño podrían enfocarse en la calidad del aire interior, la iluminación natural y la comodidad térmica. Alternativamente, si los objetivos se centran en abordar nuevas formas de habitar, podrían surgir soluciones “emergentes”, que redefinan y potencien la relación entre los espacios interiores y exteriores, fomentando una mayor interacción con el entorno y promoviendo una experiencia habitacional más enriquecedora. Es decir, no solo es crucial entender las complejidades técnicas y las interdependencias de los sistemas en un edificio, sino que también es clave establecer con claridad los objetivos del proceso de diseño y operación. Estos objetivos no solo guiarán las decisiones a lo largo del proceso, sino que también determinarán enfoque general del proyecto y su impacto en los ocupantes y en el entorno circundante.

En resumen, para lograr un despliegue efectivo de una plataforma IoT en un edificio, con el propósito de enriquecer el conocimiento arquitectónico, previamente se considera necesario:

- Comprender el conocimiento arquitectónico incorporado en el diseño y configuración del edificio.
- Comprender los procesos involucrados en la transformación energética del edificio, desde la captación hasta el intercambio de energía.
- Familiarizarse con las diversas fuentes y categorías de energía, en particular las energías renovables.
- Interpretar cómo funcionan los mercados energéticos y las emisiones asociadas a cada fuente energética que podría utilizar el edificio.
- Identificar el uso principal del edificio y sus implicaciones en términos energéticos.
- Considerar tanto el clima global como las condiciones del entorno inmediato.
- Evaluar las opciones de sistemas de IoT disponibles, abarcando desde la red de sensores hasta los sistemas de comunicación, transmisión, almacenamiento y procesamiento de datos, así como las herramientas de visualización y análisis.
- Profundizar en los diversos modelos computacionales que permiten simular y estudiar el comportamiento de los edificios.
- Definir con precisión los objetivos del análisis propuesto.

En vista de la complejidad de los sistemas y conocimientos involucrados, la implementación de una plataforma IoT en un edificio requiere un enfoque transdisciplinario y elaborado. Este enfoque converge diversas disciplinas y perspectivas, ya que solo mediante esta colaboración integral se puede capturar la amplitud de aspectos que influyen en la operación y el rendimiento del edificio.

Smart Buildings Strategies:

PASSIV- HAUS *ACTIVE – HAUS* *EXCHANGE – HAUS*

Yes, perfect... but where are we, where are our buildings, our cities?

Analizar, Medir, Modelizar, Decidir y Actuar.

Digitalizar la arquitectura, permite **medir** los procesos que tienen lugar en el un edificio, generar nuevo conocimiento arquitectónico. Este conocimiento puede ser utilizado en entornos construidos para mejorar el desempeño de un edificio en respuesta a sus condiciones actuales, prever como afectarán ciertas medidas a su comportamiento, o bien, implementar todo el conocimiento adquirido para nuevas situaciones y proyectos. Para sensorizar, hay que desplegar una plataforma IoT que determine qué medir, dónde, cuánto y para qué. **Analizar** la información sobre el edificio y su comportamiento previa, es determinante para estos objetivos.

En los nuevos edificios, se debe incorporar desde el principio la sensorización, ya que nos permiten que el edificio se adapte de forma automatizada a los cambios climáticos y/o las preferencias de los usuarios. Tanto el gestor del edificio como el usuario pueden conocer en tiempo real cómo se está comportando —energética y económicamente— su edificio y tomar decisiones, bien automatizadas, bien con cambios organizaciones o arquitectónicos cuando se considere necesario.

Para transformar los datos medidos por la sensorización y monitorización, en información, es necesario **modelizar**, es decir, disponer de modelos físicos y computacionales. Los modelos basados en Inteligencia Artificial nos permiten procesar e integrar la información de los sistemas y subsistemas de un edificio para conectarlos, de modo que se puede optimizar las respuestas antes diferentes solicitudes, configuración, usos, etc.

Medir y analizar, nos permite **actuar** con acciones basadas en datos. Se puede actuar sobre los sistemas automáticos de los edificios, como los que regulan y controlan el agua, la climatización, la ventilación o la iluminación. A su vez, nos permite actuar sobre la configuración del edificio, con aperturas y cierres de huecos, redistribución de espacios o cambios en los sistemas pasivos de la envolvente. También se puede actuar sobre sistemas de captación de energía in situ del edificio, los sistemas eléctricos o los domotizados.

El proceso para implementar estrategias de digitalización en un edificio sería:

Analizar toda la información disponible y relativa al edificio, su uso y su entorno.

Acciones: Estudio de los sistemas eléctricos, térmicos, estructurales, de envolvente proyectados o existentes, para estudiar cómo están integrados con el uso y comportamiento del edificio. Obtenemos los datos de sistemas del edificio (control de clima, centrales de alarmas, eléctricos, presencia, contadores energéticos, etc.), generando la posibilidad de inter-operar con sistemas externos (en cada caso extraer datos e inyectar consignas) y diseñar la estrategia/arquitectura de sensorización integración de datos. Elección de los parámetros a sensorizar en base a un análisis previo de su arquitectura, sus sistemas activos y pasivos, de energía, del entorno y de su uso.

Sensorizar el edificio para conocer realmente cómo se comporta en el caso de estar construido, sin necesidad de simularlo y qué para qué sensorizar, en el caso de estar en fase de proyecto. Conectar estos sensores en una plataforma única interoperable todas las fuentes de datos existentes.

Acciones: Despliegue de sensores, infraestructura de comunicaciones y plataforma de integración/visualización de datos de sensores. Programación de la plataforma de integración/visualización de datos con sensores y subsistemas existentes.

Modelizar, mediante un gemelo o híbrido digital con el que Conocer el consumo instantáneo real del edificio, cuándo y cómo lo hace; visualizar estos consumos para una toma de decisiones informada basada en datos. Los modelos deben ser capaces de predecir cómo va a actuar el edificio y optimizar su respuesta en función los siguientes parámetros fundamentales:

1. El clima exterior y su predicción.
2. **El comportamiento de los usuarios:** cómo usan el edificio y las preferencias de los usuarios.
3. **El comportamiento físico del edificio:** sus temperaturas, la velocidad de concentración del CO₂, la presencia de COV's, la inercia térmica, la ganancia solar, los niveles de iluminación, de humedad, etc.
4. Los sistemas de producción de energía y transformación de energía.
5. Los sistemas de climatización y distribución.
6. El precio de la energía primaria consumida.
7. El entorno biológico del edificio.

modelos de visualización, optimización y predicción



clima exterior



uso del edificio y preferencias de usuarios



comportamiento físico



producción de energía



sistemas de climatización



precio de la energía



entorno biológico

El modelo computacional se puede ir complejizando para analizar cómo estos siete factores principales interactúan entre sí. El estudio de los resultados puede dar como resultado **decisiones** sobre la operación del edificio, gestión y mantenimiento, pero también sobre la configuración del edificio, la envolvente o sobre los sistemas de producción de energía o de climatización. Nos permite tanto escalar el grado de intervención sobre el edificio, como dimensionar los cambios propuestos, lo que supone cuantificar tanto la intervención como los ahorros esperados de cada medida. Es decir, disponer de modelos con los que simular diferentes escenarios, establecer correlaciones no triviales, cuantificar ahorros energéticos, nos permite **decidir** en base a datos, qué medidas arquitectónicas e ingenieriles son más efectivas para alcanzar ciertos objetivos. Estas decisiones pueden afectar a la operación del edificio en varias escalas temporales:

- **En tiempo real**, es decir, los modelos digitales son capaces de comandar decisiones sobre los sistemas automáticos disponibles en el edificio, como podrían ser los sistemas de climatización, ventilación, iluminación, emergencias, gestión del agua o eléctricos.
- **A corto plazo**, como decisiones sobre operaciones de mantenimiento (cambios de filtros, conexión o desconexión de ciertas zonas, compuertas de sectorización, programas de riego, etc.), cambios simples en la organización, aperturas de huecos puntuales, recomendaciones sobre uso de los espacios, reorganización de espacios, pequeñas modificaciones en la distribución,
- **A medio plazo**, decisiones sobre ciertas envolventes (con sistemas pasivos y activos), intervenciones parciales en los sistemas de producción de energía, implantación de energías renovables (fotovoltaica, geotérmica, etc.), apertura de huecos, redistribución y regeneración de espacios interiores y exteriores, plantación de vegetación, cambios globales de horarios, etc.
- **A largo plazo**, decisiones sobre reformas integrales del edificio (envolvente, eléctricas, de climatización, redistribución), con su entorno, como reurbanización y revegetalización de las zonas exteriores, redistribución y regeneración de

espacios singulares, demolición o nueva construcción, reestructuración organizativa global, etc.

Una vez implementadas en el contexto concreto estas medidas, la realimentación que proporciona el sistema, permite disponer de información real del impacto de estas decisiones, tanto sobre lo previsto por el modelo, como lo no previsible (comportamiento emergente). Lo fundamental desde el enfoque previsto, es que los errores en la simulación pueden ser entendidos como errores del modelo, que necesita reajustarse, pero también, y he aquí lo interesante, como que cambios significativos o puntuales en los factores seleccionados, pueden provocar grandes cambios en el comportamiento del sistema. Así, por ejemplo, la crisis energética del 2022 con un aumento significativo del precio de la energía supuso cambios en la organización de los edificios que impactaron notablemente, tanto en el comportamiento de las personas, como en los consumos energéticos. A su vez, cambios climáticos globales, provocan aumentos estivales de las temperaturas, lo que introducen cambios en los edificios relacionados con la instalación de bombas de calor, placas fotovoltaicas y en los hábitos de uso de los edificios. Sin embargo, estos modelos si que nos ofrecen valiosas lecciones desde hacia dónde evolucionará previsiblemente el sistema para ciertas decisiones. A su vez, una vez identificado un comportamiento emergente, nos permite detectar qué variables han interactuado y qué medida para provocarlo. Todo ello, nos da valiosas lecciones para implementar en nuevos diseños arquitectónicos e ingenieriles.

Actuar, para integrar el gemelo digital en el control del edificio. En la medida de lo posible (según la posibilidad de interoperar de los sistemas existentes) las salidas del modelo digital podrían bien comandar a los sistemas automáticamente, bien proponer actuaciones horarias/diarias al personal que gestiona las instalaciones. También para simular decisiones sobre la configuración del edificio, su envolvente o energía renovables.

Acción: plataforma de integración/visualización de datos con modelo digital enviando consignas a los sistemas de control y simulable en programas de eficiencia energética, control de la iluminación, gestión de energía o producción fotovoltaica.

Tres sistemas, dos espacios

El modelo estaría basado en tres capas o espacios, que permite modelizar o combinación e interconexión de tres sistemas:

- **Sistema Arquitectura**, como infraestructura estática subsistemas de distribución, circulación, estructural y de envolvente, con la inclusión de elementos pasivos, materiales.
- **Sistema Energético**, como infraestructura dinámica: climatización eficientes y neutros climáticamente (bombas de calor) y producción de energía renovable (fotovoltaica, híbridos FV+ térmica, geotermia, eólica, etc.)
- **Sistema Digitalización**, como infraestructura informacional: sensorización, automatización y control, incluido la experiencia-usuario (user experience design) y la visualización y gestión de datos.

Los edificios están formados por distintos sistemas (arquitectónicos, térmicos, eléctricos, de seguridad, etc.). Algunos de estos sistemas llevan incorporados sensores (como los sistemas de presencia, HVAC, etc.) y otros no (como el edificio, su envolvente o su inercia térmica). Estos sensores están diseñados para que el sistema responda a ciertos cambios, entre los que son habituales la ocupación, los horarios, el nivel de confort y el clima exterior.

Analizamos específicamente estas interconexiones para generar un modelo predictivo que es capaz de recolectar e integrar distintas fuentes de datos, desplegar mediante sensores aquellos necesarios para cada problema y de los que no disponemos, y dar respuesta sobre los sistemas activos existentes o planificar los necesarios.

Una plataforma operativa IoT, para que sea factible debe planificarse desde soluciones ya disponibles en la industria, que se deben integrar en un sistema IoT., para:

- Agregar todas las fuentes de datos tanto intra-edificio como externas (AEMET por ejemplo);
- Integrar modelos de inteligencia artificial que corran sobre estos datos de forma que éstos trabajen con los estándares abiertos;
- Comandar los subsistemas según los resultados de los modelos;
- Creación de modelos de gemelos digitales o híbridos en varios escenarios tanto a nivel macro (edificio, zonas urbanas) como micro (estancia);
- Desplegar en escenario real y evaluar el desempeño de estos modelos.

*Cómo lo hacemos*¹⁵²

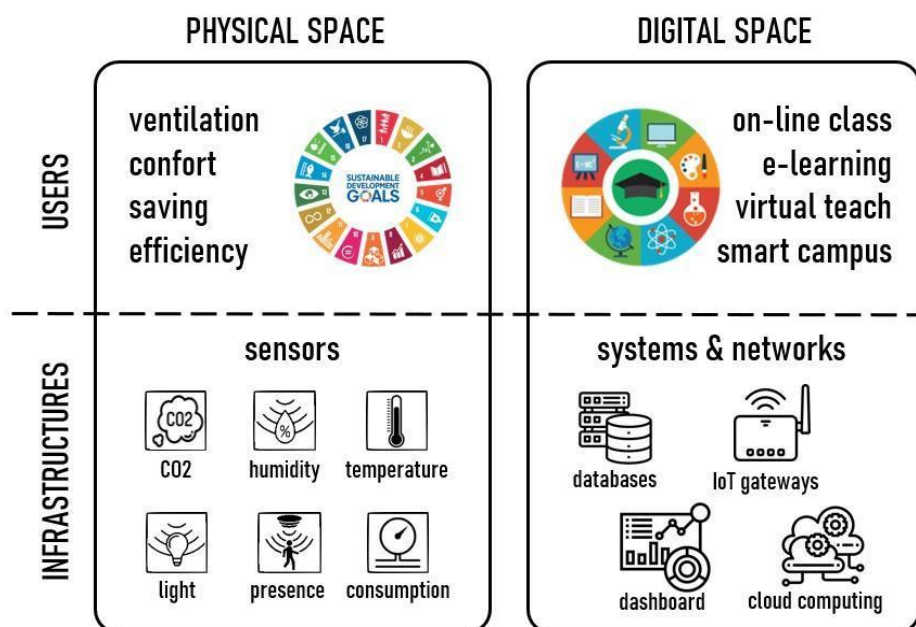
Para alcanzar los objetivos propuestos, se ha propuesto una estrategia basada en la interconexión y caracterización de dos espacios conceptuales (físicos y digitales) para generar edificios inteligentes con ecosistemas IoT. La plataforma IoT es la responsable de adquirir los datos de forma integrada, de intercambiar información de forma interoperable y de aportar conocimiento para la toma de decisiones basadas en datos (data-driven decisions). Esta metodología iterativa, se basa basada en ciclos continuos de “**medir - analizar - decidir y actuar**”, permite una adaptación eficiente a los nuevos y futuros contextos de uso de los edificios, cambios económicos o normativos (emisiones más exigentes, consumos máximos) o circunstancias inicialmente inesperadas.

Esta propuesta de espacios conceptuales, como se muestra en la siguiente figura, relaciona el espacio físico (en el que moverse e interactuar con los parámetros ambientales) y el espacio digital (en el que la información obtenida por nuestros sentidos

¹⁵² Una vez desarrolladas las ideas generales con las que se fundamenta el despliegue de una plataforma IoT como base para generar conocimiento arquitectónico, se ha desarrollado una plataforma real para el Campus Río Ebro. Tal plataforma, como se defiende en esta tesis, solo puede ser “proyectada y construida” mediante la colaboración de muchas personas con muy distintos perfiles. Esta aproximación transdisciplinar es consustancial a los sistemas complejos tal y cómo se ha propuesto en la introducción. En todo caso, desde este apartado tanto los textos como los gráficos son fruto de la colaboración directa con el Dr. Ignacio Martínez Ruiz, Ingeniero en Telecomunicaciones y el Dr. Roberto Casas, Ingeniero Industrial. Sin ambos, y el trabajo del grupo que lideran (HowLab IoT), no hubiera sido posible el desarrollo e implantación de la actual Plataforma IoT Universidad de Zaragoza, SensoUZ. Estos textos y gráficos han servido de apoyo para multitud de solicitudes, charlas, conferencias y artículos. Cuentan con el permiso explícito de los dos para su utilización en esta tesis doctoral.

se completa con grandes cantidades de datos, adquiridos en tiempo real por sensores y transformados en información, conocimiento y servicios).

Dos de los macrosistemas propuestos, el sistema-arquitectura, sistema-energético propuestos desde el análisis reduccionista y la separación, interactúan para proporcionar un determinado habitar. En la propuesta, se añade un nuevo macrosistema, al que hemos denominado digital. Se ha tratado de evitar que esta adicción fuera una vez más establecida desde la separación, como una capa más que se implementa en cualquier edificio. Se plantean dos conceptos clásicos para entender mejor la interacción que surgen en la propuesta. Un espacio físico y otro digital o virtual. El primero comprenden los macrosistemas arquitectónicos (infraestructura) y el segundo, las redes y la computación. También, a nivel usuario, la infraestructura es capaz de proporcionar unas condiciones de habitar, como en cierta forma, los sistemas digitales, proporcionan también un nuevo espacio. De tal manera, que el habitar contemporáneo, no puede ser entendido sin esta simbiosis.



El espacio físico incluye sensores inteligentes (CO₂, humedad, temperatura, luz, presencia, consumo, etc.), obtención de datos de los sistemas (SCADA) y experiencias de usuario (sobre ventilación, confort térmico, consumo y ahorro de costos, eficiencia energética, etc.). **El espacio digital** incluye sistemas y redes (dispositivos de interconexión, pasarelas de IoT, bases de datos, servicios de computación en la nube, tableros de visualización, etc.) para crear un ecosistema digital capaz de crear servicios personalizados tanto para el usuario-habitante como para el gestor del edificio, o lo que puede resultar muy interesante, o terceros. **El desafío es actuar sobre el espacio físico desde el espacio digital, y viceversa:** es decir, proyectar e instalar una red completa de sensores y dispositivos de adquisición de datos para monitorizar, controlar y visualizar cómo se comportan los espacios para tomar decisiones basadas en datos capaces de generar soluciones de optimización y eficiencia energética, control de emisiones y rentabilidad económica y social. Proporcionar valor basado en el conocimiento.

Al espacio físico, bien existente, bien a construir, añadimos sensores para adquirir distintos parámetros. Por ejemplo, el nivel de CO₂ (en ppm), humedad (en porcentaje relativo %), temperatura (en °C), iluminación (en lúmenes), presencia (en pax) y consumo energético (en kWh). A nivel de usuarios (como dimensión en la que las personas se mueven y perciben estas condiciones de aire, humedad e iluminación, confort térmico, etc.), se le pueden añadir servicios asociados como podrían ser en edificios públicos: indicaciones de ubicación, nivel de ocupación, señalética inteligente de emergencia, estado de los servicios, comportamientos zonales, información sobre ventanas abiertas/cerradas o zonas vacías/ocupadas, entre otros. En edificios residenciales, se puede personalizar más aún. En definitiva, nuestra experiencia de usuario –a nivel individual y colectivo– dentro de un edificio está influenciada por condiciones internas y externas (como la iluminación o la climatología) y genera un impacto tanto en el ahorro de costes como en la eficiencia energética. Con la información obtenida por la sensorización podemos implementar la capacidad de actuar en tiempo real, capaz de proporcionar una mejor experiencia y uso de los espacios, mejorar su habitabilidad, clima interior y ahorros económicos significativos.

Así, disponer de información y capacidad para actuar en tiempo real propiciaría una mejor experiencia y utilización de los espacios, mejorar su habitabilidad y clima interior y su capacidad de generar encuentros entre personas. Dentro del ámbito universitario, un catalizador del diálogo, la actividad y el intercambio de ideas y conocimiento. Unas infraestructuras físicas inteligentes permiten la interacción tangible con el edificio para:

- Parametrizar, caracterizar y modelar cada uno de los espacios, estudiando su estado y comportamiento para diferentes usos y condiciones externas.
- Monitorizar de forma selectiva las instalaciones del edificio (o conectarse a las fuentes de datos disponibles en una planta industrial) para integrar de forma inteligente en una única plataforma.
- Monitorear el consumo de energía, las variables climáticas, el rendimiento de la instalación, etc. para avanzar hacia edificios inteligentes.
- Utilizar energías renovables y visualizar su explotación, producción, consumo, eficiencia, ahorro, etc.
- Seguimiento de las condiciones térmicas interiores, la calidad del aire interior, los niveles de ocupación, etc.
- Valorar los resultados obtenidos y extrapolarlos a servicios de valor añadido alineados con los ODS/normativas estatales y europeas, como: uso inteligente, eficiencia energética y rehabilitación, mantenimiento predictivo y adaptativo, etc.
- Mejorar la ventilación controlada por demanda (DCV), como estrategia de ventilación inteligente, a partir de patrones inteligentes obtenidos de los datos medidos (CO₂, humedad, temperatura, etc.).
- Integrar la producción de energía renovable (fotovoltaica-solar térmica, geotermia) en estas infraestructuras inteligentes y digitales.
- Monitorizar y sensorizar los espacios verdes disponibles para conocer su aportación al sistema edificio, así como su estado, facilitando su gestión y mantenimiento.
- Facilitar los procesos de toma de decisiones para un uso inteligente de cada espacio.

En el plano de las infraestructuras digitales se encuentran tanto los subsistemas que gestionan la climatización, la iluminación, etc. como todas las redes y sistemas IoT

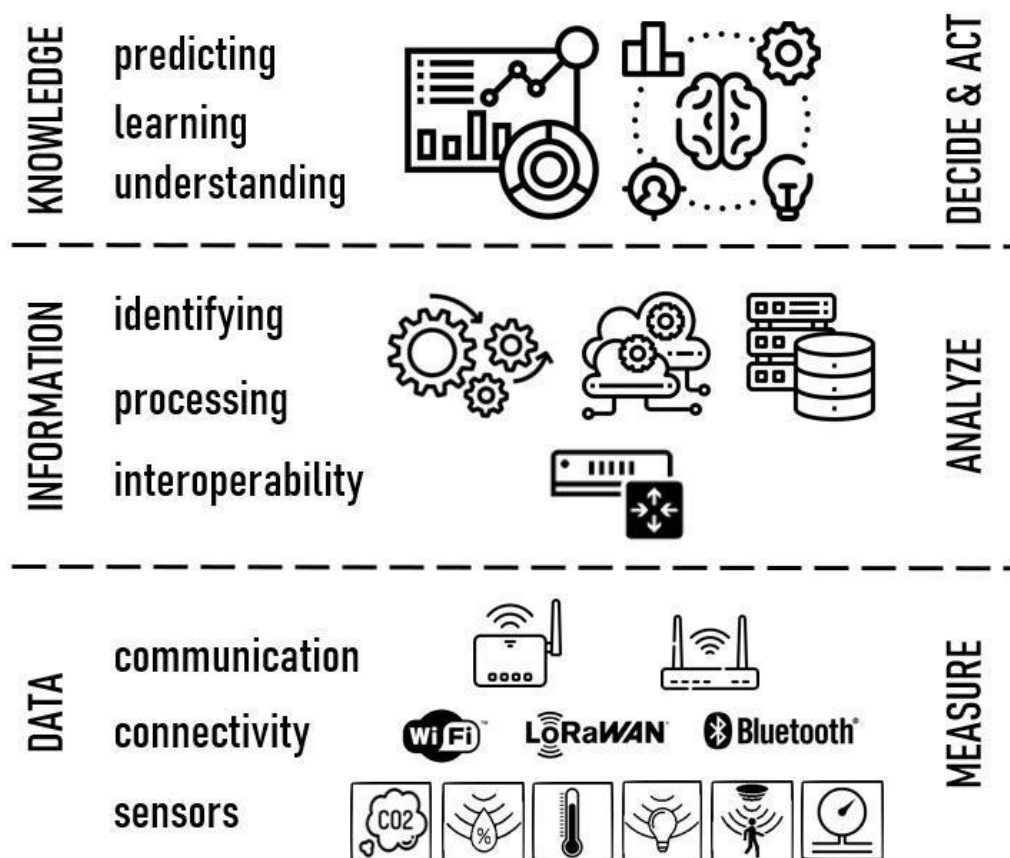
(gateways, databases, cloud computing, dashboards, etc.) para controlar y dar realimentación sobre las temperaturas, horarios, etc. (ver Figura). En el plano de los usuarios, el espacio digital se refiere a la dimensión en la que de toda la información gestionada en el plano de las infraestructuras se transforma en conocimiento para ofrecer servicios inteligentes y de valor: en este caso aplicados al nuevo concepto de educación digital incluyendo clases on-line, e-learning, aprendizaje virtual, smart campus, etc. (ver Figura). Entrando en detalle de este espacio digital, sería un entorno de enseñanza-aprendizaje sobre los edificios. Permitiría:

- Generar un entorno unificado, amigable y abierto, en el que sea fácil acceder información de cómo se comporta un edificio.
- Propiciar la generación de herramientas que desarrollen los datos generados.
- Facilitar visualizar en tiempo real las principales métricas del un edificio.
- Fomentar la transparencia de la información sobre su uso, como son su consumo, emisiones, nivel de ocupación, ineficiencias, etc.
- Ofrecer un entorno vivo, adaptativo y transparente en la gestión y en las métricas de uso y resultados.
- Gemelo Digital o híbrido como soporte virtual en el que poner a disposición de la investigación sobre arquitectura y urbanismo.
- Integración digital de todos los espacios físicos de un edificio para que los usuarios y gestores pueden colaborar en la administración del edificio.
- Acceso continuo, adaptativo, transparente y usable al estado de los espacios (ocupación, niveles de CO₂, confort térmico, etc.) y todo tipo de servicios (climatización, aperturas, etc.) y con todos los datos abiertos y geoposicionados.

Al nivel de los sensores, añadimos varios sistemas y redes para gestionar distintos parámetros físicos como los sistemas de climatización respecto a las condiciones atmosféricas variable /poco previsibles a medio plazo), el seguimiento de los niveles de iluminación u ocupación de espacios. Esto se hace a través de gateways IoT, bases de datos interoperables, servicios de cloud computing, cuadros de mando de visualización, etc. A nivel de usuarios (como dimensión en la que la información –gestionada a nivel de infraestructuras– evoluciona en conocimiento), se han incluido varios servicios inteligentes y digitales: app de control y gestión de ascensores (y de todos los servicios de movilidad de un edificio), iluminación adaptativa, seguridad de incendios y emergencias, control de accesos, detectores de presencia, carga inteligente de vehículos eléctricos, ubicación de servicios, gestión del agua, estado de los equipos, etc., de modo que se pueda lograr una interacción e interoperabilidad de todos los servicios conectados

El modelo digital propuesto, es un soporte virtual capaz de mostrar los servicios disponibles de forma unificada y armonizada para cualquier edificio, que puede integrar todos los espacios digitales para interconectar a los usuarios, tanto en factorías, oficinas, edificios públicos o edificios residenciales) con las actividades que se realizan en el edificio y de gestión. De esta manera se puede proporcionar acceso (de forma continua, adaptativa, transparente y amigable) a servicios heterogéneos a través de datos abiertos y geoposicionados.

A partir de los conceptos previamente detallados de espacios físicos y espacios digitales, se propone la implementación de un modelo IoT de tres niveles: Datos - Información - Conocimiento, como se describe en la siguiente figura:



En este contexto, consideramos las siguientes definiciones para datos, información y conocimiento. Los datos consisten en hechos en bruto representados por números, sonidos, imágenes, medidas, etc., mientras que la información es la recopilación de datos organizados y procesados para proporcionar un valor adicional más allá del valor de los hechos individuales. Más detalladamente, la transformación de los datos obtenidos en información requiere procesos que organicen dichos datos para que se conviertan en información valiosa y útil. El valor agregado creado depende de las relaciones definidas e identificadas en el conjunto de datos. Por último, pero no menos importante, consideramos el conocimiento como la comprensión de un conjunto de información y las formas en que la información puede ser útil para respaldar tareas específicas o tomar decisiones, es decir, para decidir y actuar.

Nivel de datos

Los datos se obtienen de diferentes tipos de sensores o sistemas que miden diversos parámetros de interés como:

- CO₂, niveles de iluminación, temperatura y humedad en diferentes ubicaciones de los edificios: pasillos, oficinas, aulas, restaurantes, biblioteca, viviendas, estancias, garajes, etc. para conocer las condiciones de confort térmico y calidad del aire que son útiles para determinar cuándo utilizar sistemas de climatización, cuándo la ventilación natural, cuándo de ventilación mecánica, etc.
- Cantidad de personas en las diferentes salas (obtenidas por diferentes sistemas de verificación, tipo códigos de Respuesta Rápida QR) o si hay presencia en ellas.
- Niveles de consumo energético, tanto eléctrico como de otras fuentes, con el fin de monitorear el consumo en tiempo real, identificar consumos imprevistos, detectar encendidos no deseados, analizar información específica a través de sistemas de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) como temperaturas en los fluidos calorportadores en suministro y retorno, etc.
- Niveles de generación eléctrica y térmica de los paneles fotovoltaicos y/o híbridos (u otras fuentes renovables) para analizar cuán eficientes son las energías renovables, etc.
- Horarios y otros parámetros relacionados con la movilidad de las personas en los edificios universitarios como mapas de calor, frecuencias de acceso, etc.
- Todos estos datos recolectados son enviados al siguiente nivel de comunicación por varios dispositivos de interconexión a través de sus tecnologías de conectividad asociadas, como Bluetooth, WiFi, LoRaWAN, entre otras.

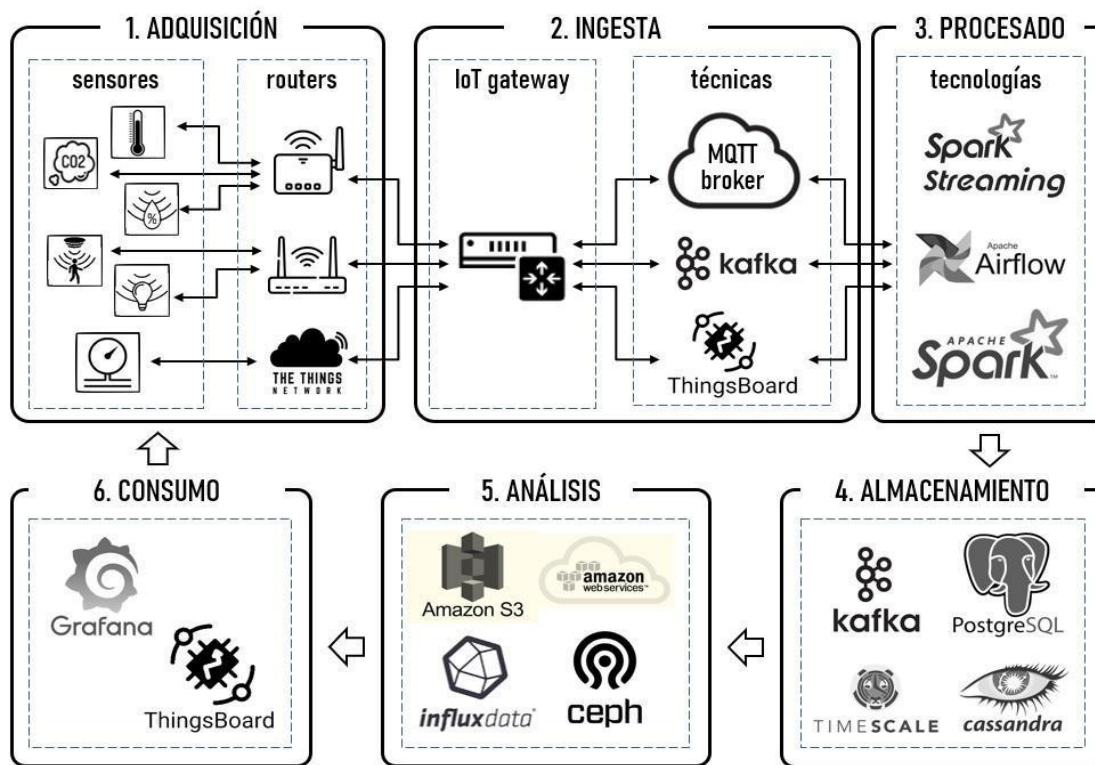
Nivel de información

Estos sensores o sistemas generalmente no guardan los datos obtenidos, pero están conectados a diferentes tipos de redes donde existen nodos que reciben y procesan esos datos para transformarlos en información. Estas redes utilizan diferentes tipos de protocolos para transmitir datos entre nodos —como Controlador Lógico Programable (PLC), etc— en función de sus características (consumos, costes, etc.). Además, los protocolos de red utilizados por este tipo de dispositivos no se basan normalmente en los estándares TCP/IP, que generalmente son los seleccionados en las soluciones para optimizar y gestionar el almacenamiento y la recuperación de datos y la gestión de la información. Las redes propuestas de sensores terminan en un elemento concentrador (sistema SCADA, nodo LoRaServer, etc.) que actúa como gateway IoT para enviar los datos a una red TCP/IP garantizando la interoperabilidad de la comunicación.

Se aplican diferentes procesos basados en reglas de Extraction, Transformation and Load (ETL) con el fin de guardar y almacenar datos organizados considerando y estudiando las diferentes relaciones relevantes. Los datos se asocian a los metadatos de acuerdo con los estándares definidos por FAIRMODE, W3C, OGC-INSPIRE y otras especificaciones relevantes. Además, antes de pasar al siguiente nivel, toda la información se analiza mediante un procesamiento iterativo para garantizar su consistencia y confiabilidad.

En todo este proceso, es clave para generar conocimiento útil y aplicable, obtener datos adecuados con un cierto nivel de calidad y organizarlos de manera adecuada, son claves para evitar sesgos o conclusiones erróneas. Los datos perdidos, incorrectos o no válidos podrían comprometer cualquier conocimiento o proceso de decisión obtenido en base a ellos. Aplicamos técnicas estadísticas para identificar valores atípicos y datos perdidos o fallidos para verificar la calidad de estos y, en caso de ser necesario, subsanarlos.

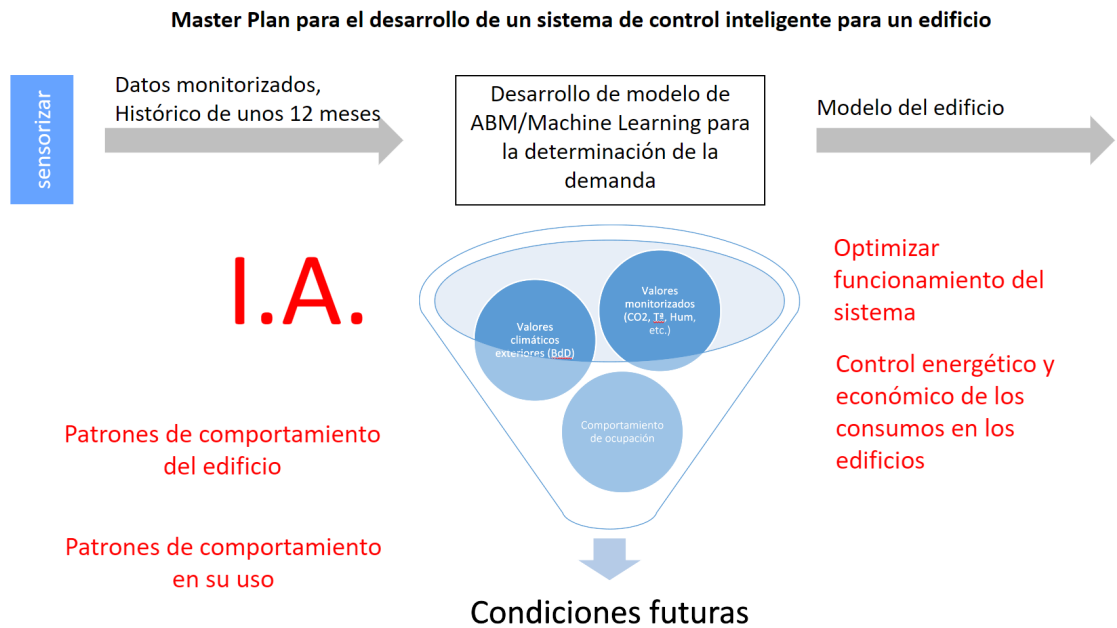
La siguiente figura representa el



Nivel de conocimiento

El propósito general de este nivel es el desarrollo de servicios para predecir, analizar y visualizar el uso de edificios residenciales y no residenciales, para medir su rendimiento de acuerdo con unos objetivos definidos, en base a diferentes modelos y parámetros. Estos servicios generalmente utilizan tecnologías de High-Performance Computing (HPC) cuando se considera una gran cantidad de datos históricos y heterogéneos. En particular, se proponen tres tipos de servicios:

1. **Servicios para detectar operaciones inadecuadas** en las instalaciones como fallos en los sistemas, equipos que deben apagarse en determinadas franjas horarias, rendimiento inferior al esperado, detección de alto consumo energético, etc.
2. **Servicios predictivos con múltiples aplicaciones**, como servicios capaces de predecir el rendimiento real de las instalaciones en circunstancias específicas en base a pre-conocer parámetros de confort para los usuarios. Para ello, se requiere conocer tanto cómo funcionan los edificios como el escenario real (muy difícil de simular). Por tanto, el seguimiento y la adquisición de datos históricos de los edificios y su contexto es clave; por ejemplo, datos relativos al consumo energético los sistemas de climatización y bombas, inercias térmicas o parámetros sobre el comportamiento pasivo de diferentes habitaciones y edificios.



3. **Servicios prescriptivos** (Recommendation Services), que apoyan la toma de decisiones adecuada basada en datos. Por ejemplo, el conocimiento sobre el comportamiento de los sistemas de climatización puede ayudar a programar el horario de encendido / apagado de las instalaciones y equipos de los edificios. Otro ejemplo, sería la aplicación de Model Predictive Control (MPC) para actuar sobre control automático y eficiente de las instalaciones (bajo una serie de entradas de registro) considerando las predicciones obtenidas con el modelo.

En este sentido, expertos aplican técnicas de minería de datos y minería de procesos (process mining and model-driven engineering), siendo capaces de incidir en la retroalimentación del sistema para mejorarlo de forma gradual. La minería de procesos es básicamente la aplicación de técnicas de modelado de sistemas software y técnicas de aprendizaje máquina a datos y modelos de procesos y sistemas. El potencial que tiene la minería de procesos nos permite descubrir qué sistemas se están usando y cómo, lo que nos permite identificar funcionamientos para los que no han sido diseñados, analizar si los sistemas se están usando de forma consistente con el modelo y con los protocolos y especificaciones de proyecto. También, detectar comportamientos no previstos que pueden dañar al sistema y hacerlo no seguro.

Para el desarrollo de estos modelos aplicamos modelos físicos (caja blanca), modelos basados únicamente en datos (caja negra) o modelos híbridos (caja gris) en función de las características del problema planteados. En general, como se ha desarrollado en el apartado “Modelos de conocimiento”, los modelos híbridos se consideran la opción más interesante para llegar a un grado de compromiso entre el esfuerzo computacional y un buen grado de acuerdo con el funcionamiento real de la instalación. Por supuesto, una etapa crucial de este trabajo es la verificación o validación y análisis de los modelos y la determinación de la incertidumbre asociada con los resultados obtenidos (consumos, rendimientos y demandas de energía, confort, etc.).

Desarrollo e implementación de la propuesta

SensoUZ. Contexto general

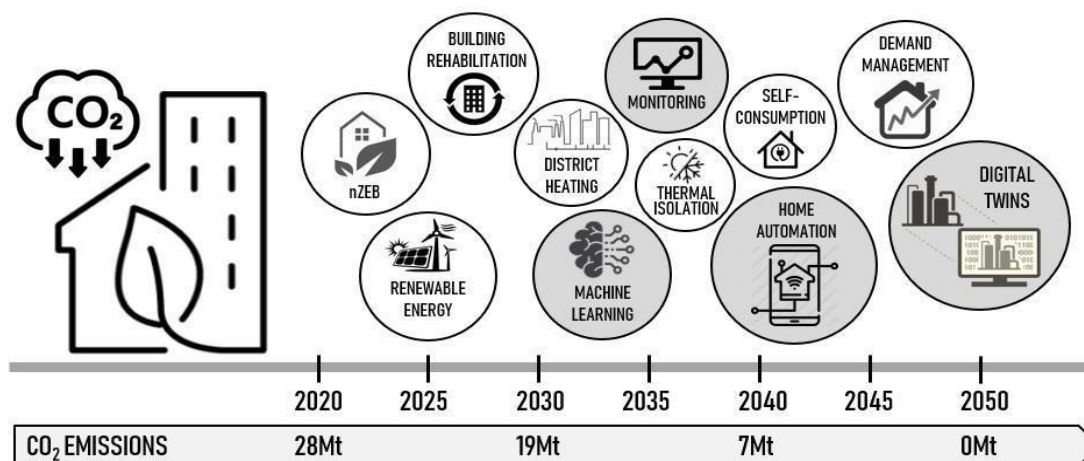
Todo aprendizaje implica una actuación: una fábrica (del latín “facere”). El ámbito universitario ha sido tradicionalmente visto como un espacio-soporte para el intercambio de conocimientos. Sin embargo, como ha demostrado la pandemia del SARS-COV-19, las tecnologías digitales permiten nuevas metodologías de enseñanza-aprendizaje en espacios digitales. Así, es necesario repensar los espacios universitarios, no solo como lugares de intercambio y producción de información, sino también como lugares de encuentro y diálogo, en los que “aprender haciendo”.

Un ecosistema IoT (Internet de las Cosas) que, con metodología “medir – analizar – decidir y actuar”, propone convertir los edificios universitarios en campus inteligente (digital twins/hybrid twins) como factoría de formación, concienciación y dinamización de espacios urbanos sostenibles para cumplir los retos ODS y la Agenda Europea 2030 en el ámbito de la educación digital, la eficiencia energética y las energías renovables.

Es una iniciativa multidisciplinar de la Universidad de Zaragoza. Se inicia en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) aunando disciplinas de Arquitectura e Ingeniería (Industrial, Mecánica, Térmica, Eléctrica, Electrónica, Informática y de Telecomunicación). Actualmente, junto con diversas facultades, la Oficina Verde y el Servicio de Mantenimiento se extiende hacia un concepto integrador de campus inteligente.

Los edificios no residenciales (instituciones, industrias, universidades, escuelas, etc.) consumen alrededor del 20% de la energía total consumida en Europa. Para cumplir los retos ODS, la Ley climática Europea “European Climate Law” y el Plan de Acción “European Green Deal” establecen compromisos de eficiencia energética y ahorro de consumo de más del 30% antes de 2030.

La metodología propuesta está alineada con la Estrategia para Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE 2020) que propone un orden lógico para las actuaciones: “1) reducción de la demanda mediante actuaciones de eficiencia energética; 2) utilización de sistemas muy eficientes; y 3) aportando la energía final mediante energías renovables, fundamentalmente producidas in situ”. En la Figura 1 se muestran los principales avances tecnológicos y herramientas necesarias para avanzar hacia la neutralidad climática a partir de 2030, y llegar a un nivel de emisiones nulo en 2050. Según ERESEE, cada hito de la Figura 1 ocupa un círculo, ubicado en la fecha de su madurez y proporcional a su contribución. Los círculos de color gris se asocian con las Tecnologías de la Información (IT) resaltando la necesidad fundamental de monitorizar las instalaciones para obtener datos y así cuantificar la eficiencia de las instalaciones antes y después de las acciones planteadas. Para demostrar el éxito de las mejoras realizadas, es fundamental comparar datos, sacar conclusiones cuantitativas y difundir los resultados para replicar las mejoras en todo tipo de áreas y ámbitos de interés.



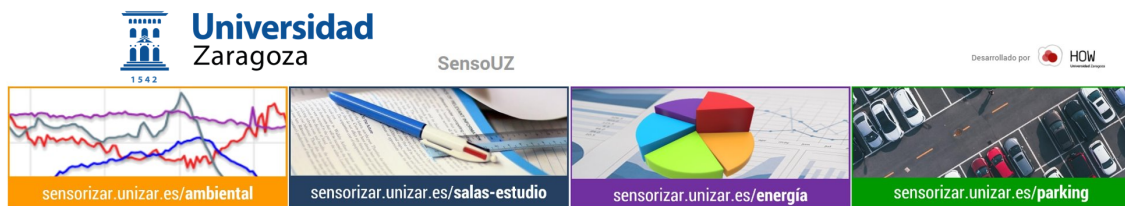
Estrategia RESEE: principales hitos para avanzar hacia la neutralidad climática

Los objetivos de la plataforma propuesta son:

- Generar espacios conceptuales creando un modelo dual de espacios digitales y físicos (imbricando soluciones educativas con edificios inteligentes) en los que conviven disciplinas digitales (informática, electrónica, telecomunicaciones), sistemas automáticos, producción renovable de energía y tecnologías térmicas y arquitectura, en los que la investigación y la formación convergen en proyectos transversales, de alta aplicación y concienciación social y medioambiental.
- Desarrollar un ecosistema “**medir – analizar – decidir y actuar**” para cumplir objetivos clave del siglo XXI: lucha contra el cambio climático (en que edificios y tecnologías sean climáticamente neutras), promoción de la economía circular (centrada en las personas dentro de una sociedad con igualdad de oportunidades y modelos colaborativos impulsando proyectos sociales sin destruir el medio ambiente) y construcción de la era digital (que empodere a las personas y su relación positiva y democrática con las tecnologías)
- Construir actuaciones reales y transformadoras hacia los smart campus
 - Desplegar una instalación completa de sensores y equipos de adquisición de datos (en tiempo-real) para medir el mayor número de parámetros de interés: CO₂, temperatura, humedad, iluminación, presencia, movilidad, caudal de agua y aire, consumo eléctrico, aprovechamiento solar fotovoltaico, etc.
 - Construir una plataforma IoT (Internet of Things) para monitorización digital de edificios como solución coste-efectiva, de software y hardware libre, datos abiertos y ultra-bajo consumo.
 - Proporcionar los sistemas y metodología para visualizar cómo funciona energéticamente un edificio, y a través de decisiones basadas en datos, actuar para mejorar su eficiencia y su uso: ventilación inteligente y automatizada, producción de energías renovables, espacios sostenibles de educación digital, etc.
 - Mejorar las estrategias para la rehabilitación energética de los edificios a través de técnicas inteligentes extrapolando conocimiento en edificios públicos de alta intermitencia.

Desarrollo e implementación de la propuesta, SensoUZ

En la actualidad, la propuesta de este tipo de soluciones coste-efectivas desarrolladas sobre la toma de decisiones basadas en datos pasa preferentemente por incorporar nuevas tecnologías basadas en Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT). IoT, como paradigma tecnológico destinado a incrementar exponencialmente la conectividad de todo tipo de dispositivos cotidianos y domésticos tiene, como una de sus principales fortalezas, el alto impacto que supone en el comportamiento diario de los usuarios potenciales. El imparable crecimiento de dispositivos IoT (se estima que en el Mundo actualmente existen más de 30.000 millones de dispositivos IoT conectados) permite recopilar una incalculable cantidad de datos que, correctamente transmitidos y procesados (mediante la computación en la nube y tecnologías similares), se convertirán en información. Esta información, convenientemente almacenada, visualizada y analizada (mediante Inteligencia Artificial, herramientas de Machine Learning, etc.), generará un conocimiento sobre el que producir, no sólo re-alimentación positiva en la adquisición y procesado del dato, sino permitir la toma de decisiones inteligentes basadas en datos de valor. Según la UNESCO, las soluciones y los sistemas sostenibles e innovadores requieren esfuerzos científicos eficientes, transparentes y dinámicos. Así, el enfoque de esta propuesta está comprometido con la ciencia abierta para fomentar el conocimiento científico verificable sujeto a escrutinio y crítica, la reproducibilidad de los resultados experimentales y procesos sólidos de toma de decisiones. Para ello, los datos deben tener la calidad adecuada y generar valor, dado que los resultados de cualquier algoritmo y decisión operativa, tácita o estratégica que se tome, dependerán altamente de los datos en los que se basa. Además, para conseguir que el valor de este conocimiento inteligente pueda universalizarse a la población, es fundamental apoyarse en paradigmas clave como: tecnologías de ultra-bajo consumo, infraestructuras de software libre y open data (datos abiertos) y plataformas de hardware libre. Todo ello con los objetivos de favorecer el desarrollo e innovación tecnológica industrial y comercial, garantizar la protección y confidencialidad de los datos; y promover la disponibilidad abierta de dichos datos con la oportunidad de su consumo por terceros (third-parties) para ofrecer servicios de valor, incluyendo especialmente la innovación tecnológica y la ciencia abierta (open science) en entornos universitarios y de investigación.



- **A community of over 39,000 inhabitants 7 Campuses 3 Provincial Capitals and 1 City Over 80 buildings Over 700,000 square meters built**
- **How to make these buildings more efficient?**
- **Are we capable of maintaining these buildings in a healthy and comfortable manner?**
- **How to make citizens see the usefulness of investments in technology?**
- **Can we implement and maintain an IoT infrastructure?** <https://sensouz.unizar.es/>

Todos estos avances tecnológicos ya empiezan a dar resultados en diversos ámbitos como: gestión del aparcamiento, optimización de la circulación de tráfico, detección de fugas de agua, sistemas de gestión, control de temperatura de confort en edificios o aumento de rendimiento energético en electrodomésticos, entre otros ejemplos relacionados con el nuevo ecosistema de ciudades inteligentes (Smart Cities). En el ámbito de las edificaciones, un tercio de los edificios europeos se construyeron antes de 1960 y casi el 84% tiene, al menos, 20 años. Tomando en consideración que la antigüedad de los edificios está estrechamente relacionada con su consumo energético, la adaptación de la envolvente del edificio a los nuevos estándares conlleva un gran potencial de ahorro energético y en emisiones de CO₂. Y aunque los nuevos edificios nearly Zero Energy Building (nZEB) se pueden construir siguiendo los nuevos estándares de alta eficiencia, uno de los grandes objetivos es mejorar las condiciones de los ya existentes, que representan la gran mayoría.

Siguiendo los dos primeros puntos ERESEE (reducción de la demanda y mejora del rendimiento), un elemento clave es la carga por ventilación (que constituye entre el 30 y el 70% de dicha demanda). La medida de CO₂ no solo es una ayuda para la situación actual del COVID sino que es un parámetro clave para ajustar los caudales de ventilación en cada instante a lo que el edificio o el local realmente necesita: lo que se conoce técnicamente como ventilación controlada por demanda (Demand-Controlled Ventilation, DCV) [31]. Los sistemas de ventilación natural (simplemente la apertura de ventanas) no permiten realizar un adecuado control sobre la entrada de aire exterior, siendo imposible conocer si los caudales de ventilación son inferiores o superiores a los realmente necesarios para garantizar las necesidades del ambiente interior. Un caudal de aire insuficiente provocará falta de calidad en el ambiente interior, mientras que un caudal excesivo comportará un impacto energético elevado. Además, utilizando ventilación natural se pierde la posibilidad de pasar a través de los sistemas de filtración y de aprovechar la energía térmica en los sistemas de recuperación de calor. Dado que los edificios universitarios se caracterizan por una importante intermitencia o variabilidad en cuanto a su nivel de ocupación, es crucial mejorar las prestaciones del sistema de automatización y control de la ventilación

mecánica, adaptando los caudales de aire exterior a la ocupación real de cada local o zona térmica. Por ello, el control más adecuado es con sensores que miden parámetros de calidad de aire interior (CO₂). Es esperable un alto impacto de esta medida de mejora en planes de rehabilitación de edificios universitarios.

Como tercer punto ERESEE (energías renovables), otro elemento clave es el aprovechamiento solar fotovoltaico como marca el RD 244/2019 [34] por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, paradigma clave para el ahorro energético en las edificaciones. Mediante el desarrollo del autoconsumo de carácter renovable, además de los consumidores finales, puede beneficiarse el sistema eléctrico y energético y la Sociedad en su conjunto. Algunos beneficios son: menor necesidad de red energética, mayor independencia energética del país, menores emisiones de gases de efecto invernadero (mediante la sustitución de generación emisora y contaminante por renovable) y fomento de la actividad económica y el empleo local, entre otras ventajas. En definitiva, una herramienta eficaz para la electrificación de la economía, que representa una condición sine qua non para la transición hacia una economía baja en carbono de la manera más eficiente posible, como marca el Plan Nacional Integrado Energía y Clima (PNIEC 2021-2030, enviado en marzo de 2020 a la Comisión Europea).

Finalmente, para promover la eficiencia energética mediante tecnologías inteligentes en edificios (smart building technologies) y siguiendo la Directiva Europea de 2018 sobre rendimiento energético en las edificaciones (European Energy Performance of Buildings Directive, EPBD), un elemento clave es el establecimiento del indicador Smart Readiness Indicator (SRI). Este indicador permitirá calificar la capacidad de los edificios (o unidades de edificio) para adaptar su funcionamiento a las necesidades del ocupante (optimizando también la eficiencia energética y el rendimiento general) y para permitir flexibilidad energética en su funcionamiento según los parámetros de la red. Este indicador SRI es un parámetro imprescindible para concienciar a los propietarios y ocupantes de los edificios sobre el valor que se esconde en la automatización en las edificaciones y la supervisión digital de los sistemas técnicos del edificio, aportando un ahorro considerable gracias a las nuevas funcionalidades inteligentes.

Si las propuestas de edificios inteligentes (centradas en nZEB, monitorización de la calidad del aire, ahorro energético con confort térmico, etc.) ya eran necesarias antes de 2020, la pandemia ha hecho imprescindible esta área de investigación y desarrollo. Para conseguirlo, cada vez es más necesario proponer soluciones coste-efectivas y que sean escalables para poder aplicarlas en diversos tipos de contextos abarcando escenarios globales.

Fases

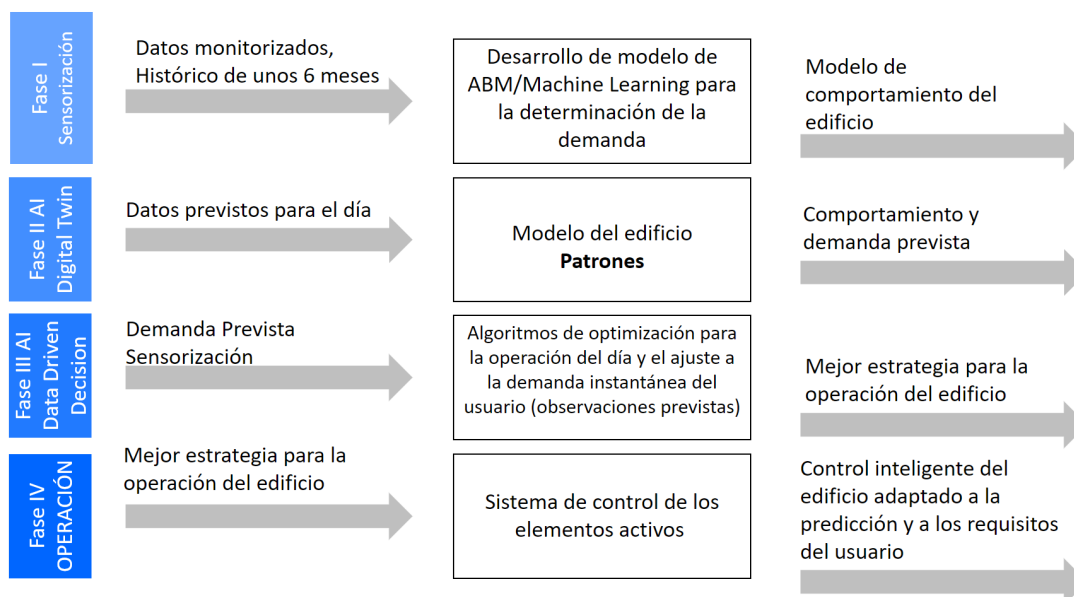
Fase I. Adquisición de múltiples datos de monitorización en tiempo-real (al menos durante 6 meses) tanto de los multisensores smart campus (aulas, salas de estudio, cafeterías, etc.) y los patrones de uso (tasas de ocupación de espacios, calendarios, etc.) como de los parámetros SCADA (climatización, rendimiento, eficiencia energética, etc.) y la información climática del exterior. Con todos esos datos, se desarrollará un modelo de analítica inteligente (basado en Machine Learning) para determinar la demanda energética de las instalaciones y plantear un modelo digital del edificio (digital twin).

Fase II. Construcción de patrones de comportamiento y demanda prevista. A partir del modelo digital del edificio, se introducirán los datos previstos para cada día, tanto de climatología exterior como de uso del edificio, como entrenamiento para ir mejorando y evolucionando el modelo. Con estos patrones, además de análisis y estudios propios, sensoriZAR ofrecerá servicios a terceros para poder obtener modelos personalizados de comportamiento de sus instalaciones en sus organizaciones.

Fase III. Desarrollo de algoritmos de optimización tanto para ejecutar las operaciones diarias de los edificios (gestión de climatización, apertura y cierre de espacios, encendido y apagado de iluminación, etc.) como para ajustarlas de forma personalizada a la demanda instantánea de los usuarios.

Fase IV. Integración en los sistemas de control de los elementos activos tanto los actuales (PLC, SCADA, sistemas de automatización, etc.) como aquellos por instalar o renovar para conseguir un control inteligente del edificio, adaptado a la predicción y a los requisitos del usuario. En esta fase se incorporarán innovaciones como: la generación y almacenamiento de energías renovables, la automatización y/o mecanización de puertas y ventanas para ventilación y control de climatización, la renovación de materiales para ser energéticamente eficientes, etc.

Master Plan para el desarrollo de un sistema de edificio inteligente



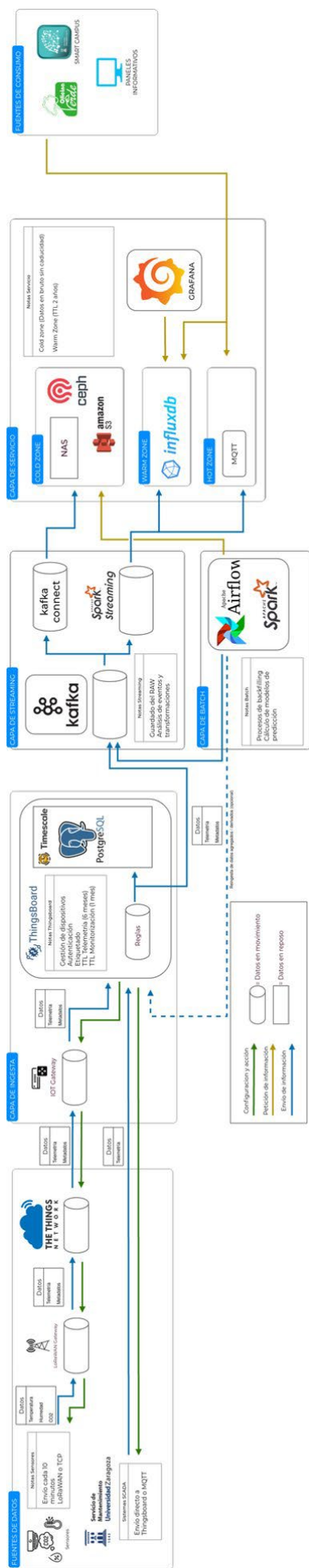
Master Plan para el desarrollo de un sistema de control inteligente para un edificio

FASE	Actividad	1er	2ª	3er	4ª
Fase I SENSORIZACIÓN	Definición del proyecto y objetivos. Determinación de recursos necesarios y compromisos a asumir.				
	Recopilación de datos del sistema de monitorización				
	Depuración de datos (establecer y aplicar criterios para corregir los registros que siempre incluyen errores)				
	Definición de variables básicas de entrada y de salida del modelo Machine Learning				
	Desarrollo del modelo de Machine Learning (requerirá de al menos 6 meses de registros y podrá seguir alimentándose con nuevos datos. Mejora continua)				
Fase II LA Digital Twin	Elaboración de modelo para la predicción de las variables de entrada para la previsión de la demanda.				
	Utilización del modelo de Machine Learning para la determinación de la demanda según las condiciones previstas para el día.				
	Validación del modelo de predicción de la demanda con los datos obtenidos después de la elaboración del modelo				
Fase III LA Data Driven Decisión	Desarrollo de algoritmos para optimizar la operación del día a partir de la demanda predicha. (determinar los horarios generales y las consignas del día para el HVAC)				
	Desarrollo de algoritmos que optimicen la operación adaptándose a las necesidades instantáneas del usuario. (por ejemplo, conectar un circuito en una zona por solicitud usuario)				
Fase IV OPERACION	Instalación elementos de control en sistema de climatización y validación de la capacidad de gestionar por circuitos de forma correcta.				
	Integración de las estrategias de optimización del día en el sistema de control				

■ Plazo para desarrollar de forma completa la tarea
 ■ Plazo para realizar preparativos previo a la entrega de datos críticos

Enfoque multidisciplinar.

En este sentido, la presente propuesta propone un modelo basado en la capacidad de superar los enfoques individuales y las estructuras tradicionales para adaptarse a los nuevos sistemas complejos y cambiantes, contribuyendo con iniciativas adaptativas. Esto se pone de manifiesto en su carácter multidisciplinar ya que el equipo de trabajo está formado por profesores universitarios de Arquitectura y diversas ramas de la Ingeniería Industrial, Mecánica, Térmica, Eléctrica, Electrónica, Informática y de Telecomunicación. Además, este equipo de trabajo atesora un excelente currículum investigador y una gran experiencia en este tipo de propuestas: a modo de ejemplo, uno de los grupos integrantes (responsable de las soluciones IoT), en los últimos diez años ha participado en 28 proyectos (nacionales e internacionales), 30 contratos (con entidades públicas y privadas) y 6 patentes, con un volumen de facturación y/o captación de fondos de más 4 millones de Euros, acreditando así su transferencia permanente con el mundo empresarial y su capacidad para desarrollar proyectos profesionales.



Internet de las cosas aplicada a los edificios, una factoría de aprendizaje¹⁵³

Introducción

En un contexto muy general, los edificios son en la actualidad, los edificios son responsables del 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa (European Court of Auditors, 2020). Según Eurostat, los hogares son responsables entre el 25-28% del consumo final de energía en Europa desde 1995 (Eurostat. Statistics Explained, 2023). El consumo de energía en los hogares es la principal razón de las emisiones observadas de gases de efecto invernadero en el sector (COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, 2022). Los edificios y los hogares, dada su capacidad de ahorro, tienen consideración prioritaria en la agenda 2030 de la Unión Europea para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el compromiso de reducir el consumo de energía en más del 30% para 2030 (General Secretariat of the Council, 2019b). Además, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environment Protection Agency (EPA), 2022) y la UE (Joint Research Centre, 2003), las personas pasan el 80-90% de su tiempo en interiores, donde la calidad del aire es de 2 a 5 veces peor que en exteriores, por lo que garantizar una alta calidad del aire interior es de gran importancia.

Aunque nos indican las políticas estratégicas de la UE, la ONU o los EEUU, las normativas de aplicación son objeto de discusión y solo son recomendación en política energética y medio ambiental pero no obligatorias. Así, la norma europea principal que indica la política europea es la Directiva de Rendimiento Energético de los Edificios (EPBD) 2018/844/UE (Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings, 2021). La EPBD promueve la eficiencia energética en los edificios a través de varias iniciativas relacionadas con las tecnologías de Internet de las cosas (IoT) y los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC por sus siglas en inglés), entre otros temas clave. Según la EPBD, el rendimiento energético de los edificios debe calcularse sobre la base de una metodología que puede diferenciarse a nivel nacional y regional. Además de las características térmicas, incluye otros factores relevantes como son las instalaciones de calefacción y aire acondicionado, las estrategias de ventilación, la aplicación de energía de fuentes renovables, la automatización y sistemas de control de edificios, las soluciones inteligentes, los elementos pasivos de calefacción y refrigeración, la iluminación natural y calidad del aire adecuadas, el diseño del edificio, entre otros. La metodología debe basarse en intervalos de tiempo por hora o menos, con el fin de garantizar la representación de las

¹⁵³ Este capítulo fue publicado en formato de artículo en agosto de 2023 en la revista Sustainability (Ver: E. Cano-Suñén et al., 2023). Fue desarrollado a partir de las ideas defendidas en la presente tesis doctoral, con las que se construyó la plataforma IoT SensoriZAR. Esta plataforma pasó a denominarse SensoUZ. En la actualidad se están publicando los primeros trabajos de investigación, pero lo que es más importante, su despliegue está ayudando a mejorar la eficiencia energética, el confort térmico y la salud ambiental de los edificios del Campus Río Ebro.

condiciones operativas reales y permitir el uso de energía medida para verificar la corrección y la comparabilidad.

A partir de estas premisas, desde nuestro enfoque las soluciones propuestas no pueden ser estrategias aisladas; deben ser transversales, comprendiendo varios aspectos clave:

- Solo una minoría de los edificios proporciona un sistema completo de HVAC: la mayoría puede incluir solo instalaciones de aire acondicionado, o solo sistema de calefacción, o distribuciones de calefacción y aire acondicionado, o aplicaciones combinadas para proporcionar ventilación, calefacción y refrigeración.
- Solo una minoría de los edificios incluye IoT: es cada vez más común incorporar sensores que son utilizados por sistemas de Control y Adquisición de Datos (tipo SCADA) para controlar sistemas HVAC, pero integrarlos en el ecosistema IoT, como se propone en esta investigación, constituye un reto.
- El stock de edificios es obsoleto, por lo que una intervención en la eficiencia energética también debe asegurar condiciones de calidad del aire como requisito clave, manteniendo un contexto saludable y confort interior con un impacto mínimo en el medio ambiente.
- El entorno construido es vasto, por lo que las estrategias transversales deben ser de bajo costo y económicamente sostenibles.

Todas estas consideraciones nos llevan a reflexionar sobre cuáles son las estrategias más efectivas para mejorar el rendimiento de los edificios, especialmente la eficiencia energética y la calidad del aire interior (IAQ por sus siglas en inglés). Sobre estas preguntas, el campo científico-técnico arquitectónico, plantea con profusión estudios sobre las ventajas e inconvenientes de introducir una capa de IoT en el diseño y construcción de nuevos edificios. Estos edificios, se denominan en la bibliografía de forma general edificios inteligentes o smart buildings. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la realidad actual del entorno construido es que solo una minoría de los edificios incluyen tecnologías IoT, por lo que, si realmente se considera que parte de las soluciones para el ahorro energético, el control ambiental y el bienestar de los usuarios dependen de la digitalización de la arquitectura, es necesario proponer estrategias rentables y sostenibles para incorporar IoT.

En este sentido, la incorporación de tecnologías basadas en IoT permite recopilar datos continuos para conocer cómo se comportan los edificios y tomar decisiones basadas en datos para mejorar la calidad del aire interior, el consumo de energía y la huella de carbono (Evans, 2011). IoT permite la recopilación de grandes cantidades de datos que, debidamente transmitidos y procesados (a través de la nube o en las instalaciones in situ), se convierta en información significativa (van der Meulen, 2015). Esta información, convenientemente visualizada y analizada, genera conocimiento, induce retroalimentación en la adquisición y procesamiento de datos y, lo que es más importante, permite tomar decisiones inteligentes basadas en datos valiosos (Ashraf et al., 2015). Además, el monitoreo de IoT ofrece soluciones configurables de manera personalizada para cada caso y contexto específico: una característica clave que se integra en los edificios desde una perspectiva rentable y complementa las infraestructuras preexistentes para mejorar su rendimiento. IoT es uno de los paradigmas tecnológicos destinados a aumentar exponencialmente con un alto impacto en el comportamiento diario de los

usuarios potenciales (Atzori et al., 2010). Sin embargo, dado que esta área de investigación es un campo emergente, la literatura disponible sigue siendo limitada.

Tang et al. (Tang et al., 2019) realizaron una revisión exhaustiva detallando el potencial de conectar la Modelización de Información de Edificios (BIM) y edificios inteligentes con fuentes de datos basadas en IoT, pero asumiendo que este alcance es un desarrollo relativamente nuevo. Lawaň revisó varios ejemplos de implementación de IoT (en los últimos cinco años) en edificios residenciales y comerciales (Lawal & Rafsanjani, 2022). Poongothai et al. desarrollaron un sistema en un laboratorio de IoT para monitorear las actividades generales del laboratorio (Poongothai et al., 2018). El valor diferencial de las contribuciones científicas de esta investigación es resaltar los ecosistemas de IoT como elementos clave para convertir un edificio en una fábrica de aprendizaje, es decir, entiende que, en cierta manera, un edificio construido puede asemejarse a un laboratorio del que extraer información, hacer pruebas y obtener resultados significativos aplicables a otros edificios con similar contexto. En este sentido, los edificios universitarios son especialmente adecuados como plataforma de pruebas experimentales para situaciones actuales y futuras debido a su heterogeneidad, variedad de usos (aulas, oficinas, laboratorios, salas de estudio, comedores, etc.), estacionalidad, alta variabilidad en la ocupación y densidad de personas, altas demandas de energía, diversidad de sistemas de gestión y otros factores múltiples. En este contexto complejo, el aprendizaje implica un rendimiento: aprender haciendo. Por lo tanto, la metodología propuesta (a partir de una intervención real en el entorno construido a través de un ecosistema de IoT diseñado, implementado y desplegado) constituye una fábrica de aprendizaje en un ciclo continuo para su aplicación directa en trabajos académicos, proyectos de investigación e iniciativas institucionales, extensible a entornos profesionales, edificios terciarios y ciudades inteligentes, enfocado en la eficiencia energética, la IAQ y los patrones de comportamiento (tanto de edificios como humanos).

En lo que respecta a la eficiencia energética, en el contexto actual donde el cambio climático y la degradación ambiental son un grave desafío global (IPCC, 2022; United Nations, 2024) la eficiencia energética es esencial para contribuir a la descarbonización y para limitar, como se estableció en el Acuerdo de París en 2015, el aumento de la temperatura global a 1.5°C (European Commission, 2016). Algunos artículos en la literatura estudian sistemas de monitoreo continuo con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en edificios (Oti et al., 2016; Sesana & Salvalai, 2018; United Nations, n.d.). Batista et al. (Batista et al., 2014) utilizaron un sistema de control de equipos para investigar el rendimiento del sistema de aire acondicionado de un pequeño auditorio en Brasil, logrando una reducción del 20% en el consumo de energía y mejorando la comodidad térmica. Más recientemente, (Piselli & Pisello, 2019) monitorea la ocupación en un edificio de oficinas con el objetivo de desarrollar modelos de ocupación y determinar su impacto en el rendimiento energético del edificio. En cuanto al confort térmico, Li et al. (Li et al., 2020) realizaron análisis de correlación basados en mediciones continuas de confort térmico en cuatro edificios de oficinas en Australia, respaldando el uso de tecnologías de monitoreo continuo para la evaluación a largo plazo del confort térmico. Además, se han identificado varias acciones clave para mejorar la gestión operativa de los edificios y reducir su demanda de energía, como herramientas de calificación y divulgación (Fokaides et al., 2020), auditorías energéticas (Balaras et al., 2019), sistemas de gestión energética (Oti et al., 2016), controles inteligentes y pasaportes de edificios (Sesana & Salvalai, 2018).

En relación con la Calidad del Aire Interior (IAQ), la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de 100 enfermedades están asociadas con los efectos de entornos insalubres. En este contexto, las Naciones Unidas (ONU) han establecido diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para 2030 (United Nations, n.d.), prestando especial atención a la calidad del aire (General Secretariat of the Council, 2019a). Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la IAQ se refiere a la calidad del aire interior, pero también alrededor de los edificios y estructuras humanas, especialmente en relación con la salud y comodidad de los ocupantes del edificio (United States Environment Protection Agency (EPA), 2022). Una buena IAQ está muy relacionada con el bienestar, comodidad, salud y productividad a las personas. Algunas recomendaciones para mejorar la IAQ son (ASHRAE, 2022): elegir materiales de construcción y mobiliario con tasas bajas de emisión de contaminantes (en edificios nuevos o renovaciones), reducir las fuentes de emisiones contaminantes (estufas, productos de limpieza), purificar el aire (mediante filtración de partículas, eliminación de gases contaminantes y control microbiológico) y ventilar el interior de los edificios (lo que permite diluir cualquier tipo de contaminante, mediante el suministro de aire exterior). Aunque la IAQ no está exclusivamente relacionada con la concentración de CO₂ (Persily, 2022), algunos artículos relacionan la ocupación con la concentración de CO₂ por lo que proponen las tasas de ventilación necesarias para mantener la concentración por debajo de un nivel establecido (Batterman, 2017; Franco & Leccese, 2020; Franco & Schito, 2020; Justo Alonso et al., 2022; Kabirikopaei & Lau, 2020a, 2020b; Morawska et al., 2021). La Comisión Europea ha analizado las regulaciones existentes sobre IAQ en los diferentes países, así como las variedades de sistemas de ventilación existentes, concluyendo que todavía hay un progreso significativo por hacer en la medición y análisis cuantitativo de la IAQ (européenne et al., 2020). **Todos estos estudios destacan la necesidad de sistemas de monitoreo continuo para mejorar la IAQ en los edificios.**

Por lo tanto, dada la heterogeneidad y complejidad de los edificios (Çıdık & Phillips, 2021; Sun et al., 2015), para seguir avanzando en su conocimiento (especialmente enfocado en la eficiencia energética y la IAQ) y en sus relaciones con el comportamiento de las personas, es necesario complementar los estudios de simulación con mediciones reales cuantitativas. En los últimos 20-30 años, se han logrado avances notables en la simulación energética de edificios, pero se ha progresado mucho menos en términos de medición, análisis y comprensión del funcionamiento real y el rendimiento de los edificios. Numerosos estudios (Herrando et al., 2016; Uriarte et al., 2021; Zou et al., 2018) muestran que existe una gran diferencia entre los valores teóricos y los datos reales, lo que se ha llamado Brecha en el Rendimiento de los Edificios (BPG), especialmente en edificios universitarios heterogéneos con alta complejidad y ocupación variable. Estas diferencias se deben a las numerosas suposiciones simplificadoras requeridas para modelar y simular el comportamiento real de los edificios. Se han diseñado algoritmos para reducir la BPG (Ascione et al., 2022; Figueiredo et al., 2018; López-Ochoa et al., 2023). Todo esto revela que no solo es necesario simular edificios, sino también realizar un monitoreo continuo y un análisis de datos para comprender cómo se comportan y conocer su comportamiento real en condiciones operativas reales.

Además, en este contexto tecnológico donde los edificios pueden entenderse como procesos dinámicos complejos, los avances en el Control Predictivo de Modelos (MPC, por sus siglas en inglés) son muy interesantes para analizar cómo variables como la ocupación, el clima, la orientación, la infiltración (permeabilidad del aire), la inercia térmica y los

sistemas de HVAC. Estos modelos permiten una interacción entre sistemas para mejorar la eficiencia energética y la IAQ (Taheri et al., 2022). Para seguir desarrollando el MPC, es clave contar con datos de calidad, es decir, estructurados, para cuya obtención sistemática desde nuestra perspectiva, es necesaria la implantación de ecosistemas de IoT. Además, en los últimos años, modelos computacionales basados en Redes Neuronales Recurrentes (RNN, por sus siglas en inglés), ya utilizadas para predecir el CO₂ y la temperatura son un área de investigación que ha experimentado un crecimiento significativo. En (Tian et al., 2022) se muestra que un modelo de regresión lineal no puede predecir los indicadores del entorno interior con alta precisión, concluyendo que se necesitan modelos complejos basados en redes neuronales. En (Tagliabue et al., 2021), se utilizó la RNN para predecir los niveles de CO₂ utilizando 10 semanas de mediciones: el 75% de estos datos se usó para entrenar la red y el 25% restante como prueba. En (Afroz et al., 2022), se propone un enfoque de modelado y optimización para minimizar el consumo de energía asegurando la IAQ correcta y desarrollando modelos predictivos en tiempo real para predecir parámetros ambientales interiores (humedad, temperatura, CO₂) y consumo de energía, utilizando redes neuronales y logrando una fiabilidad muy alta.

Desde todo este contexto, esta investigación propone varias premisas y objetivos.

- Se considera que un entorno construido se puede comprender como un sistema complejo donde los ecosistemas de IoT son tecnologías habilitadoras clave para avanzar hacia estrategias transversales para mejorar la eficiencia energética y la IAQ.
- Implementar un ecosistema IoT supone hacer posible la obtención de datos funcionamiento de un edificio y de sus habitantes, fundamental para construir patrones de comportamiento tanto de sus usuarios como del propio edificio. De aquí que se proponga el concepto de "fábrica de aprendizaje" (del latín, *factorium*, "lugar de hacedores, fabricantes").
- Otro aporte es entender los ecosistemas de IoT como soluciones rentables con un ciclo de mejora continua donde: se adquieren datos (de mediciones reales a través de sensores conectados), se analiza información en tiempo real (para mejorar las operaciones: mantenimiento, programación, etc.) y se construye conocimiento (para tomar decisiones basadas en datos). Además, el conjunto de datos es abierto y público para su uso por terceros, lo que contribuye a la comunidad científica en sus estudios de investigación.

Con estos objetivos, se analizan transversalmente los principales factores involucrados en la realidad de los edificios para considerar a IoT como tecnologías habilitadoras clave hacia el desafío de los entornos inteligentes. Además, se propone un esquema funcional detallado del ecosistema de IoT aplicado al entorno construido (como sistemas complejos) centrado en la eficiencia energética y la IAQ. Solo de forma muy inicial y somera, a modo de ejemplo se muestran varios resultados de experimentos a escala de edificio. En este caso se centran en la monitorización de CO₂ y consumo de energía a través de instalaciones reales. Para promover IoT como clave para comprender la complejidad de los edificios y contribuir, como prueba de concepto, se presenta una propuesta de predicción de CO₂ y temperatura basada en redes neuronales. Finalmente, se establecen unas conclusiones

en las que se describen las contribuciones científicas del trabajo desde un punto de vista crítico y propone estudios de investigación adicionales.

Edificios y IoT, realidad y oportunidades de desarrollo.

La estrategia de la Unión Europea "Renovation wave for Europe" sostiene que una tendencia de renovación para Europa permite "greening our buildings, creating jobs, and improving our lives". Su objetivo es duplicar las tasas anuales de renovación energética en los próximos diez años. En 2014-2020, la UE asignó aproximadamente 14 000 millones de euros para mejorar la eficiencia energética de los edificios (European Commission, 2020b). Además, los Estados miembros presupuestaron 5.400 millones de euros en cofinanciamiento nacional para la mejora de todo tipo de edificios. Estas renovaciones se pretende mejorar la calidad de vida de las personas que viven o usan los edificios, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y crear hasta 160.000 empleos "green" adicionales en el sector de la construcción. Pero los desafíos hacia el nuevo paradigma de los entornos inteligentes enfrentan la realidad del entorno construido actual, marcado por los siguientes factores principales: edad, infraestructuras, electrificación, contexto climático y urbano, demanda de energía, diversidad de partes interesadas y complejidad.

Edad. La UE estima que el 75% del stock de edificios es ineficiente y tiene en promedio más de 40 años (European Commission, 2020b). Los edificios en todo el mundo (principalmente en Europa), cuando están diseñados, construidos, renovados y mantenidos adecuadamente, son estructuras duraderas capaces de proporcionar a sus ocupantes las condiciones interiores más adecuadas, frente a impactos de temperaturas muy altas o frías, y con bajo costo energético. Como se detalla en la Tabla 1 (de Eurostat (European Commission, 2020b)), la edad promedio de los edificios en Europa es (en años): +75 (22,3%), 45-75 (44,1%), 25-45 (22,1%) y -25 (9,8%). Solo en un país como España, hay alrededor de 10 millones de edificios (9.730.999 viviendas y 83.786 para otros usos) con una edad promedio de 37 años (European Commission, 2020b). Además, el porcentaje de construcción nueva (34.000 edificios nuevos) es mínimo en comparación con el número total (0,34%): se necesitarían más de 300 años para su renovación completa.

Table 1. Distribution of dwellings (% of all dwellings) by period of construction, (national averages and capital city regions). Source: Eurostat [57].

Country	Capital City Region	Period of Construction							
		Before 1976		1946–1980		1981–2000		2001–Onwards	
		National Average	Capital Region	National Average	Capital Region	National Average	Capital Region	National Average	Capital Region
EU-28		22.3	—	44.1	—	22.1	—	9.8	—
Belgium	Arr.Bruxelles / Arr.van Brussel-Hoofdsta	37.1	51.7	38.2	37.0	16.5	7.1	8.2	4.1
Bulgaria	Sofia (stolitsa)	10.5	5.6	55.4	45.8	25.5	3.2	8.6	15.4
Czech Republic	Hlavní město Praha	19.0	29.4	37.1	30.4	20.5	20.7	7.7	7.4
Denmark	Byen København	34.1	68.1	44.6	21.8	14.0	5.7	7.2	4.4
Germany	Berlin	24.3	42.3	46.5	36.3	23.1	19.2	6.1	2.1
Estonia ⁽¹⁾	Põhja-Eesti	17.0	12.0	47.1	47.3	22.8	23.2	9.4	15.2
Ireland	Dublin	13.0	13.9	22.9	30.8	20.7	20.2	22.0	18.0
Greece	Attik	7.6	2.4	47.8	55.1	29.1	27.1	15.5	15.3
Spain Madrid	Madrid	11.1	8.0	43.0	50.3	24.7	24.2	18.5	14.9
France	Paris	28.7	59.7	37.0	26.0	23.9	11.7	10.4	2.5
Grad Zagreb	roastia	13.6	13.7	42.5	43.3	23.6	22.3	11.0	17.0
Italy	Roma	20.7	12.3	51.4	60.1	19.8	20.4	7.9	7.1
Cyprus	Kýpros	3.0	—	24.6	—	36.1	—	34.1	—
Latvia	Riga	22.7	23.5	46.6	48.4	24.3	21.7	5.1	6.1
Lithuania	Vilniaus apskritis	13.6	12.7	49.6	43.3	28.9	30.2	6.2	12.6
Luxembourg	Luxembourg	21.8	—	31.5	—	21.6	—	14.0	—
Hungary	Budapest	20.3	33.2	48.3	38.0	21.7	17.3	9.7	11.6
Malta	Malta	13.0	13.5	23.2	24.3	23.4	24.1	8.7	9.1
Netherlands	Groot-Amsterdam	18.9	32.7	41.9	29.7	26.4	25.0	9.5	10.1
Austria ⁽²⁾	Wien	25.5	42.4	40.1	35.4	22.7	14.6	11.7	7.6
Poland	Miasto Warszawa	19.1	10.3	43.0	49.1	22.7	16.1	11.4	17.8
Portugal	Grande Lisboa	10.7	9.8	37.1	46.0	36.0	31.4	16.3	12.8
Romania	Bucuresti	11.2	7.7	59.1	60.3	19.0	23.3	8.0	5.5
Slovenia	Osrednjeslovenska	21.3	16.6	45.0	47.9	25.0	23.7	8.7	11.8
Slovakia	Bratislavský kraj	8.2	8.7	52.6	48.0	21.5	23.5	5.8	11.3
Finland	Helsinki-Uusimaa	9.6	12.1	48.7	44.3	29.7	29.8	10.7	12.8
Sweden	Stockholms län	24.3	23.8	47.7	44.1	12.3	12.4	4.6	6.8
United Kingdom ⁽³⁾	Inner London ⁽⁴⁾	37.8	57.7	39.7	26.6	15.6	10.4	6.9	5.3
Iceland	Hofuðborgarsvæði	11.5	10.3	44.5	42.9	25.1	27.1	18.9	19.6
Liechtenstein	Liechtensteir	9.7	—	38.0	—	33.1	—	16.0	—
Norway	Oslo	16.8	31.0	41.3	38.7	23.2	20.0	12.7	10.0
Switzerland	Bern	26.6	32.3	41.1	41.2	21.5	18.3	10.8	8.2

⁽¹⁾ Also comprises dwellings in uncompleted buildings, in those case where a residential building under construction; ⁽²⁾ Before 1945 instead of before 1946. 1945–1980 instead of 1946–1980; ⁽³⁾ Low reliability; ⁽⁴⁾ Average of Inner London—West (NUTS UK11) and of Inner London—East (UK12).

Infraestructuras. Aunque muchos edificios cuentan con algún tipo de sistema para regular su temperatura interior, solo un pequeño conjunto ofrece un sistema HVAC completo; dentro de ese conjunto, a su vez, solo un bajo porcentaje incluye sensores inteligentes, y solo un mínimo de ese porcentaje integra esos sensores en ecosistemas de IoT. Esto afecta especialmente a los edificios no residenciales (por ejemplo, instituciones públicas, gobierno, servicios, etc.), en su mayoría ubicados en edificios monumentales antiguos que carecen de sistemas HVAC. Desde el punto de vista de la ingeniería de sistemas HVAC, los edificios históricos que no han sido afectados por trabajos de mantenimiento recientes ya sean ordinarios, extraordinarios o preventivos, generalmente están equipados con equipos obsoletos. En muchos edificios, la envolvente térmica es ineficiente. Los sistemas de calefacción y aire acondicionado actuales podrían ser reemplazados, suponen una alta inversión, por lo que hay que disponer de estrategias precisas sobre el sistema energético más adecuado para cada contexto.

Tecnologías de IoT. De todas las características técnicas de las tecnologías de IoT, en este contexto es importante destacar tres características clave. El costo es mínimo en comparación con los costos económicos requeridos para cualquier intervención a escala de edificio. Las tecnologías inalámbricas de IoT permiten capacidades muy altas con muy bajo número de sensores, con duraciones de años (incluso baterías fotovoltaicas), sin necesidad de cableado (ni para la energía ni para las comunicaciones), y con bajo impacto en las infraestructuras (colocando sensores en paredes, ventanas o techos). Sin embargo, los ecosistemas de IoT requieren personal técnico altamente calificado, gestión continua (calibración, monitoreo), gerentes con capacitación en digitalización y analistas con visión basada en datos para obtener conclusiones operativas. Por otro lado, las tecnologías de IoT ya son maduras y utilizables. Aunque una vez implementadas, requieren muy poco mantenimiento y proporcionan datos en tiempo real, muy representativos del rendimiento del edificio, requieren personal cualificado y grupos de trabajo capaces de procesar y analizar grandes cantidades de datos.

Electrificación. La emergencia climática y la dependencia de los combustibles fósiles han promovido políticas para reemplazar las calderas en los edificios con sistemas de bombas

de calor. Siguiendo la EPBD, la Comisión Europea propone que todos los edificios nuevos no produzcan emisiones a partir de 2028, así como la eliminación de los combustibles fósiles a partir de 2035, siendo reemplazados por sistemas de bombas de calor basados en electricidad o hidrógeno (mezclados, con gas natural o residuos), aunque algunos informes descartan que esto sea factible a gran escala (Korberg et al., 2023; Rosenow, 2022). Por lo tanto, el monitoreo continuo proporcionado por el ecosistema de IoT se revela como la mejor opción para que los sistemas HVAC (basados en energía eléctrica) ajusten su regulación al entorno, el consumo, el comportamiento y las energías renovables. Además, los sistemas de edificios cuyo funcionamiento es eléctrico son mucho más fáciles de regular (que los sistemas basados en la combustión) y permiten ajustes en relación con la demanda de energía tanto a escala de edificios como a escala de la ciudad.

Contexto climático y urbano. El contexto climático y energético actual involucra condiciones límite secuenciadas: (1) las temperaturas extremas implicarán eventos climáticos extremos, (2) aumentará la demanda de equipos de aire acondicionado y calefacción, (3) eso producirá un aumento en la demanda de energía, (4) en un entorno construido envejecido que en su mayoría es ineficiente energéticamente, (5) sin un sistema de monitoreo o gestión. Además, las tendencias urbanas señalan que, en 2030, el 50,9% vivirá en ciudades, el 26,9% en áreas urbanas y semiurbanas y solo un 20,6% en áreas rurales (Commission & Centre, 2021). Esta combinación entre el envejecimiento de la población y los ecosistemas altamente urbanizados significa que la población es más vulnerable al calor y que la demanda de enfriamiento en los edificios está aumentando rápidamente. Todo esto requiere una intervención en los edificios para examinar elementos clave de la política de enfriamiento sostenible y sus posibles impactos en grupos vulnerables al reducir los riesgos para la salud, las desigualdades y la pobreza energética en verano. En la UE en 2022, en comparación con 1979, la necesidad de calefacción de un edificio dado fue aproximadamente dos décimas menores. A su vez, la necesidad de enfriar un edificio es casi cuatro veces mayor (Eurostat Statistic Explained, 2023). En el verano de 2022, con sucesivas olas de calor prolongadas y altos precios de la energía, el estrés por calor creó una sensación de urgencia para adquirir dispositivos de aire acondicionado. Pero existe una brecha entre el conocimiento sobre el sobrecalentamiento en los edificios y el porcentaje de ciudadanos de la UE que no pueden mantener sus hogares cómodamente frescos durante el verano. Este crecimiento en el confort térmico y los entornos saludables implica un crecimiento en la demanda de energía, todo ello a pesar de la situación actual de restricciones económicas, los mayores costes de la energía y las consecuencias de las emisiones en la sociedad, el medio ambiente (Quefelec, 2022). Por lo tanto, los ecosistemas de IoT, como se propone en esta investigación, proporcionan estrategias transversales para planificar este contexto complejo y elegir soluciones personalizadas para cada situación específica.

Demanda de energía y IAQ. El crecimiento en la necesidad de confort térmico y una mejor calidad del aire interior implican un aumento en la demanda de energía. Estas implicaciones ambientales pueden estimarse en +212,0 % del uso de energía para enfriar edificios residenciales desde 2010 hasta 2019 (International Energy Agency, 2018). Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los edificios carecen de sistemas de aire acondicionado y ventilación. Solo recientemente los edificios están diseñados con

criterios de eficiencia energética (European Commission, 2020). Por lo tanto, son necesarias diversas acciones, todas ellas habituales en arquitectura como la renovación de la envolvente del edificio, la instalación de paneles fotovoltaicos, la mejora de los sistemas de climatización, el implementación de estrategias pasivas, la utilización de sistemas eficientes de aire acondicionado, la instalación de sistemas de ventilación, el impulso de políticas de revegetación urbana (para evitar los efectos de isla de calor y las temperaturas extremas), el acceso a las energías renovables, construir en entornos más verdes con menor densidad de tráfico, entre otros. Sin embargo, todas estas estrategias conllevan costes económicos elevados, son difíciles de acceder para grupos vulnerables y pueden implican desigualdades sociales y pobreza energética. Por lo tanto, las estrategias basadas en IoT, como se propone en esta investigación, representan una propuesta rentable, técnicamente factible y socialmente accesible. Contrariamente al desarrollo habitual de edificios inteligentes, especialmente en edificios públicos y áreas urbanas ocupadas por grupos vulnerables.

Diversidad de partes interesadas. Los edificios están interconectados en varias escalas y niveles (ver Tabla 2): espacio (local), edificio (comunidad), vecindario (intra-local), ciudad (local), región (intra-nacional), país (nacional) y zona (inter-nacional). Por lo tanto, la implementación generalizada de estrategias transversales de IoT en todas las escalas es clave para comprender el comportamiento del edificio en relación con el comportamiento humano, al obtener información precisa para tomar decisiones basadas en datos en diferentes niveles:

- Para los usuarios, IoT mejora los sistemas de climatización con bajo costo, tiempo e impacto.
- Para los arquitectos, IoT mejora el conocimiento para un diseño de arquitectura basado en evidencia sobre el comportamiento real de los edificios y los usuarios (superando la brecha entre valores teóricos y datos reales).
- Para los ingenieros, IoT facilita el estudio del sistema de energía más adecuado para cada edificio de acuerdo con su ubicación, orientación, diseño, tipología de espacios, usos, etc.
- Para los urbanistas, extrapolado a la escala urbana y combinado con Sistemas de Información Geográfica (SIG), IoT proporciona estrategias generales por zonas.
- Para los geógrafos, superando la escala urbana, IoT aprende comportamientos sociales, patrones y tendencias, etc.
- Para epidemiólogos y médicos, IoT permite correlacionar la propagación de ciertas enfermedades con la calidad del aire interior y los parámetros y tendencias ambientales.
- Para instituciones locales, nacionales e internacionales, IoT comparte datos sobre patrones de comportamiento para implementar estrategias de rehabilitación, energía, gestión, etc. para energía, electricidad, CO₂, etc.

Complejidad. El aumento de la información, los avances tecnológicos, la interconexión global, el crecimiento de la población y los desafíos ambientales, biológicos y socioeconómicos generan sistemas más interdependientes que son difíciles de entender en su totalidad. La adquisición y medición de datos proporcionan información empírica y

cuantitativa para comprender y caracterizar aspectos clave de la realidad bajo estudio. El monitoreo y análisis de datos permiten identificar patrones, relaciones, dinámicas y nuevas características emergentes que revelan las interdependencias más significativas, la diversidad y la estructura dentro de un sistema. Así, las soluciones impulsadas por IoT permiten evaluar la adaptabilidad del sistema y comprender cómo diferentes variables interactúan entre sí y afectan el comportamiento general del sistema, entre otros factores clave.

Table 2. Scaling the built environment and its types of users to understand IoT as learning factory.
Source: own; from several studies, such as [1,2,7], among others.

Scale (Level)	Stakeholders	Services for Users	IoT Functionalities
Space (personal)	User	Knowledge of environmental parameters (IAQ, temperature, humidity, occupancy) of specific spaces based on their activities, habits, and preferences.	Automation based on user behavior patterns. Adjustment of HVAC systems to certain environmental parameters, energy prices, renewable energy production, etc.
Building (community)	Architect	Design based on buildings behavior patterns according to each specific feature.	Smart design based on real data obtained from IoT monitoring and integration of passive and active building systems.
	Engineer	Design of the most appropriate energy solution based on the behavior parameters of building and users and available energy sources. Choice of the best combination between on-site renewable energy generation systems, air condition needs, and type of HVAC solution.	Real-time adaptation to multiple and diverse situations that can occur within a building.
Neighborhood (intra-local)	Urbanist	Appropriate solutions for each specific situation, to propose the best energy strategy and/or energy rehabilitation of new/existing neighborhoods.	Continuous monitoring of neighborhoods to obtain data and behavior patterns with which to characterize local policies and automatic systems customized to the neighborhood scale.
City (local)	Local institutions	Urban policies and plans to implement adequate and customized solutions for each city.	Smart infrastructures. Smart environments. Smart governance. Smart cities.
Region (intra-national)	Epidemiologist Doctor	Correlation of IAQ and environmental parameters with the spread of certain diseases.	Simulation and evaluation of different data-driven public health policies.
Country (national)	National institutions	Data from behavior patterns to develop global strategies for energy rehabilitation, electric production, and CO ₂ management.	Simulation of scenarios and evaluation of the national strategies about the built environment with social implications.
Zone (inter-national)	International institutions	Data to implement global strategies for energy consumption based on energy availability, social equality, and climate change.	Simulation of scenarios and evaluation of the international strategies about the built environment with social implications.

Metodología propuesta. IoT como estrategia transversal

Siguiendo la teoría del conocimiento que establece que "todo fluye, está en permanente evolución... nada es estático, todo es dinámico: cada entidad u objeto es un proceso complejo", un edificio puede definirse como un conjunto de procesos interconectados y dinámicos que proporcionan un hábitat humano. Además, la gran cantidad de sistemas, servicios, funcionalidades, parámetros, métricas, etc., que operan en un edificio suponen una complejidad para entenderlo en su totalidad y prever cómo se comportará y evolucionará. Desde estas dos aproximaciones, un edificio puede definirse como un sistema complejo (ver elemento central en la Figura 1).

En todo caso, los edificios no están aislados. Como se mencionó anteriormente, los edificios están interconectados a diferentes escalas y niveles (vecindario, ciudad, región, etc.), formando comunidades. Y, en estos niveles interconectados, fluye la información y se comparte el conocimiento. Por lo tanto, las iniciativas basadas en IoT las consideramos imprescindibles para desarrollar estrategias transversales como se enfatiza en la EPBD (Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings, 2021): "[...] promotion of

smart technologies and infrastructure for sustainable mobility in buildings [...], "... integration of smart charging services enable the energy system integration of buildings". En este contexto, es esencial comprender las relaciones entre los edificios y sus comunidades (urbanas y rurales, ciudades y pueblos, etc.) que conforman el entorno construido (ver Figura 1). A su vez, esta escala territorial también constituye un sistema complejo entendido como la interconexión de edificios utilizados por muchas personas, también interconectados entre sí y con el contexto ambiental. Como señala la EPBD: "In order to digitalize the building sector, the Union's connectivity targets and ambitions for the deployment of high-capacity communication networks are important for smart homes and well-connected communities".

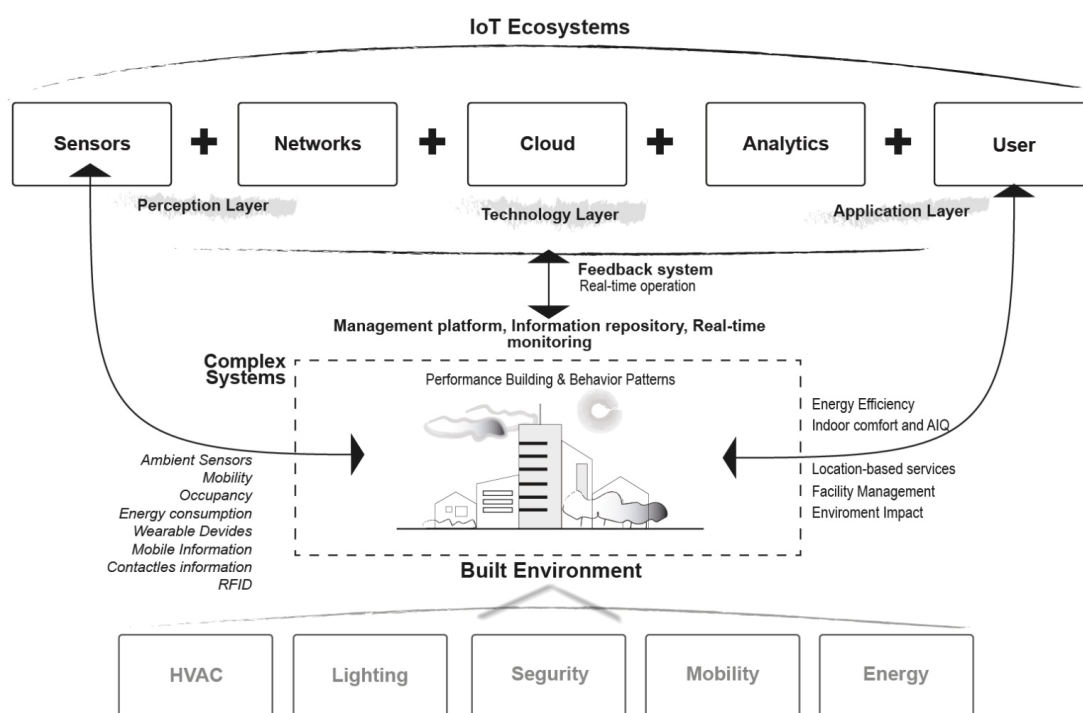


Figura 1. Ecosistema IoT en edificios como sistema complejo.

Estos conceptos del rendimiento de los edificios y sus patrones de comportamiento (ver Figura 1) llevan a entender IoT como tecnologías habilitadoras para parametrizar cuantitativamente los Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) del entorno construido. Como refuerza la EPBD a partir de 2026 (artículo 13) con el Smart Readiness Indicator (SRI) (European Commission, 2022; Martínez et al., 2021) como un parámetro esencial para concienciar a los propietarios y ocupantes de los edificios sobre el valor oculto en la automatización de edificios y la supervisión digital de los sistemas técnicos del edificio, proporcionando ahorros energéticos gracias a las nuevas características inteligentes como IoT (European Commission, 2020). En resumen, avanzar hacia el paradigma de los gemelos digitales implica integrar ecosistemas de IoT en comunidades inteligentes (edificios, ciudades, etc.) para adquirir datos (a través de mediciones reales), compararlos y convertirlos en información con el fin de generar conocimiento para tomar decisiones basadas en datos.

Basado en nuestra experiencia y la bibliografía, se propone un esquema funcional de un ecosistema de IoT formado por 5 módulos agrupados en 3 capas (ver área superior de la

Figura 1): percepción (que incluye sensores y redes), tecnología (nube) y aplicación (analíticas y usuario). Cada uno de estos 5 módulos se detalla de la siguiente manera:

- **Sensores.** Existe una gran variedad de sensores para medir parámetros de interés en edificios, como (ver área izquierda de la Figura 1): sensores ambientales (CO_2 , temperatura, humedad), movilidad, ocupación, consumo de energía, dispositivos portátiles, información móvil, información sin contacto (como etiquetas de Identificación por Radiofrecuencia (RFID)), etc. Este trabajo, al estar centrado en la eficiencia energética y la calidad del aire interior, incluye sensores para medir el consumo de energía (kWh), el nivel de CO_2 (ppm), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la humedad (%) y la ocupación (personas). Los espacios de monitoreo se han seleccionado y etiquetado de manera representativa según sus características clave, como: ubicación (piso, edificio, campus), orientación (norte, sur, este, oeste), uso (aula, sala de estudio, oficina, laboratorio, biblioteca, comedor, etc.), tamaño (grande, mediano, pequeño), ocupación (alta, media, baja), etc. En el caso específico de la calidad del aire interior, aunque existe una amplia gama de compuestos, factores y situaciones que afectan la calidad del aire en un edificio, es posible controlar la ventilación mecánica mediante el uso de sensores de dióxido de carbono (CO_2). Estos sensores son fáciles de instalar y rentables, lo que facilita el monitoreo y la detección directa de la concentración de CO_2 para regular el intercambio de aire y el flujo de aire necesario. Además, la concentración de CO_2 se considera un indicador indirecto de la calidad del aire y de la presencia de ocupantes en un espacio cerrado. Cuando las personas exhalan, los niveles de CO_2 en el entorno aumentan de manera similar a la temperatura y a los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). En otras palabras, el monitoreo continuo de los niveles de CO_2 en un espacio permite el ajuste automático del flujo de aire en función de los niveles detectados. Además, el monitoreo continuo del CO_2 en interiores permite una gestión energética efectiva ajustando el suministro de los sistemas de climatización según la ocupación real del espacio.
- **Redes.** Los sensores recopilan datos. Estos datos recopilados se envían a los niveles de comunicación siguientes a través de varios dispositivos interconectados mediante sus tecnologías de conectividad asociadas. Hay dos estrategias principales: confiar en una infraestructura con cable centralizada en sistemas (SCADA) o utilizar protocolos inalámbricos dirigidos a la nube mediante pasarelas específicas, como la tecnología Wireless Fidelity (WiFi), 4G y la familia tecnológica de Low Power Wide Area Network (LPWAN), como SigFox, Narrow Band IoT (NB-IoT) y Low Range Wide Area Network (LoRaWAN). La Figura 2 muestra una comparativa de rendimiento para determinar la tecnología más adecuada con el fin de proponer infraestructuras homogéneas. Esta comparación muestra, entre otros aspectos, la importancia de la vida útil de la batería y la facilidad de reemplazo de esta. Como consecuencia del costo de mantenimiento mínimo y la mayor optimización energética y del rango de cobertura, la tecnología LoRaWAN fue seleccionada para implementar la plataforma IoT frente al resto de la familia tecnológica LPWAN. La especificación LoRaWAN es un protocolo de red diseñado para conectar de forma inalámbrica sensores con batería y servicios de comunicación bidireccional y localización, que aborda otros requisitos clave de IoT, como la seguridad de extremo a extremo, la alta interoperabilidad y los bajos costos mensuales debido a las tarifas de la red del proveedor.

- **Nube.** Los servicios de informática en la nube utilizan una capa de red (para conectar dispositivos remotos o protocolos industriales TCP-IP como MODBUS-TCP u OPCUA a través de sistemas SCADA) con recursos centralizados (centros de datos). Actualmente, existen diferentes tipos de nubes (pública, privada, híbrida) y nuevos modelos de servicios llamados X como Servicio (XaaS), donde X puede ser Software (SaaS), Plataforma (PaaS), Infraestructura (IaaS), entre otros. Con la popularización de los servicios en la nube, el número de dispositivos ha aumentado exponencialmente. Dado que los procesos críticos y a gran escala requieren cada vez más potencia computacional rápida y efectiva, surge un nuevo concepto: la computación en el borde (edge computing). Así, la computación en el borde se refiere a cómo se realizan los procesos computacionales en o cerca de los dispositivos periféricos (edge). Finalmente, surge un tercer concepto: la computación en la niebla (fog computing), para referirse a una estructura descentralizada en la que los recursos, incluidos los datos y las aplicaciones, se encuentran en un lugar lógico entre la nube y la fuente de datos. Debido a la amplia variedad de sensores y escenarios en edificios inteligentes, esta investigación ha utilizado tanto servicios en el borde (para mediciones de energía consideradas como big data) como servicios en la nube (para mediciones de calidad del aire interior consideradas como small data). El ecosistema de IoT desarrollado en este trabajo integra tres funcionalidades principales (ver área central de la Figura 1): una plataforma de gestión (para homogeneizar y controlar los datos adquiridos), un repositorio de información (siguiendo los principios de diseño de escalabilidad, flexibilidad y procesamiento de big data) y monitoreo en tiempo real (con información geoposicionada). Además, estas funcionalidades se interconectan con dos servicios clave (detallados anteriormente): técnicas analíticas (inteligencia artificial, aprendizaje automático, aprendizaje profundo y redes neuronales) y aplicaciones y servicios para la experiencia del usuario, para ofrecer variabilidad en la visualización e interacción a través de aplicaciones móviles, interfaces web, paneles de control de datos con KPIs y otros servicios de valor agregado.

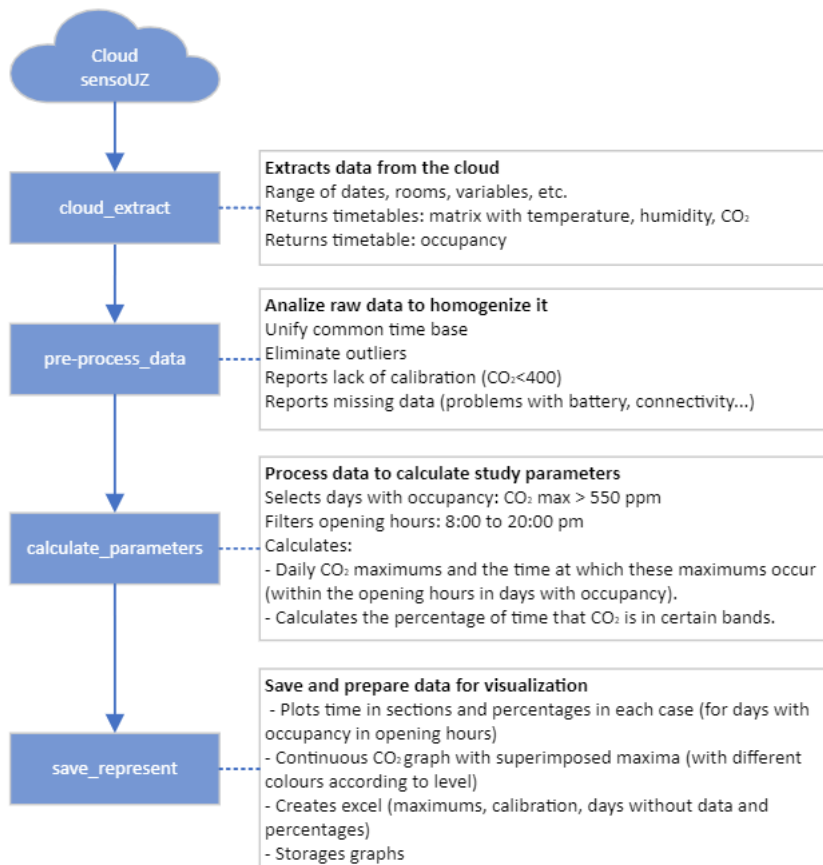


Figura 2. Propuesta de un sistema de gestión en nube.

- **Analíticas.** A partir de la información procesada y almacenada en la nube, existen muchas tecnologías analíticas para la extracción de factores clave, el intercambio de datos en tiempo real, el monitoreo remoto, etc. Esto es crucial, ya que proporciona acceso ubicuo, ya sea a través de plataformas o aplicaciones en línea, a niveles en tiempo real de CO₂, temperatura, ocupación y consumo de energía en un lugar específico, facilitando así el monitoreo y control de los KPIs, así como el posterior análisis tanto del comportamiento del usuario como del rendimiento del edificio. Además, la conexión de sensores a la infraestructura de IoT de un edificio permite la integración con otros sistemas, como (ver área inferior de la Figura 1): climatización, iluminación, seguridad (alarma, incendio, etc.), movilidad, gestión de energía, etc. Esto proporciona facilidades para la coordinación y optimización global de los sistemas del edificio y mejora su estructura al mejorar su eficiencia, seguridad, bienestar y comodidad.
- **Usuario.** A partir de todos los datos recopilados por los sensores y la información calculada por las analíticas, los sistemas de IoT visualizan el conocimiento. La generación de informes o la visualización de paneles de control ayuda a comprender mejor el comportamiento del entorno y respalda la toma de decisiones informadas sobre los sistemas de edificios mencionados anteriormente (climatización,

iluminación, seguridad, movilidad, gestión de energía, etc.). En este trabajo, el análisis combinado (a partir de CO₂, temperatura, humedad, ocupación y consumo de energía) permite el desarrollo de modelos de gestión de eficiencia energética y calidad del aire interior. Con ellos, es posible regular los sistemas de automatización y control inteligentes, tanto para los sistemas de ventilación como para los sistemas de aire acondicionado, basándose en los niveles de ocupación, la planificación de uso y las condiciones ambientales externas. Incluso permite el desarrollo de modelos que incorporan parámetros como el costo económico de la energía, la producción de energía renovable en el lugar, el comportamiento humano o el impacto ambiental del edificio. Además, los sistemas de IoT pueden enviar alertas o notificaciones en tiempo real cuando los KPIs alcanzan umbrales predefinidos y tomar medidas para corregir situaciones, garantizar un entorno saludable, etc.

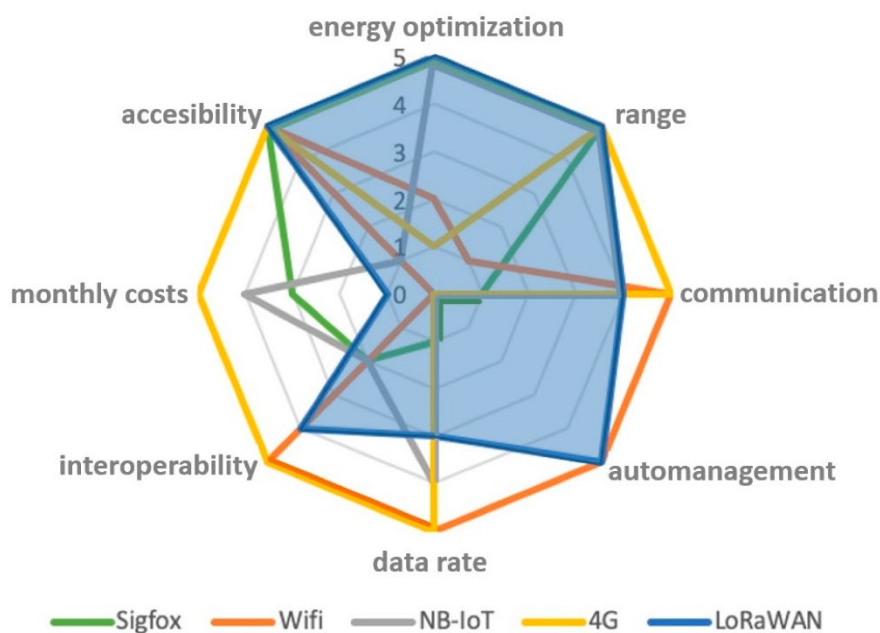


Figura 3. Comparación entre distintos sistemas de conectividad para los sistemas IoT. En este caso, LoRaWAN y LPWAN.

Las interconexiones entre todos los sistemas implicados en un edificio nos han permitido proponer que los edificios se comporten como sistemas complejos (ver área central de la Figura 1). En este sentido, se puede observar retroalimentación entre la información proporcionada por el conocimiento contextual IoT con la eficiencia energética, el confort interior y la calidad del aire interior en el contexto del impacto ambiental, la gestión de instalaciones y los servicios basados en la ubicación, entre otros. Dado que esta investigación se centra en la eficiencia energética y la calidad del aire interior, sus implicaciones en este contexto se detallan a continuación. Por un lado, la demanda de energía en un edificio se puede estimar a través de las regulaciones energéticas cuando se construyó. Sin embargo, varios factores clave (diseño, orientación, ubicación, uso) pueden producir variaciones significativas en el consumo (Herrando et al., 2016; Uriarte et al., 2021; Zou et al., 2018). Incluso en edificios nuevos, existen diferencias significativas entre la energía calculada y el consumo medido, reforzando la idea de llenar la brecha entre los valores teóricos y los datos reales (Herrando et al., 2016; Uriarte et al., 2021; Zou et al.,

2018). Por lo tanto, los datos proporcionados por los ecosistemas de IoT son esenciales para valorar la intensidad de estas interrelaciones y, en consecuencia, tomar decisiones basadas en este nuevo conocimiento adquirido.

Por otro lado, la calidad del aire interior (IAQ) en un edificio está directamente relacionada con la presencia de sistemas de ventilación eficientes capaces de introducir aire exterior fresco y filtrado mientras extraen el aire interior viciado. Estos dos parámetros pueden regularse mediante ventilación natural (ventanas, puertas, corrientes de aire, etc.), ventilación mecánica (filtros, difusores, dispositivos de recuperación de calor, etc.), enfoques híbridos e incluso renovación eficiente del aire a través de sistemas HVAC completos. Por lo tanto, las mediciones proporcionadas por los ecosistemas de IoT son clave para comprender el comportamiento de los sistemas HVAC, como tomar decisiones basadas en el conocimiento. Por lo tanto, un monitoreo continuo y en tiempo real del rendimiento del edificio (como el consumo de energía, los servicios HVAC y SCADA, los sensores ambientales, etc.), comparando con datos externos (como datos históricos del clima y pronósticos) e integrando con otras variables clave (como los niveles de energía renovable de los paneles fotovoltaicos), convierten a los ecosistemas de IoT en una gran fábrica de aprendizaje para comprender cómo funciona realmente un edificio en sus condiciones operativas.

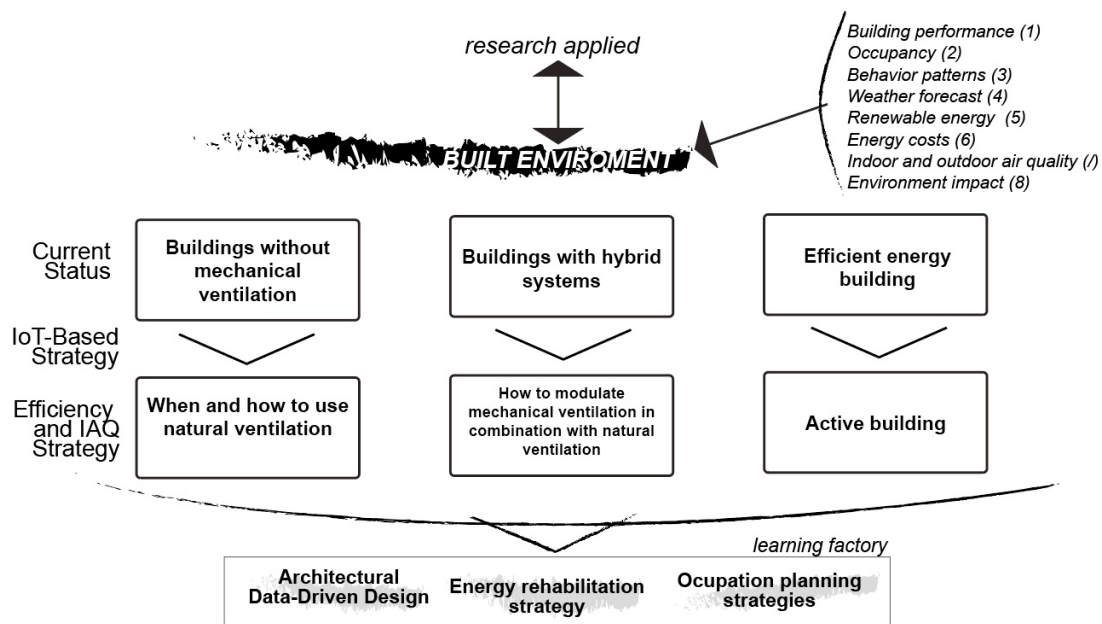


Figura 4. IoT como ecosistema clave para comprender la complejidad de los edificios.

EINA, factoría de aprendizaje

En este trabajo, se ha utilizado un campus universitario completo (con 3 edificios de 14,000 m² -para 1.000 estudiantes y 250 personal-, 21.000 m² -para 1.500 estudiantes y 350 personal-, y con 27.000 m² -para 2.000 estudiantes y 450 personal) como fábrica de aprendizaje de IoT. Para hacer correctamente este aprendizaje, como se muestra en la Figura 3, es esencial comprender el estado actual del entorno construido, que incluye tres tipologías generales de edificios en relación con la ventilación y la eficiencia energética:

1. **Edificios sin ventilación mecánica**, con deficiencias en su aislamiento tanto en la transmitancia térmica de la envolvente del edificio como en la permeabilidad al aire.
2. **Edificios con sistemas híbridos**, que incorporan sistemas de ventilación y aire acondicionado, ya sean mecánicos o híbridos, sin sensores de CO₂, pero con controles de temperatura en varios espacios interiores y con grandes flujos de aire no controlados (ya sea a través de ventanas abiertas, puertas abiertas, materiales ineficientes, etc.).
3. **Edificios eficientes en energía**: una minoría de edificios que integran sistemas HVAC, incluido un alto aislamiento térmico, ventanas de alto rendimiento, equipos de recuperación de calor y materiales de muy baja permeabilidad.

En la mayoría de los casos, en ninguna de estas tipologías se despliegan previamente ecosistemas de IoT. Por lo tanto, a partir de estos tres tipos de edificios mencionados, la mejora de los factores clave en el rendimiento del edificio implica estrategias de eficiencia y calidad del aire interior:

- Sustitución de la envolvente del edificio para reducir tanto la transferencia de energía como la permeabilidad al aire.
- Sustitución de los sistemas HVAC actuales por soluciones más eficientes, el diseño de una red de ventilación, con doble flujo y sectorización, e incorporar sistemas de recuperación de calor.
- Integración de un sistema de gestión y control inteligente a través de ecosistemas de IoT.

Las dos primeras estrategias son conocidas, pero involucran procesos de rehabilitación y renovación con costes económicos muy altos e impactos significativos en los usuarios y los edificios. Por lo tanto, como es poco probable que sean asumidas por usuarios individuales, ya que requieren inversiones públicas significativas. La tercera estrategia, compatible con las dos primeras, se basa en la implementación de monitoreo continuo a través de ecosistemas de IoT (como se propone en este trabajo) y podría ser la solución apropiada en términos de rentabilidad, viabilidad técnica y accesibilidad social; especialmente para edificios públicos y áreas urbanas ocupadas por grupos vulnerables. Como se muestra en la Figura 3, el valor agregado de las estrategias basadas en IoT es:

- **En edificios sin ventilación mecánica**, IoT ayuda a mejorar la calidad del aire interior mediante la detección de concentraciones potencialmente peligrosas de CO₂ (a través de alarmas o indicadores visuales) y ajusta cuándo y cómo usar la ventilación natural, en combinación con los sistemas HVAC disponibles, de acuerdo con las condiciones interiores y exteriores. Permite la minimización manual de las pérdidas de energía mientras se minimizan los riesgos para la salud.
- **En edificios con sistemas híbridos**, IoT permite el control inteligente de los sistemas, ya sean centralizados o específicos para cada espacio. Por lo tanto, IoT proporciona a los usuarios conocimientos sobre cómo modular la ventilación mecánica y los sistemas HVAC en combinación con la ventilación natural, de acuerdo con las condiciones interiores y exteriores, y con respecto al contexto ambiental.

- **En edificios eficientes en energía**, IoT permite el ajuste preciso e inteligente de los sistemas HVAC, avanzando hacia el paradigma de edificio activo. IoT informa a los usuarios cuándo seleccionar la ventilación natural, esencial para conectar a las personas con el entorno.

En todos los casos, la integración de ecosistemas de IoT en el entorno construido conduce a aprender, modelar y visualizar cuándo los sistemas del edificio (gestión, operación, producción, distribución, etc.) son más eficientes, de acuerdo con sus KPIs como (ver área superior derecha en la Figura 3): (1) rendimiento del edificio, (2) ocupación, (3) patrones de comportamiento, (4) pronóstico del clima, (5) energía renovable, (6) costos de energía, (7) calidad del aire interior y exterior, y (8) impacto ambiental.

Todos estos conceptos muestran que los ecosistemas de IoT son clave para comprender el comportamiento del edificio en relación con el comportamiento humano. Además de ajustar mejor los sistemas de climatización a través de la automatización proporcionada por SCADA, por ejemplo, IoT permite comparar el rendimiento general del edificio. Además, implementar un sistema IoT, permite una mayor conexión el entorno natural, ya que nos permite detectar cuando las condiciones interiores y exteriores hacen aconsejable la apertura, bien de forma automatizada, ya sea por medio de información visual (en paneles o través de aplicaciones móviles). En esencial aquí, resaltar que no hay dos hábitats iguales en el mundo. Dos edificios idénticos pueden tener diferentes comportamientos según cómo los usuarios interactúen con ellos; y viceversa: usos idénticos en diferentes edificios, pueden dar resultados diferentes. En esta complejidad de interconexiones e interrelaciones, IoT surge como la disciplina transversal que debe satisfacer mejor el desafío de comprender los edificios como sistemas complejos utilizando su comportamiento y conocimiento como una fábrica de aprendizaje para tomar decisiones basadas en datos.

Por lo tanto, como se muestra en el área inferior de la Figura 3 y se trabaja en la siguiente sección a continuación, IoT como fábrica de aprendizaje conduce a mejorar el conocimiento general sobre el diseño arquitectónico basado en datos, las acciones de rehabilitación energética y las estrategias de planificación de ocupación.

Resultado de implementar un sistema IoT en un campus universitario

Siguiendo todas las premisas detalladas en las secciones anteriores, se ha diseñado, desarrollado e implementado un ecosistema de IoT (llamado sensorizar / sensoUZ) en el Campus Río Ebro de la Universidad de Zaragoza (España) (Martínez et al., 2021). SensoriZAR ha sido diseñado para almacenar un gran volumen de datos heterogéneos (adquiridos a alta velocidad), homogeneizarlo en información y proporcionar conocimiento de valor añadido. Su arquitectura funcional sigue los principios detallados en la Figura 1 al integrar 5 módulos en 3 capas: adquisición de datos (de sensores) e interconexión de redes (capa de percepción); almacenamiento y procesamiento de información (capa de tecnologías), análisis de conocimiento y visualización (capa de aplicaciones). Así, sensoriZAR armoniza diferentes mecanismos para importar, exportar, descargar, monitorizar e integrar datos, a través de Interfaces de Programación de Aplicaciones (APIs), para uso de terceros (incluidos estudios de investigación) y tomar decisiones

arquitectónicas e ingenieriles basadas en datos. Además, se ha construido como un ecosistema homogéneo de IoT de ultra bajo consumo con hardware y software libre para proporcionar una estrategia de IoT rentable y sostenible para mejorar la eficiencia energética y la calidad del aire interior en edificios. sensoriZAR ha desplegado más de 200 sensores ambientales inalámbricos geolocalizados (con mediciones en tiempo real de CO₂, temperatura, humedad y ocupación en más de 100 espacios representativos de los 3 edificios del Campus Río Ebro (Edificio I, II y III)). Además, el ecosistema de IoT ha integrado el consumo de energía y electricidad de los sistemas SCADA. Como se detalló, los espacios de monitoreo se han seleccionado representativamente y etiquetado de acuerdo a sus características clave, como: ubicación (piso, edificio, campus), orientación (norte, sur, este, oeste), uso (aula, sala de estudio, oficina, laboratorio, biblioteca, comedor, etc.), tamaño (grande, mediano, pequeño), ocupación (alta, media, baja), etc. Como ejemplo representativo, la Figura 4 muestra todos los sensores ambientales desplegados en el Edificio I del Campus Río Ebro. Dado que este trabajo se centra en la eficiencia energética y la calidad del aire interior, las mediciones obtenidas muestran varios resultados de experimentos a través de instalaciones reales donde IoT permite comprender la complejidad del edificio y contribuir, como prueba de concepto, con una propuesta de predicción de CO₂ y temperatura basada en redes neuronales.

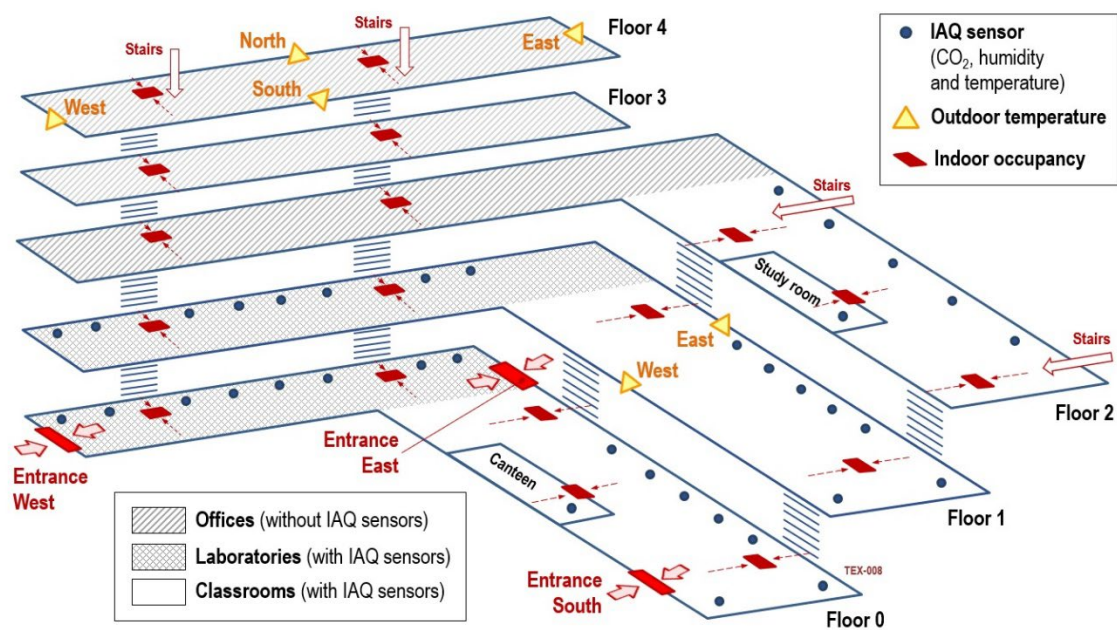


Figura 5. Sensores ambientales desplegados en el edificio I (Ada Byron) por sensorizar/SensoUZ en el Campus Río Ebro de la Universidad de Zaragoza

En primer lugar, centrándonos en el análisis de eficiencia energética, las Figuras 5 y 6 muestran varias lecciones aprendidas sobre el consumo de energía, los costos y los ahorros. Como ejemplo representativo, la Figura 5 muestra la evolución promedio de la temperatura en cada día de la semana en un edificio del Campus Río Ebro (Edificio I, Ada Byron). Las mediciones (gráfico en color naranja) son el resultado del promedio de las mediciones diarias de temperatura de cada espacio de monitoreo en el Edificio I durante el

semestre de otoño (la Figura 6 detalla diciembre de 2022 y enero de 2023). Dado que en España, siguiendo la Orden PCM/466/2022 (Real Decreto 1826/2009, de 27 de Noviembre, Por El Que Se Modifica El Reglamento de Instalaciones Térmicas En Los Edificios, Aprobado Por Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio, 2009) para los edificios de la Administración General del Estado y las entidades del sector público institucional, los edificios públicos con consumo de energía asociado al sistema de climatización deben mantener la temperatura interior (cuando se calienta) entre 17 y 21°C. Estos umbrales se han marcado en la Figura 5 con una línea rosa (para 17°C) y una línea amarilla (para 21°C). Cada semana está delimitada por líneas verticales azules y cada día puede identificarse por su valor de temperatura máxima (pico): se detalla en una ampliación (enmarcado en color verde) donde se subraya cada valor máximo como lunes, martes, etc., incluyendo el fin de semana (sombreado en color amarillo). Así, la Figura 5 resalta dos características interesantes:

- Cada semana hay un aumento en la temperatura diaria promedio (como una sierra) que ayuda a explicar la inercia térmica del comportamiento del edificio. Es muy interesante conocer este comportamiento porque, al medir los máximos y mínimos diarios según cada día de la semana y comparar el gráfico con el umbral de 21°C, es posible estimar el potencial de ahorro. Según las mediciones obtenidas, la implementación de un sistema de climatización gestionado por IoT debería implicar ahorros entre el 10 y el 15% del consumo total de energía.
- Durante los fines de semana, días festivos y días sagrados como Navidad (áreas sombreadas en color amarillo), las temperaturas promedio bajan del umbral de 17°C. Por lo tanto, el comienzo de cada semana en lunes implica un consumo significativo de energía para aumentar las temperaturas a la zona de confort térmico (entre 19 y 21°C según el Real Decreto 1826/2009. Es muy interesante cuantificar este consumo de energía para analizar diversas estrategias que evitarían una disminución excesiva de la temperatura del edificio y, por lo tanto, no sería necesario superar una pendiente muy alta al comienzo de cada semana.

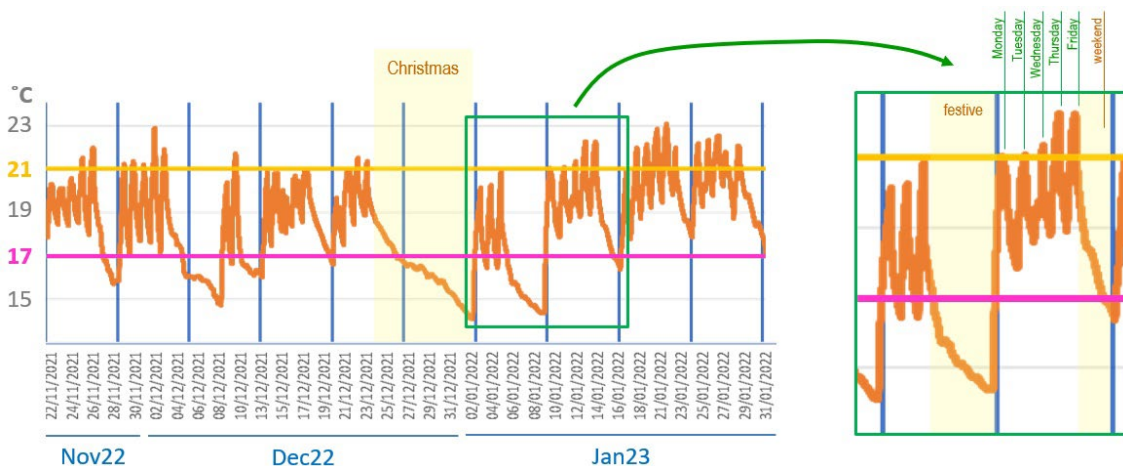


Figura 6. Medias de temperatura cada día de la semana

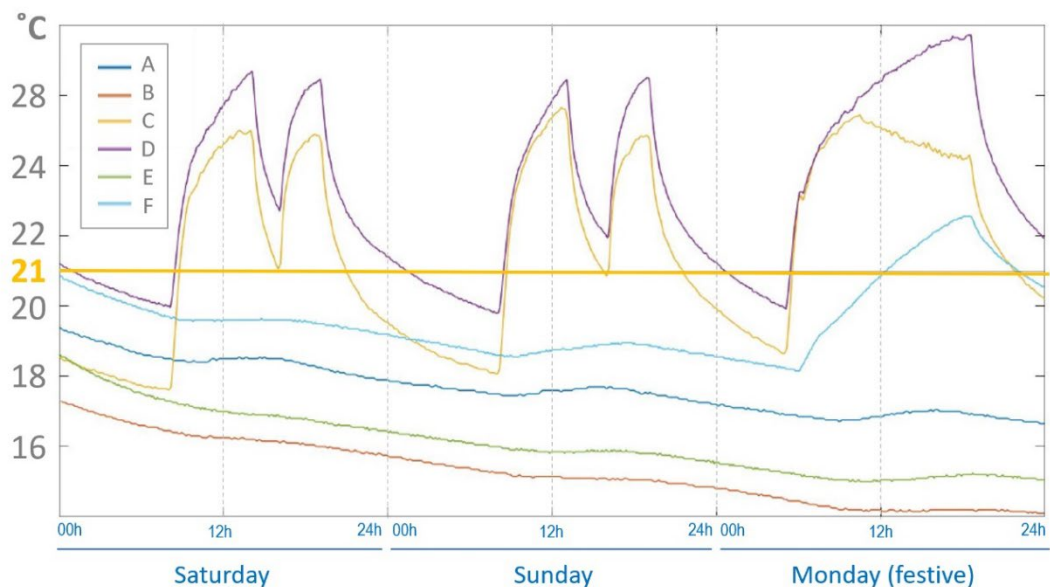


Figura 7. Detalle de las temperaturas en varias estancias (aulas) que se han considerado representativas durante un fin de semana.

Todos estos resultados cuantitativos demuestran el interés de utilizar ecosistemas de IoT para monitorear en tiempo real los KPIs de los edificios con el fin de detectar anomalías, corregir mal funcionamientos e incluso anticipar posibles averías a través de técnicas predictivas, como se estudia en la tercera contribución de esta sección.

En segundo lugar, enfocado en el análisis de la calidad del aire interior (IAQ), las Figuras 7 y 8 muestran varias lecciones aprendidas sobre la mejora de entornos saludables. La Figura 7 muestra los niveles promedio de CO₂ (en porcentaje, ver eje izquierdo) de cada edificio en el Campus Río Ebro (Edificios I, II y III). Estos niveles promedio de CO₂ son el resultado del promedio de las mediciones diarias de CO₂ de cada espacio monitoreado en cada edificio durante el semestre de otoño (desde septiembre de 2022 hasta enero de 2023). Los valores promedio muestran en todos los casos cómo los niveles de CO₂ cumplen con los niveles recomendados (CO₂ < 1000 ppm (en color verde claro) en condiciones habituales, y CO₂ < 800 ppm (en color verde oscuro) para minimizar el riesgo de COVID-19) alrededor del 90% del tiempo: 88,22% en el Edificio I; 92,26% en el Edificio II; y 93,36% en el Edificio III.

La Figura 8 muestra, en forma de ampliación, el detalle de un espacio representativo de cada uno de estos edificios para analizar similitudes y diferencias según cada tipo de espacio: (a) en el Edificio I, un aula con capacidad para 120 personas (tamaño grande) con alta ocupación y orientación norte; (b) en el Edificio II, una sala de informática con capacidad para 44 personas (tamaño pequeño) con alta ocupación y orientación oeste; y (c) en el Edificio III, una cafetería con capacidad para 260 personas (tamaño muy grande) con ocupación media y orientación este.

En un entorno de clase magistral controlado en el que la mayoría del tiempo solo habla el profesor, la Figura 8(a) muestra cómo el $\text{CO}_2 < 1000$ ppm en más del 95% del tiempo. En un entorno más variable y un espacio con menor capacidad, en el que las personas interactúan con computadoras, los estudiantes hablan entre sí, el profesor interactúa con cada grupo de práctica, etc., la Figura 8(b) muestra cómo aumenta el CO_2 ($\text{CO}_2 > 1000$ ppm alrededor del 20%) y también aumentan las mediciones máximas de CO_2 (los puntos rojos en el eje derecho son mayores de 2000 ppm). En un entorno como una cafetería, con alta circulación de personas, espacios abiertos y techos altos que implican renovación de aire y CO_2 , la Figura 8(c) muestra $\text{CO}_2 < 1000$ ppm casi el 100%.

Todos estos resultados muestran tendencias interesantes para comprender el comportamiento del CO_2 en los edificios según las tipologías de espacios, su tamaño, orientación, ubicación y uso, entre otras características. Además, esta contribución de los ecosistemas de IoT como fábrica de aprendizaje permite extrapolar estas tendencias a todo tipo de edificios: administrativos, institucionales, educativos, de servicios, etc.

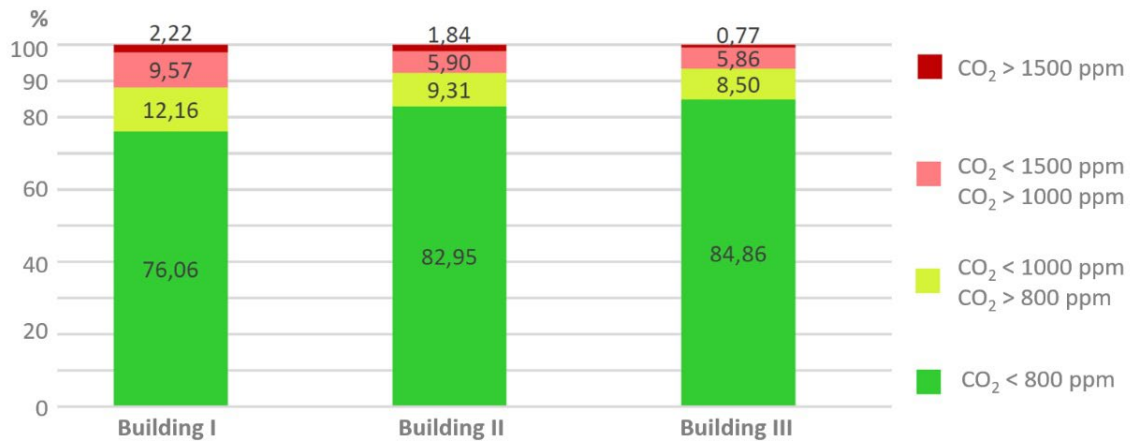


Figura 7. Media de los niveles de CO_2 en el campus universitario analizado durante el semestre de otoño

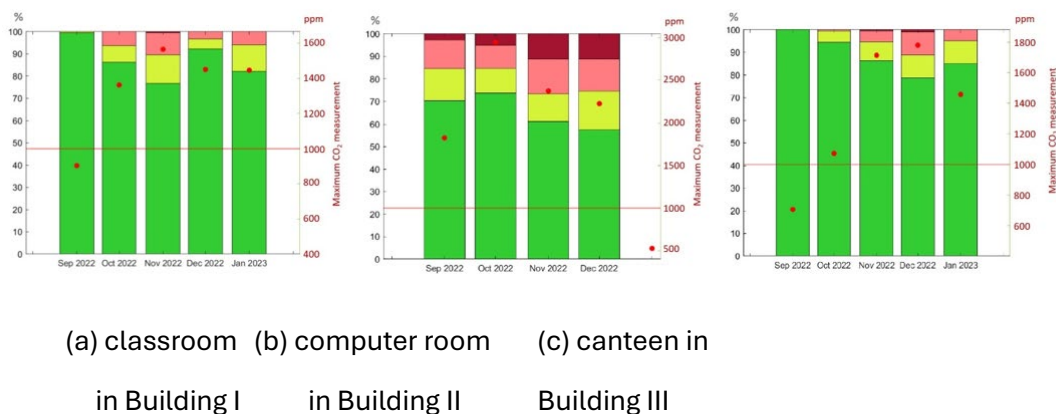


Figura 8. Media de los niveles CO_2 (izquierda) y máximo CO_2 (derecha) en espacios representativos

Tercero, para aprender sobre la predicción aplicada al comportamiento de los edificios (CO_2) y los usuarios (ocupación), se llevó a cabo un experimento transversal correlacionando los niveles de CO_2 con la ocupación. Aunque se ha observado que los niveles de CO_2 se mantienen dentro de un rango saludable durante la mayoría del tiempo cuando los espacios del edificio están en uso, hay ciertos períodos en los que esto no es así. Además, los resultados muestran una variabilidad significativa entre ellos debido a las numerosas variables influyentes. Se trata de la sala de estudio, que es un espacio grande ubicado en la planta baja, orientado al sur y equipado con grandes ventanales. Tiene una superficie de 761 m^2 , un volumen de aire de 2.666 m^3 y una capacidad máxima de 464 personas. La ocupación es alta y variable. La ocupación real se midió con un sensor específico que obtiene el número exacto de personas en un momento dado. Todos estos datos medidos (más de 1.500 registros de cada tipo) se analizaron durante las horas de apertura en marzo de 2022.

La Figura 9 muestra los valores máximos de CO_2 registrados (eje vertical) frente a la ocupación real de la sala (eje horizontal). El primer objetivo es determinar la capacidad adecuada sin superar un cierto nivel recomendado de CO_2 . Este es un indicador de la calidad del aire, ya que indica el porcentaje de aire previamente respirado presente en el entorno. Para garantizar la salud de las personas y prevenir el riesgo de enfermedades respiratorias, o incluso minimizar el riesgo de COVID-19, limitar la ocupación es una medida clave, ya que permite mantener niveles recomendados de dióxido de carbono. Junto al gráfico, se representa la línea de regresión lineal. Para no superar 1000 ppm de CO_2 (flecha azul horizontal gruesa), la ocupación debe estar entre 115 y 125 personas (franja azul vertical gruesa) y, en tiempos de pandemia, si el nivel recomendado de CO_2 se reduce a 800 ppm (flecha azul horizontal delgada), la ocupación se reduciría entre 60 y 80 personas (franja azul vertical delgada).

El segundo objetivo es estimar la concentración de CO_2 que se producirá a partir de una ocupación propuesta; por ejemplo, como fue propuesto por la Unidad de Prevención de Riesgos durante el tiempo de la pandemia siguiendo las regulaciones para todos los espacios públicos en España. En la etapa de mayor incidencia de la pandemia, la ocupación se fijó en 87 personas, por lo que el nivel máximo estimado de CO_2 aumentó a alrededor de 880 ppm (línea roja punteada); en la etapa de menor incidencia, la ocupación se fijó en 145 personas, por lo que el nivel máximo de CO_2 sería de alrededor de 1070 ppm (línea verde punteada). Aunque estos resultados están ligeramente por encima de los umbrales recomendados de CO_2 , ambos valores podrían ser adecuados. Basándose en estos resultados, se propone un procedimiento de análisis en 3 pasos:

1. Recopilar la concentración cuantitativa de CO_2 y la ocupación durante un período de tiempo representativo.
2. Obtener una correlación entre los valores máximos de CO_2 y la ocupación.
3. Establecer el máximo aceptable para la concentración de CO_2 y, por lo tanto, la tasa de ventilación adecuada para establecer la capacidad de cada sala o aula.

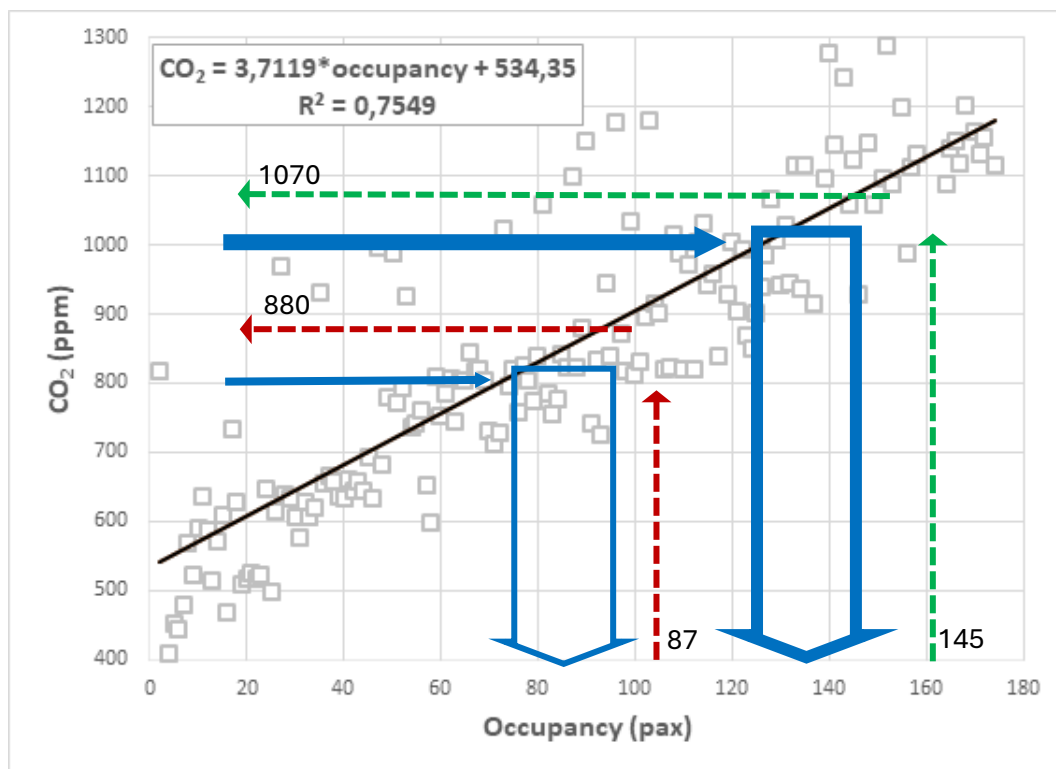


Figura 9. Metodologías para caracterizar espacios en relación con el CO₂ y la ocupación

Implementar una normativa para limitar la ocupación no se alinea de manera precisa con los niveles máximos reales de CO₂, ya que estos varían entre diferentes espacios. Los valores seleccionados en su mayoría representan fracciones (por ejemplo, la mitad, un tercio, etc.) de la capacidad máxima, pero carecen de precisión científica. Cada espacio debe ser estudiado por separado y su ocupación debería limitarse al valor más preciso. El gráfico también muestra una dispersión significativa de valores, principalmente porque no se están considerando variables como la duración de la estancia de las personas en la habitación. Además, el coeficiente de correlación R² es inferior a 0.76, lo que indica incertidumbres que van más allá del conteo de personas o la precisión del sensor. Además, variables como la temperatura, la humedad, el funcionamiento del sistema HVAC, la actividad interior, la apertura de ventanas, la incidencia del viento y otras características climáticas externas deberían incluirse. El nivel de CO₂ no depende únicamente de la ocupación, resultado coherente con lo defendido en esta investigación. Un sistema de IoT permite adaptar el límite de ocupación en cada espacio, ajustándolo a sus características específicas.

Así, como cuarta contribución para aprender de manera más precisa la estimación de los niveles de CO₂ y mejorar el modelo numérico, se ha investigado un modelo de predicción basado en una Red Neuronal de Retropropagación (Back Propagation Neural Network, BPNN). De hecho, la BPNN permite identificar rápidamente relaciones no lineales precisas entre diversas variables de entrada y objetivos de salida, mejorando así la predicción de sistemas complejos. La obtención del modelo de predicción para la sala de estudio tiene un doble propósito. Por un lado, podría informar al usuario sobre la tendencia en el valor de CO₂ y temperatura. Por otro lado, podría implementarse en un sistema de control

inteligente del sistema HVAC, que, por ejemplo, en caso de predecir un aumento de temperatura (debido a la carga humana, solar, etc.), apague el suministro de calefacción antes de alcanzar la temperatura objetivo, con el consiguiente ahorro de energía, o renueve el aire con la consiguiente mejora de la calidad del aire.

Para esta investigación, se utilizaron los mismos datos recopilados durante marzo de 2022 y la BPNN se entrenó para un horizonte de predicción de una hora. La aplicación de la red neuronal utilizada fue Neural Net Fitting (Matlab r2022a), eligiendo el algoritmo de Regularización Bayesiana y un número de neuronas ocultas (tamaño de capa) de 10 (MatLab & Simulink, 2023). El 70% de los datos de entrada se utilizó para entrenar la red y del 30% restante: el 15% se utilizó para validar la red (validando la red y deteniendo el entrenamiento antes de que ocurra el sobreajuste) y el 15% para probar la red de manera independiente.

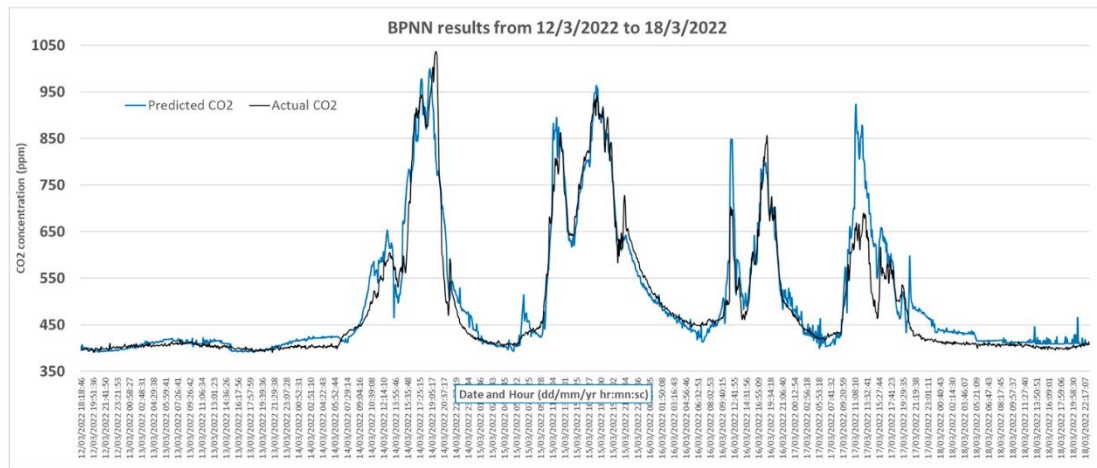
Los datos recopilados por los sensores, como CO₂ (ppm), temperatura (°C), humedad (%), ocupación (pax) y ocupación acumulada (pax), se utilizaron como entradas para predecir los valores de CO₂ y la temperatura interior. La Tabla 3 muestra los datos de entrada (columnas 2-6), donde la ocupación acumulada es la suma de la ocupación de los últimos 55 minutos (con mediciones cada 11 minutos por período). Las columnas 7-8 muestran las predicciones para CO₂ y temperatura, 5 períodos de tiempo después. Como ejemplo, se muestran 8 registros de entrenamiento en la Tabla 3. Las predicciones (sombreadas en filas 1-3, columnas 7-8) se ajustan con precisión a las mediciones realizadas una hora después (sombreadas en filas 13-15, columnas 2-3).

Time (gmt+2)	CO ₂ (ppm)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Occupancy (pax)	Accumulated occupancy (pax)	CO ₂ prediction (ppm)	Temperature prediction (°C)
18:25:02	776	23,00	45	104	614	819	22,73
18:30:03	735	22,86	44	101	620	800	23,01
18:35:04	719	22,78	44	99	620	785	23,00
18:40:03	711	22,76	44	101	621	786	22,95
18:45:03	718	22,78	44	98	614	781	22,98
18:50:02	738	22,78	44	94	597	771	23,01
18:55:04	756	22,81	44	83	576	759	23,17
19:00:03	757	22,74	44	76	551	739	23,16
19:05:03	752	22,72	44	80	532	738	22,93
19:10:03	756	22,72	44	80	511	739	22,80
19:15:03	783	22,64	44	74	487	714	22,86
19:20:03	797	22,64	44	74	467	713	22,77

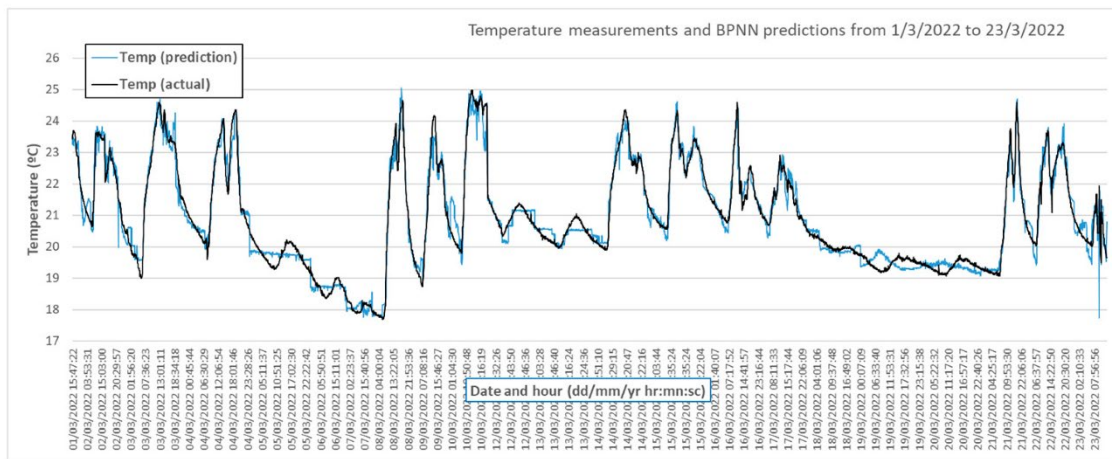
19:25:03	784	22,58	45	82	466	709	22,29
19:30:04	775	22,56	45	85	475	714	22,25

Tabla 3. Entrada de red, datos objetivo y previstos

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos aplicando la red neuronal a los datos medidos durante el mes de marzo, obteniendo un valor de regresión de $R^2 = 0.996$ y un Error Cuadrado Medio (MSE) de 535 para CO_2 y 0.219 para la temperatura. Este alto grado de correlación confirma la utilidad del BPNN como una estrategia prometedora para realizar este tipo de predicciones si el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande. La precisión de la predicción (± 23.13 ppm) es menor que la de los sensores de CO_2 , que es de ± 40 ppm. Resultados similares se encuentran para la temperatura, donde una precisión de ± 0.46 °C es similar a la precisión del sensor de ± 0.45 °C. Los valores predichos (indicados por la línea azul) se ajustan de manera notable a los valores medidos (indicados por la línea negra). La red neuronal obtenida ya está disponible para su uso en el ecosistema de IoT como una herramienta de predicción para los niveles de CO_2 y la temperatura. Para aumentar aún más el nivel de precisión, podrían obtenerse datos experimentales adicionales a lo largo de todo el año. Además, variables como la humedad, el funcionamiento del sistema HVAC, la actividad interior, la apertura de ventanas, la incidencia del viento y otras características climáticas externas deberían incluirse para aumentar la correlación entre los datos de los sensores y las predicciones o el horizonte de tiempo de la predicción. Dada la utilidad demostrada del BPNN, se deben llevar a cabo experimentos adicionales para extender la metodología a otros tipos de espacios.



(a) CO₂



(b) Temperature

Figura 9. Resultados de aplicar una metodología de redes neuronales para predecir la temperatura y el nivel de dióxido de carbono para un aula representativa.

Conclusiones

La metodología propuesta, que comprende la implementación de un ecosistema de IoT como estrategia arquitectónica tanto para edificios de nuevo diseño, como especialmente los edificios ya construidos. Implementar esta tecnología permite convertir en los edificios (especialmente los edificios universitarios) en una fábrica de aprendizaje arquitectónico e ingenieril. Demuestra varias lecciones aprendidas a través de instalaciones reales sobre cómo los ecosistemas de IoT pueden comportarse como soluciones rentables para comprender el entorno construido como un sistema complejo. Además, el despliegue de soluciones impulsadas por IoT contribuye como estrategias transversales para mejorar la eficiencia energética y la calidad del aire interior, ayuda a predecir el rendimiento de los edificios y aumenta el conocimiento arquitectónico sobre su comportamiento. La implementación de ecosistemas de IoT facilita el estudio analítico personalizado de situaciones específicas.

Como es bien sabido, las principales empresas industriales están trabajando en modelos de gemelos digitales. En el contexto de soluciones propietarias (que suelen ofrecer soluciones cerradas y costosas), este trabajo propone un ecosistema de IoT transversal desarrollado a partir de premisas de apertura (software y hardware), modularidad e interoperabilidad. Además, este trabajo proporciona mecanismos para importar, exportar, descargar, monitorear e integrar datos a través de APIs para uso de terceros, para asistir a la comunidad científica y también al sector industrial en sus innovaciones e investigaciones.

Como se mencionó, los ecosistemas de IoT son clave para comprender la complejidad del entorno construido al llenar la brecha entre las simulaciones teóricas y las mediciones reales. Este cambio en el entorno (entre el comportamiento simulado y real) se debe a las razones clave del rendimiento de los edificios: la variedad de usos, las características de construcción, la orientación, la ubicación, las condiciones climáticas y el contexto ambiental, entre otros factores. Por lo tanto, los ecosistemas de IoT son clave para las estrategias transversales de reducción del consumo de energía, aumento de la eficiencia energética, mejora de la calidad del aire interior, mejora de los entornos saludables y predicción del rendimiento, por las siguientes razones:

1. IoT nos ayuda a comprender los patrones de comportamiento de los usuarios y los edificios, ajustar la producción de energía a la demanda real y viceversa, y comprender cómo los edificios procesan la energía, lo que permite cambios en los patrones de comportamiento de sus administradores y usuarios.
2. Al combinar datos reales sobre el uso de energía, CO₂, temperatura y ocupación, IoT nos ayuda a comprender los edificios como sistemas complejos en ubicaciones climáticas específicas y a realizar modelado, simulaciones y predicciones hacia el paradigma de gemelos híbridos. Así, el monitoreo de IoT proporciona el conocimiento para caracterizar el entorno construido (ya que la información para crear un modelo digital no siempre está disponible), superando la dificultad de acceder a datos, como materiales de construcción, decisiones arquitectónicas, puentes térmicos, infiltraciones no controladas, eficiencia de ventanas y rendimiento de los sistemas de climatización, entre otros factores.
3. IoT permite el análisis detallado de casos, usos y espacios específicos para identificar las mejores estrategias arquitectónicas de mejora energética. Para cada caso de construcción, IoT ayuda a cuantificar qué estrategia de mejora energética será más efectiva para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.
4. IoT facilita la detección de anomalías, fugas de energía, flujos de aire, espacios no utilizados, ventanas abiertas, etc., así como ineficiencias en sistemas de climatización y fallas en el mantenimiento, entre otras posibles disfunciones.
5. IoT permite la gestión inteligente en operación junto con los sistemas del edificio: climatización, SCADA, iluminación, seguridad, movilidad, regulación climática, domótica, control de acceso, etc.
6. Los ecosistemas de IoT, cuando se interconectan a mayor escala (ciudad, región, país, etc.), proporcionan datos para su uso en estudios sociodemográficos y análisis de cómo se utilizan los edificios, lo que permite decisiones basadas en el conocimiento para estrategias de rehabilitación. La movilidad y las comunidades

están estrechamente interconectadas, brindando información sobre cómo los usuarios invierten tiempo y energía.

7. La información obtenida sobre el comportamiento de los edificios y la personas, permite aumentar el conocimiento arquitectónico, así como proporcionar información para un diseño de arquitecturas basados en datos.

Sin embargo, los ecosistemas de IoT también presentan limitaciones. Deben integrarse junto con los sistemas del edificio y sus datos deben analizarse en profundidad utilizando técnicas de informática para seguir avanzando en los **gemelos híbridos** combinando sistemas activos y pasivos para edificios que se activan (automática y/o manualmente) con el conocimiento generado por IoT. Estas son líneas futuras de este trabajo. Por un lado, debemos incluir muchas más variables (actividad en interiores, clima exterior, apertura de ventanas, incidencia del viento, etc.) e integrar los sistemas del edificio (regulación del clima, iluminación, movilidad, seguridad, etc.) para comprender mejor la complejidad. Por otro lado, para profundizar en esta comprensión, debemos aplicar metodologías computacionales para mejorar la toma de decisiones para la gestión y optimización del entorno construido.

En resumen, en contextos reales de restricciones económicas, complejidad, altos costos de energía, vulnerabilidad social y cambio climático, las estrategias basadas en IoT, como las propuestas en este trabajo, se destacan como enfoques abiertos, modulares, interoperables y rentables para avanzar hacia comunidades inteligentes mediante la mejora de la eficiencia energética y la calidad del aire interior y exterior con bajo costo, implementación rápida y bajo impacto en los usuarios. Estas estrategias basadas en IoT abordan grandes desafíos de crecimiento, interconexión, cambio climático y sostenibilidad en general. A través del monitoreo en tiempo real del rendimiento de los edificios, los ecosistemas de IoT pueden considerarse como una forma de democratizar la información al tiempo que ahorran energía y costos, especialmente para edificios públicos y áreas urbanas con grupos vulnerables, al tiempo que mantienen la comodidad, el bienestar y la calidad de vida de las personas que habitan el edificio.

Anexos. Contribuciones

Resultados de la investigación que han sido difundidos en las siguientes charlas, publicaciones, jornadas y actividades:

Conferencias, charlas y seminarios:

Se exploró qué es una ciudad inteligente en el marco de las humanidades y la arquitectura.

1. Ponencia **“Pensamiento Sistémico y Sostenibilidad”** en las 22ª edición 2018 de las Jornadas de Ingeniería y Medio Ambiente que realizamos en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza el día 9 de abril. Edificio Ada Byron (EINA), Zaragoza
2. Ponencia **“Ciudades 5.0: lo liso y lo estriado”**, Pamplona, Palacio del Condestable, 3 de septiembre de 2019, en el Curso de Verano **“FÁBRICAS DEL SUJETO: LA CIUDAD EN EL SIGLO XXI”**, Tecnología y Ciudad con la
3. **“Masdar y Songdo: La Smart City en el siglo XXI”** con motivo del curso de verano **“Pensar el futuro: utopías, distopías, heterotopías”** celebrado del 7 al 11 de septiembre de 2020 en el marco de la XX edición de los cursos de verano de las universidades navarras.
4. Ponencia **“Movilidad Eléctrica en Zaragoza. Una oportunidad para el Campus Río Ebro”**, Semana Europea de la Movilidad. 16-22 de septiembre de 2020, “Movilidad Sostenible y Medio Ambiente”, organizada por TRAFAR.
5. Ponencia-apertura. **“Los edificios universitarios como laboratorio experimental. Hacia un campus inteligente y energéticamente neutro”**. I Jornada Edificios Inteligentes, marzo de 2021, Zaragoza, organizadas por la universidad de Zaragoza <https://eina.unizar.es/noticias/i-jornada-edificios-inteligentes>
6. Debate sobre **“Construir y habitar. Ética para la ciudad de Richard Sennett”**, celebrado online el 2 de julio de 2021 a las 18:00 h, con Manuel Delgado, María Pura Moreno y Silvia Giménez. Moderado por Julia Urabayen Pérez, de la Universidad de Pamplona.
7. Potencia, **“Smart City: ¿la utopía del siglo XXI?”** en el “Primer Congreso Internacional Filosofía y ciudad. Recuperar la utopía en tiempos de Crisis”. Online, 6-8 de octubre de 2021. Mesa 01: Distopía y espacio urbano. Con José María Castejón
8. Ponencia, **“Iniciativas de digitalización y descarbonización del parque de viviendas en el marco común europeo. Contexto General”**, en Experto Universitario en Rehabilitación urbana y gestión de ayudas, Objetivos de la rehabilitación de edificios y marco normativo, 13 de enero de 2022, Universidad de San Jorge.
9. Ponencia: **“Energía, movilidad, sistemas”**, Jornadas de debate y presentación del libro **“Mobility Experience: investigación, innovación y difusión en movilidad”**, Cátedra Mobility Experience, junto a Gabriel Marro (USJ), Daniel Sarasa (FZCC) y Juan Ortiz (CTAZ). Zaragoza 22 de septiembre de 2022.
10. Ponencia II Congreso de Filosofía y Ciudad, **“imaginar (Con)vivir y habitar”**, del 5 al 7 de oct. **“La ciudad inteligente, ¿utopía o distopía?: un sistema complejo”**, Santiago de Chile, 7 de octubre de 2022.

11. **“Las ciudades inteligentes, nuevo modelo de acceso al conocimiento urbano”**, III Congreso Internacional de Filosofía y Ciudad, Pamplona/Iruña, 18-20 octubre 2023, “Nuevas ciudadanías para una globalización en colapso, Mesa 06 Ciudadanía digital: ciberderecho, cibercomercio, ciberdemocracia”.
12. **“¿Qué es un edificio inteligente en el s. XXI”** en el ciclo “La Arquitectura como garantía de una sociedad + bella + justa y + sostenible”, organizado por la revista Crisis, Zaragoza, 26 de octubre de 2023

En el marco de la ingeniería informática, se presentaron la metodología sobre los modelos computacionales propuestos, así como la estrategia basada en la sensorización de edificios como básica para comprender y mejorar la eficiencia de los entornos construidos:

13. **“Sensorizar Ecosystems: monitoring buildings in order to maintain and update them efficiently”**, Jornada del proyecto MAGIST, CiTIUS de la USC, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 13 de julio de 2023.

Organización de Jornadas

Se propuso un debate sobre las estrategias para la digitalización y descarbonización de las ciudades inteligentes:

1. Junto a Belinda López Mesa, Organizador del encuentro, **“Los edificios universitarios como laboratorio experimental. Hacia un campus inteligente y energéticamente neutro”**. I Jornada Edificios Inteligentes, marzo de 2021, Zaragoza, organizadas por la universidad de Zaragoza. <https://eina.unizar.es/noticias/i-jornada-edificios-inteligentes>

Edición de en revistas internacionales

Se editó un número especial en la revista internacional:

- Guest-Editor Special Issue **“Post-Pandemic Cities and Buildings: Strategies to Increase their Adaptive Capacity and Environmental Health”** en Sustainability, ISSN 2071-1050. 2021

https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/Cities_Buildings_sus

Publicaciones internacionales

Se han publicado resultados de la plataforma IoT propuesta en el siguiente artículo:

- **“Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain”**. M. García-Monge, B. Zalba, R. Casas, E. Cano, S. Guillén-Lambea, B. López-Mesa, I. Martínez, Energy & Building, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112882>

Se ha publicado la base conceptual de la estrategia IoT

- **“Internet of Things (IoT) in buildings: a learning factory”**, Cano-Suñén, E., Casas Nebra, R., Fernández Cuello, A.; Zalba Nonay, B. Sustainability, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151612219>

Sobre el concepto de Smart Cities

- **“Smart utopian cities: hangovers and aftermaths”**. Cano-Suñén, E.; Castejón-Esteban, JM.; en “Post-Apocalyptic Cultures. New Political Imaginaries After the Collapse of Modernity”, Urabayen Julia; León Casero, Jorge (Ed.), Plagrave Macmilan, Plagrave Studies in Utopianism, Springer Nature, New York, 2023.

Sobre el concepto de modelos

- **“Las ciudades inteligentes, nuevo modelo de acceso al conocimiento urbano”**. Cano-Suñén, Enrique; Martínez-Ruiz, Ignacio y Castejón-Esteban, José María, III Congreso Internacional Filosofía y Ciudad, Editorial Dykinson, 2024

Publicaciones nacionales

Sobre el concepto de habitar

- **“Debate sobre construir y habitar. Ética para la ciudad de Richard Sennett”**. Cano Suñén, E., Delgado, M., Giménez, S., & Moreno, M. P. (2022). Arbor, 198(803-804), a643. <https://doi.org/10.3989/arbor.2022.803-804010>

Sobre el concepto Sistemas

- **“Energía, Movilidad y Sistemas”**, en “Mobility Experience. Investigación, Innovación y Difusión en Movilidad”, Ruiz-Varona (Coord.), Ediciones Universidad de San Jorge, 1ª Edición, Villanueva de Gállego, 978-84-12354-4-9, 2022

Estancias de investigación

Para profundizar en los sistemas complejos, se realizó una estancia de investigación por invitación en:

1. **Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos**, Palma de Mallorca, Universidad de Baleares, 1 de marzo al 1 de abril de 2023, en la que se impartió la charla **“Un campus universitario es un sistema complejo: SensoUZ”** el día 23 de marzo de 2023 en IFISC.
2. **Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos**, Palma de Mallorca, Universidad de Baleares, 1 de marzo al 1 de abril de 2023, en la que se impartió la

charla “**Un campus universitario es un sistema complejo: SensoUZ**” el día 15 de febrero al 15 de marzo de 2024 en IFISC.

Divulgación social

Para difundir qué es digitalizar entornos construidos entre los más pequeños:

- **Curso Eco-Arquitectos**, para niñas y niños de 9 a 12 años en Etopia Kinds. Veranos de 2023 y 2024: *“Diseña una casa y aprende cómo interacciona con el medio. En este taller los chicos y chicas aprenderán a construir maquetas y diseñar su propia casa. Les haremos puertas y ventanas, utilizaremos aislamiento y placas fotovoltaicas, les pondremos sensores a sus habitaciones, iremos viendo cómo reaccionan al calor, a las sombras, o al viento. Nos retaremos a descubrir qué casa maneja mejor la energía, o qué configuración y posición es la que menos energía necesita”*

<https://etopia.es/producto/ecoarquitectos/>

En revistas culturales de divulgación:

1. **“Arquitectura... Información simbólica”** en Revista Crisis Número 18, diciembre de 2020
2. **“Qué es un edificio inteligente en el s. XXI”**, en Revista Crisis, Número XX, diciembre de 2023

Breve conclusión

En este estudio se ha considerado que los entornos contruidos son sistemas complejos, paradigma contemporáneo que pone en crisis a los tradiciones sistemas clásicos. Los conceptos como la simbiosis, los holobiontes, la teoría de Gaia o el Cambio Climático reformulan nuestra posición y relación con el medio.

Por otro lado, la irrupción de la inteligencia artificial y de los edificios inteligentes se propone como un camino tecnológico hacia una arquitectura más eficiente y sostenible, al mismo tiempo que amenaza con redefinir la misión del arquitecto. La tesis reconoce la importancia que puede tener la digitalización de la arquitectura, pero cuestiona el concepto de inteligencia y lo que se entiende por toma de decisiones inteligentes.

Antes de definir lo que es inteligente, se considera necesario establecer un criterio para tomar decisiones dentro de un contexto dado y único. Problema que ya se planteó Spinoza, y cuyo sistema ha sido utilizado para establecer un camino hacia los fines y objetivos de una arquitectura inteligente que responda a los nuevos contextos y problemas.

Nuestra posición en el mundo y la comprensión de la realidad ha mutado cuestionando que relaciones de domino y extractivas tenemos sobre la naturaleza. Ésto supone un replanteamiento fundamental de como los humanos habitamos la tierra y nos relacionamos con el entorno construido.

Se propone una etología capaz de definir qué puede hacer un edificio y una cierta arquitectura para que un habitar responda a los problemas y circunstancias actuales. Un estudio de las relaciones y del comportamiento que generan con el que construir modelos efectivos sobre el habitar humano. La sensorización IoT y la capacidad de procesar información de la IA extienden nuestros sentidos de forma que podemos observar mejor los sistemas, al mismo tiempo que amplían nuestra capacidad (inteligente) de modificarlos.

En esta lógica, a la vez que se proponía un corpus intelectual que sirviera de base para la construcción de un entorno sensorizado y profundizara de la pertinencia de éste, la investigación se ha desarrollado mediante la implementación de una plataforma IoT operativa, conocida como SensoUZ, para el Campus Río Ebro. Los primeros resultados muestran el potencial a estudiar y obtener valiosas lecciones sobre el comportamiento de los edificios y sus habitantes que permitan tomar decisiones informadas que mejoren, no tan solo la eficiencia, si no que amplíen las condiciones de habitabilidad y la relación con el entorno.

En resumen, con este trabajo se proponen nuevas formas de entender la relación entre humanos, no-humanos, naturaleza y tecnología, así como establecer las bases prácticas para la implementación de entornos contruidos más inteligentes y ecológicos en el contexto contemporáneo.

Índice de autores

AUTORES

Alexander	16, 24, 83, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 173, 176, 201, 213
Ashby	96
Batty	77
Bertalanffy	96
Bettecourt	77
Casas	249
Coplien	98
darwinista	82
Deleuze	21, 24, 25, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 47, 50, 51, 52, 53, 59, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 82, 89, 156, 166, 171, 194, 195, 229, 307, 308, 310, 311, 317
Dioniso	26
Feyerabend	192
Forrester	96
Gamma	98, 99, 100
Givoni	182
Goodwin	91
Haraway	92
Jane Jacobs	83
Kauffmann	86
Kuzweil	222
Ladyman	84, 85, 87, 89
Latour	91
Le Corbusier	71
Léon Casero	230
Lovelock	26, 37, 76, 142, 220
Luhmann	88, 89, 91, 96, 102, 103, 104
Margulis	21, 59, 60, 76, 142, 164, 174, 176, 177
Martínez Ruiz	249
Morin	88
Newton	227, 228
Olgyay	182
Peirce	17, 25, 222
Phillipe Rahm	82
Reenskaug	97
Rescher	84, 88
Spinoza	21, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 61, 64, 66, 67, 84, 86, 87, 88, 89, 91, 103
Stengers	30, 181
Stewart	91
Uexküll	82, 88, 91
Vitrubio	203
Voltaire	26
Warren Weaver	83
West	221
Whitehead	15, 68, 128, 176, 180, 181, 226, 227, 229, 230
Wiener	96
Wiesner	84, 85, 87

Índice de conceptos

- adaptativo, 74, 78, 80
- algoritmos generativos, 74
- Antropoceno*, 10, 11, 16, 19, 45, 46, 60, 74, 93
- autopoiesis, 97
- big data*, 13, 142, 212, 269
- BIM, 191, 196, 201, 220, 259, 310, 313
- biodiversidad, 10, 11, 32, 43, 74, 75, 116, 150, 153, 161, 166, 170, 176, 180, 181, 182, 211
- biosfera, 78, 80, 87
- caja blanca, 88, 125, 199, 247
- caja gris, 88, 125, 199, 200, 201, 247
- caja negra, 81, 88, 125, 199, 200, 247
- Calidad del Aire Interior, 260
- Cambio Climático*, 10, 45
- CFD, 193
- ChatGPT, 213
- Ciencias de la Computación, 125, 171
- cloud computing, 146, 243
- complejidad**, 4, 5, 9, 10, 14, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 28, 57, 61, 69, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 88, 93, 96, 97, 101, 103, 105, 107, 121, 125, 132, 137, 141, 155, 158, 159, 161, 162, 165, 166, 167, 177, 179, 186, 189, 190, 193, 194, 195, 196, 202, 207, 211, 213, 214, 216, 221, 223, 225, 226, 227, 236, 260, 261, 262, 266, 272, 274, 275, 284, 285, 297, 300, 304
- constructiva, 80, 94
- Controlador Lógico Programable (PLC), 245
- COVID, 251, 277, 279
- COVs, 174, 224, 268
- Devenir, 17, 21, 26, 27, 38, 39, 46, 79, 295
- ecología, 11, 14, 21, 88, 142, 158, 159, 160, 162, 197
- ecológica, 21, 24, 29, 33, 119, 149, 155, 180, 210
- Eficiencia Energética**, 129, 230
- Energy Performance of Buildings, 230, 252, 257, 266, 301, 302, 308
- engramas, 185, 186, 187, 188
- entorno biológico, 107, 108, 114, 116, 177, 237
- ERESSEE, 248, 251, 252
- European Green Deal, 248
- factoría de aprendizaje, 6, 257, 272
- gemelo digital, 122, 196, 239
- Gemelo Digital, 243
- Gemelos Híbridos, 201, 214
- GIS, 220
- habitar salvaje**, 1, 5, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 52, 127, 148, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 167, 168, 169, 184
- Habitar Salvaje, 3, 12, 16, 17, 18, 20, 21
- High-Performance Computing, 246
- holobiontes, 75
- holociudades, 5, 171
- Holoedificios, 5, 171
- homeostasis, 75
- IA, 11, 13, 20, 24, 25, 30, 59, 60, 74, 99, 100, 101, 145, 161, 170, 185, 186, 187, 195, 204, 213, 214, 215, 217
- inteligencia artificial, 74, 88, 94
- Inteligencia Artificial, 12, 123, 184, 212, 236, 250
- inteligente*, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 24, 36, 38, 42, 50, 51, 68, 69, 70, 71, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 140, 142, 146, 170, 171, 181, 186, 188, 189, 190, 196, 209, 210, 211, 213, 215, 217, 228, 229, 230, 231, 242, 243, 248, 249, 250, 252, 253, 273, 274, 281, 284, 286, 287, 289
- inteligentes, 4, 5, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 29, 30, 42, 46, 48, 50, 51, 59, 61, 70, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 133, 135, 140, 142, 143, 184, 185, 186, 187, 195, 201, 209, 214, 217, 220, 240, 241, 242, 243, 249, 250, 251, 252, 257, 258, 259, 261, 262, 263, 265, 267, 269, 271, 285, 286, 287, 288, 299, 312
- IoT, 4, 6, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 51, 59, 70, 72, 73, 94, 99, 108, 123, 127, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 161, 168, 169, 171, 173, 175, 177, 182, 195, 197, 210, 212, 232, 233, 234, 235, 236, 240, 241, 242, 243, 244, 245,

- 248, 249, 250, 254, 257, 258, 259, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 276, 277, 278, 280, 282, 283, 284, 285, 287, 288, 296, 299, 302, 303, 307, 308, 310, 313
- Leopold, 20, 21, 149, 307
- Machine Learning, 129, 136, 197, 201, 212, 250, 252, 306, 315
- Model Predictive Control, 247
- modos de habitar, 74, 92, 96
- Modos de Habitar, 4, 17, 18, 67
- Monitorización**, 230
- naturaleza, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 74, 76, 77, 78, 81, 83, 84, 87, 90, 92, 94, 105, 106, 116, 120, 131, 138, 146, 148, 149, 151, 152, 153, 154, 161, 163, 167, 170, 183, 185, 188, 211, 212, 215, 218, 223, 225, 227, 296, 308
- Naturaleza, 16, 21, 22, 24, 25, 26, 32, 34, 39, 42, 43, 44, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 62, 63, 72, 74, 76, 95, 304
- nZEB, 181, 251, 252
- Objetivos de Desarrollo Sostenible, 230, 257, 260
- ODS, 230, 242, 248, 260
- pensamiento constructivo, 74, 80
- propiedades emergentes, 75
- Readiness Indicator, 252, 267, 301
- realista, 80, 81, 82, 84
- Red Neuronal, 280
- revegetalización, 238
- SARS-COV-19, 248
- SCADA, 174, 241, 245, 252, 253, 258, 268, 269, 272, 274, 275, 284
- sensorización, 94, 97
- sensorizar, 16, 18, 20, 97, 118, 122, 127, 136, 138, 140, 158, 168, 176, 185, 191, 233, 236, 237, 242, 274, 275
- sensoriZAR, 253, 274
- Sensorizar**, 5, 6, 184, 229, 230, 233, 237, 287
- SensoriZAR, 12, 13, 257, 274
- SensoUZ, 12, 240, 248, 250, 257, 275, 288, 289
- Serón, 99, 125, 179, 182, 312
- sexta extinción, 211
- simbiótico**, 10, 21, 24, 156, 157, 158, 308
- sistemas autopoieticos, 74
- sistemas simbióticos, 74
- Smart, 17, 21, 51, 100, 102, 118, 197, 251, 252, 267, 286, 288, 297, 298, 299, 301, 302, 305, 307, 308, 309, 312, 313
- smart building, 118, 252, 310
- smart campus, 243, 249, 252, 287, 303
- soluciones SMART, 182
- Tecnosfera, 74
- teoría de la complejidad, 75
- Umwelt**, 17, 20, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 84

BIBLIOGRAFÍA

- Ábalos, I. (1997). El retorno eterno. *Escritos: 1919-1920*, 7–30.
- Ábalos, I., & Sentkiewicz, R. (2015). *Ensayos sobre Termodinámica, Arquitectura y Belleza* (L. Ortega, Ed.; Actar Publ).
- Abram, D. (2005). *Depth Ecology*. 30(2), 1–3.
http://www.wildethics.org/essays/depth_ecology.html
- Abram, D. (2021). *Devenir Animal. Una cosmología terrestre*. Sigilo Editorial.
- Adamatzky, A., Harding, S., Erokhin, V., Mayne, R., Gizzie, N., Baluška, F., Mancuso, S., & Sirakoulis, G. Ch. (2018). *Computers from Plants We Never Made: Speculations* (pp. 357–387). https://doi.org/10.1007/978-3-319-67997-6_17
- Afroz, Z., Shafiullah, G. M., Urmee, T., Shoeb, M. A., & Higgins, G. (2022). Predictive modelling and optimization of HVAC systems using neural network and particle swarm optimization algorithm. *Building and Environment*, 209, 108681.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108681>
- Agamben, G. (2010). *Lo abierto. El hombre y el animal* (1ª Ed, 2ª Re-imp.). Pre-Textos.
- Agamben, G. (2011). *Altísima pobreza*. Pre-Textos.
- Agamben, G. (2021). *Gaia y Ctonia*. <https://www.quodlibet.it/giorgio-agamben-gaia-e-ctonia>
- Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building* (Oxford Uni). Center for Environmental Structure.
- Alexander, C. (1980). *A pattern language*.
- Alexander, C. (1981a). *El modo intemporal de construir*. Editorial Gustavo Gili, S. A.
- Alexander, C. (1981b). *El modo intemporal de construir*. Editorial Gustavo Gili, S. A.
- Alexander, C. (2003). New Concepts in Complexity Theory arising from studies in the Field of Architecture: A response by Christopher Alexander. *Katarxis N° 3: New Science, New Urbanism, New Architecture?*, 3(3).
- Alexander, C. (2006a). Empirical Findings from The Nature of Order. In *BUILDING LIVING NEIGHBORHOODS*. <https://www.livingneighborhoods.org/library/empirical-findings.pdf>
- Alexander, C. (2006b). *Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe*. Center for Environmental Structure.
- Alexander, C. (2019). *El modo atemporal de construir*. Pepitas de Calabaza.

- Alexander, C. (2020). "A City is Not a Tree." *The Urban Design Reader*, 172–186. <https://doi.org/10.4324/9780203094235-25>
- Alexander, C. (2021). New concepts in complexity theory arising from studies in the field of architecture: an overview of the four books of the nature of order with emphasis on the scientific problems which are raised. In *Handbook on Cities and Complexity*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781789900125.00020>
- Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (1980). *A pattern language / Un lenguaje de patrones*.
- Amasyali, K., & El-Gohary, N. (2021). Machine learning for occupant-behavior-sensitive cooling energy consumption prediction in office buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110714. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110714>
- AmorphouStudio. (2023). *AmorphoStudio. Visionayr Architecture and Design Studio*. https://www.amorphoustudio.com/projects#/jumeirah-gardens_option_1/
- Anderson, J. D., & Wendt, J. (1995). *Computational fluid dynamics* (Vol. 206). Springer.
- Andersson, J. O. (2011). The New Foundations of Evolution: On the Tree of Life. *Systematic Biology*, 60(1), 114–115. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syq068>
- Appleton, B. (2000, November 15). *Patterns and Software: Essential Concepts and Terminology*. Academic Press. <http://www.bradapp.net/lastmodified02/14/2000>
- Araiza Díaz, V. (2021). Reinventar la naturaleza para hacernos cargo del Capitaloceno: la propuesta de Donna Haraway. *Andamios, Revista de Investigación Social*, 18(46), 413–441. <https://doi.org/10.29092/uacm.v18i46.851>
- Arenas, L., & Fogué, U. (2011). *Planos de intersección*. Lampreave.
- Armstrong, R. (2012). *Living Architecture How Synthetic Biolog*.
- Arthur, W. B. (2009). *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*. Free Press. <https://books.google.es/books?id=3qHs-XYXN0EC>
- Ascione, F., De Masi, R. F., Festa, V., Gigante, A., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2022). Thermal and energy performance of a nearly zero-energy building in Mediterranean climate: the gap between designed and monitored loads of space heating and cooling systems. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(1), 732–747. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2050852>
- Ashby, R. W. (1956). *An Introduction to Cybernetics* (SECOND IMP). CHAPMAN & HALL LTD.
- ASHRAE. (2022). *ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide*. https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_indoorcarbondioxide_2022.pdf
- Ashraf, Q., Yusoff, M., Azman, A., Nor, N., Fuzi, N., Saharedan, M., & Omar, N. (2015). *Energy monitoring prototype for Internet of Things: Preliminary results*. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2015.7389157>
- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Azulay Tapiero, M. (2011). El proyecto arquitectónico: Paradigma de la complejidad. *4IAU 4ª Jornadas Internacionales Sobre Investigación En Arquitectura y Urbanismo, Morin 2004*, 1–17.
- Balaras, C. A., Droutsas, K. G., Dascalaki, E. G., Kontoyiannidis, S., Moro, A., & Bazzan, E. (2019). Urban Sustainability Audits and Ratings of the Built Environment. *Energies*, 12(22), 4243. <https://doi.org/10.3390/en12224243>
- Ballantyne, A. (2022). *Deleuze y Guattari. Sobre la Arquitectura* (1ª Edición). Reverté.
- Baluška, F., Lev-Yadun, S., & Mancuso, S. (2010). Swarm intelligence in plant roots. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(12), 682–683. <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2010.09.003>
- Baluška, F., Mancuso, S., Volkmann, D., & Barlow, P. (2009). The ‘root-brain’ hypothesis of Charles and Francis Darwin. *Plant Signaling & Behavior*, 4(12), 1121–1127. <https://doi.org/10.4161/psb.4.12.10574>
- Barber, D. A. (2017). The nature of the image: Olgyay and Olgyay’s architectural-climatic diagrams in the 1950s. *Public Culture*, 29(1), 129–164. <https://doi.org/10.1215/08992363-3644433>
- Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25), 6506–6511. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>
- Batista, A. P., Freitas, M. E. A., & Jota, F. G. (2014). Evaluation and improvement of the energy performance of a building’s equipment and subsystems through continuous monitoring. *Energy and Buildings*, 75, 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.029>
- Batov, E. I. (2015). The Distinctive Features of “Smart” Buildings. *Procedia Engineering*, 111, 103–107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.061>
- Batterman, S. (2017). Review and Extension of CO2-Based Methods to Determine Ventilation Rates with Application to School Classrooms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(2), 145. <https://doi.org/10.3390/ijerph14020145>
- Batty, M. (2009). *Complexity and emergence in city systems: implications for urban planning*.
- Batty, M. (2017). *The new science of cities*. MIT Press.
- Batty, Michael. (2007). *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. MIT Press.
- Beauchamp-Akatova, E. (2007). System Approach and Managing Diversity in Complex Systems: Towards Dynamic Stability. *Proceedings of the 51st Annual Meeting of the ISSS*. <https://journals.issn.org/index.php/proceedings51st/article/view/466>

- Béjar Ramírez, C. (2021). Cuerpos en fuga: el afecto spinoziano en la teoría de los devenires de Deleuze y Guattari. *METAFÍSICA Y PERSONA*, 25, 11–34. <https://doi.org/10.24310/Metyper.2021.vi25.7503>
- Berkson, J. (1946). Limitations of the Application of Fourfold Table Analysis to Hospital Data. *Biometrics Bulletin*, 2(3), 47. <https://doi.org/10.2307/3002000>
- Berkson, J. (1950). Are There Two Regressions? *Journal of the American Statistical Association*, 45(250), 164. <https://doi.org/10.2307/2280676>
- Bertalanffy, L. von. (1976). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones* (Vigésima r). Fondo de Cultura Económica.
- Bettencourt, L. M. A. (2015). Cities as complex systems. *Modeling Complex Systems for Public Policies*, 217–236.
- Borg, R. P., Cuenca, E., Garofalo, R., Schillani, F., Nasner, M. L., & Ferrara, L. (2021). Performance Assessment of Ultra-High Durability Concrete Produced From Recycled Ultra-High Durability Concrete. *Frontiers in Built Environment*, 7. <https://doi.org/10.3389/FBUIL.2021.648220/FULL>
- Borges de Souza, E. C., & Araujo, A. (2021). A Biología Kantiana de Jakob von Uexküll. *Revista Colombiana de Filosofía de La Ciencia*, 21(43). <https://doi.org/10.18270/rcfc.v43i21.3452>
- Bossel, H. (2007). *Systems and Models: Complexity, Dynamics, Evolution, Sustainability*. BoD – Books on Demand.
- Bostrom, N. (2016). *Superinteligencia. Caminos, peligros, estrategias*. Teell Editorial.
- Boulton, J. G., Allen, P. M., & Bowman, C. (2015a). *Embracing complexity*. Oxford University Press.
- Boulton, J. G., Allen, P. M., & Bowman, C. (2015b). *Embracing Complexity*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSO/9780199565252.001.0001>
- Bourdieu, P. (1998). *La distinción*. Grupo Santillana de Ediciones.
- BP. (2023). *bp Energy Outlook 2023*.
- Braidotti, R. (2006). The Ethics of Becoming-Imperceptible. In *Deleuze and Philosophy* (pp. 133–159). Edinburgh University Press. <https://doi.org/10.3366/edinburgh/9780748624799.003.0009>
- Brand, S. (1995). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Penguin Publishing Group.
- Brentari, C. (2019). 4 Jakob von Uexküll. In *Deleuze's Philosophical Lineage II* (pp. 75–94). Edinburgh University Press. <https://doi.org/10.1515/9781474449205-007>
- Brian, A. W. (1999). Complexity and the Economy. *Science*, 284(5411), 107–109. <https://doi.org/10.1126/science.284.5411.107>
- Buckman, A. H., Mayfield, M., & B.M. Beck, S. (2014). What is a Smart Building? *Smart and Sustainable Built Environment*, 3(2), 92–109. <https://doi.org/10.1108/SASBE-01-2014-0003>

- Calvo Garzón, P., & Keijzer, F. (2011). Plants: Adaptive behavior, root-brains, and minimal cognition. *Adaptive Behavior*, 19(3), 155–171. <https://doi.org/10.1177/1059712311409446>
- Cano-Suñén, E., Martínez, I., Fernández, Á., Zalba, B., & Casas, R. (2023). Internet of Things (IoT) in Buildings: A Learning Factory. *Sustainability*, 15(16), 12219. <https://doi.org/10.3390/su151612219>
- Cano-Suñén, E., Martínez-Ruiz, I., Castejón-Esteban, J. M., & León Casero, J. (2024). Las ciudades inteligentes, nuevo modelo de acceso al conocimiento urbano. In J. León Casero & M. Martínez Ciriero (Eds.), *Límites del globalismo tecnoliberal cosmopolita* (1ª Edición). Dykinson. <https://doi.org/10.14679/3202>
- Cano-Suñén, N. (2013). *Miradas y tensiones en los paisajes del valle de Carranza*. Tesis Doctoral Inédita. <http://hdl.handle.net/10810/12197>
- Carlini, J. (1988). The intelligent building definition handbook. *IBI, Washington, DC*.
- Casado de Rocha, A. (2004). Cosas libres y salvajes (introducción a Henry D. Thoreau). *Bitarte: Revista Cuatrimestral de Humanidades*, 32(11), 62–72.
- Casini, M. (2016). Designing the third millennium's buildings. *Smart Buildings*, 3–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100635-1.00001-0>
- Chamovitz, D. (2012). *What a Plant Knows*. A oneworld Book.
- Chayaamor-Heil, N., & Vitalis, L. (2021). Biology and architecture: An ongoing hybridization of scientific knowledge and design practice by six architectural offices in France. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 240–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.10.002>
- Chiesa, G., Fasano, F., & Grasso, P. (2021). A New Tool for Building Energy Optimization: First Round of Successful Dynamic Model Simulations. *Energies*, 14(19), 6429. <https://doi.org/10.3390/en14196429>
- Chinesta, F., Cueto, E., Abisset-Chavanne, E., Duval, J. L., & Khaldi, F. El. (2020). Virtual, Digital and Hybrid Twins: A New Paradigm in Data-Based Engineering and Engineered Data. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(1), 105–134. <https://doi.org/10.1007/s11831-018-9301-4>
- Chinesta Soria, F. (2018). *Acto de investidura del grado de Doctor Honoris Causa* (1ª Edición). Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Cilliers, P. (2001). Boundaries, Hierarchies and Networks in Complex Systems. *International Journal of Innovation Management*, 5. <https://doi.org/10.1142/S1363919601000312>
- Çıdık, M. S., & Phillips, S. (2021). Buildings as complex systems: the impact of organisational culture on building safety. *Construction Management and Economics*, 39(12), 972–987. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1966816>
- Clements-Croome, D. (2012). Intelligent Sustainable Liveable Cities. In *Proceedings - 8th International Conference on Intelligent Environments, IE 2012*. <https://doi.org/10.1109/IE.2012.65>

- Commission, E., & Centre, J. R. (2021). *Atlas of the human planet 2020: open geoinformation for research, policy, and action*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2760/16432>
- COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. (2022). *Climate Mainstreaming Architecture in the 2021-2027 Multiannual Financial Framework*. https://commission.europa.eu/system/files/2022-06/swd_2022_225_climate_mainstreaming_architecture_2021-2027.pdf
- Conway Morris, S. (Ed.). (2008). The deep structure of biology: is convergence sufficiently ubiquitous to give a directional signal? In S. Conway Morris (Ed.), *The deep structure of biology: is convergence sufficiently ubiquitous to give a directional signal?* Templeton Foundation Press.
- Coplien, J. O. (1998). *Space: The Final Frontier*. <https://people.cs.pitt.edu/~chang/budha/coplien.htm>
- Coyne, R. (2023). *Peirce. Sobre la Arquitectura* (1ª Edición). Reverté.
- Craik, K. J. W. (1943). The Nature of Explanation. *The Journal of Philosophy*, 40(24), 667. <https://doi.org/10.2307/2018933>
- Cuchanan, B. (2008). *Onto-Ehtologies. The Animal Environmentes of Uexküll, Heidegger, Merleau-Ponty, and Deleuze* (J. Baird Callicott and John van Buren, Ed.). State University of New York Press, Albany.
- Dawkins, R. (1989). *El relojero ciego*. ([1a ed., 1). Labor.
- Dawkins, R. (1993). El gen egoísta: Las bases biológicas de nuestra conducta. *Salvat*, 345.
- Dawkins, R. (1999). *El Fenotipo Extendido. El largo alcance del gen*. Titivillus.
- De Wilde, P. (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, 41, 40–49. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2014.02.009>
- DeLanda, M. (2021). *Teoría de los ensamblajes y complejidad social*. Tinta Limón.
- Deleuze, G. (1984a). *Spinoza: filosofía práctica* (2ª edición). Tusquets Editoriales, S.A.
- Deleuze, G. (1984b). *Spinoza: filosofía práctica* (2ª edición). Tusquets Editoriales, S.A.
- Deleuze, G. (2002a). *Diferencia y repetición* (Amorrortu Ediciones, Ed.; 1ª edición). Amorrortu Editores.
- Deleuze, G. (2002b). *Diferencia y repetición* (1ª edición). Amorrortu Editores.
- Deleuze, G. (2004a). *Spinoza: Filosofía práctica* (p. 161).
- Deleuze, G. (2004b). *Spinoza: Filosofía práctica* (p. 161). [papers3://publication/uuid/E9C7545B-8E6F-43F3-B1F9-E7F6E7BD6E84](https://publication/uuid/E9C7545B-8E6F-43F3-B1F9-E7F6E7BD6E84)
- Deleuze, G. (2005a). En medio de Spinoza. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Deleuze, G. (2005b). *Lógica del Sentido* (2ª impresi). Paidós.

- Deleuze, G. (2005c). *Lógica del sentido*. Paidós.
- Deleuze, G. (2014). *El poder. Curso sobre Foucault. Tomo II. 1986* (1ª edición). Cactus.
- Deleuze, G. (2017). *En medio de Spinoza. 1980-1981*. Cactus.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (2010). *Rizoma. Introducción* (séptima re). Pre-textos.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (2015). *Mil Mesetas* (12ª Edició). Pre-textos.
- Dennett, D. C. (2008). *Real patterns*.
- Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02010L0031-20210101#M1-6> (2021).
- Drum, S. N., Rappelt, L., Held, S., & Donath, L. (2023). Effects of Trail Running versus Road Running—Effects on Neuromuscular and Endurance Performance—A Two Arm Randomized Controlled Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4501.
- European Commission. (2016). *Paris Agreement*. European Commission. Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en
- European Commission. (2020a). *Renovation wave. Renovating the EU building stock will improve energy efficiency while driving the clean energy transition*. https://Energy.Ec.Europa.Eu/Topics/Energy-Efficiency/Energy-Efficient-Buildings/Renovation-Wave_en#:~:Text=To%20pursue%20this%20dual%20ambition,In%20the%20next%2010%20years.
- European Commission. (2020b). *Renovation wave. Renovating the EU building stock will improve energy efficiency while driving the clean energy transition*. European Commission. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- European Commission. (2020c, February 17). *In focus: Energy efficiency in buildings*. European Commission. https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en
- European Commission. (2021). *Energy performance of buildings directive*. https://Energy.Ec.Europa.Eu/Topics/Energy-Efficiency/Energy-Efficient-Buildings/Energy-Performance-Buildings-Directive_en.
- European Commission. (2022). *Smart Readiness Indicator (SRI) - Energy*. <https://Energy.Ec.Europa.Eu/System/Files/2022-06/SRI%20training%20slide%20deck%20-%20Version%202%20-%20Jan%202022%20-%20updated.Pdf>.
- European Commission, D.-G. I. M. I. E. and Sme. (2017). *Smart Building: Energy efficiency application*. <https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/Smart%20Building-%20Energy%20efficiency%20application%20%28v1%29.pdf>

- European Court of Auditors. (2020). *Energy efficiency in buildings: greater focus on cost-effectiveness still needed*. <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/en/index.html>
- européenne, C., l'énergie, D. générale de, Durier, F., De Strycker, M., Guyot, G., Sherman, M., Leprince, V., Urbani, M., De Blaere, B., Mélois, A., Selle-Marquis, P., Janssens, A., Decorte, Y., & Wouters, P. (2020). *Technical study on the possible introduction of inspection of stand-alone ventilation systems in buildings : final report*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2833/621790>
- Eurostat Statistic Explained. (2023, March). *Heating and cooling degree days - statistics*. Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Heating_and_cooling_degree_days_-_statistics
- Eurostat. Statistics Explained. (2023, May 15). *Final energy consumption by sector, EU, 2021*. Eurostat. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption_by_sector,_EU,_2021,_\(%25_of_total,_based_on_terajoules\).PNG](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption_by_sector,_EU,_2021,_(%25_of_total,_based_on_terajoules).PNG)
- Evans, D. (2011). *The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- Fernández-Galiano, L. (1991). *El fuego y la memoria: Sobre arquitectura y energía*. Alianza.
- Figueiredo, A., Kämpf, J., Vicente, R., Oliveira, R., & Silva, T. (2018). Comparison between monitored and simulated data using evolutionary algorithms: Reducing the performance gap in dynamic building simulation. *Journal of Building Engineering*, 17, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.02.003>
- Florenski, P. (2005). *La perspectiva invertida*. Ediciones Siruela. <https://archive.org/details/PavelFlorenskiLaPerspectivaInvertida>
- Foerster, H. Von. (2005). *Las semillas de la Cibernética* (Tercera ed). Gedisa, S. A.
- Foerster, H. Von, Conference, A. U. M., Bateson, G., Brand, S., Dass, B. R., Gal, G., Guinn, T., Hart, J., King, L. P., Lilly, J., Regan, B. O., Price, R., Shapiro, R., Tart, C., Taupin, J., Maier, K. Von, Watts, A., & Jane, M. (2008). Computing a Reality. *Foundations*, 4(1), 62–69.
- Fokaides, P. A., Panteli, C., & Panayidou, A. (2020). How Are the Smart Readiness Indicators Expected to Affect the Energy Performance of Buildings: First Evidence and Perspectives. *Sustainability*, 12(22), 9496. <https://doi.org/10.3390/su12229496>
- Franco, A., & Leccese, F. (2020). Measurement of CO2 concentration for occupancy estimation in educational buildings with energy efficiency purposes. *Journal of Building Engineering*, 32, 101714. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101714>
- Franco, A., & Schito, E. (2020). Definition of Optimal Ventilation Rates for Balancing Comfort and Energy Use in Indoor Spaces Using CO2 Concentration Data. *Buildings*, 10(8), 135. <https://doi.org/10.3390/buildings10080135>
- Gabriel, R. P. (1998). *Patterns of software : tales from the software community*. 235.

- Galle, P. (2020). Christopher Alexander's Battle for Beauty in a World Turning Ugly: The Inception of a Science of Architecture? *She Ji*, 6(3), 345–375. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2020.03.002>
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. M. (1994a). *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. 416.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. M. (1994b). *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. 416.
- García-Monge, M., Zalba, B., Casas, R., Cano, E., Guillén-Lambea, S., López-Mesa, B., & Martínez, I. (2023). Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain. *Energy and Buildings*, 112882. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112882>
- García-Peñalvo, F. J. (1998). Patrones. De Alexander a la Tecnología de Objetos. *Revista Profesional Para Programadores (RPP)*, 45, 44–52.
- Garzas, J. (2013). *Entrevista a Jim Coplien (2/2)*. <https://www.javiergarzas.com/2013/07/entrevista-a-jim-coplien-2.html>
- General Secretariat of the Council. (2019a). *Building a sustainable Europe by 2030 – Progress thus far and next steps - Council conclusions*. <https://www.consilium.europa.eu/media/41693/se-st14835-en19.pdf>
- General Secretariat of the Council. (2019b). *Building a sustainable Europe by 2030 – Progress thus far and next steps - Council conclusions (10 December 2019)*. <https://www.consilium.europa.eu/media/41693/se-st14835-en19.pdf>
- Gilbert, S. F., Sapp, J., & Tauber, A. I. (2012a). A Symbiotic View of Life: We Have Never Been Individuals. *The Quarterly Review of Biology*, 87(4), 325–341. <https://doi.org/10.1086/668166>
- Gilbert, S. F., Sapp, J., & Tauber, A. I. (2012b). A Symbiotic View of Life: We Have Never Been Individuals. *The Quarterly Review of Biology*, 87(4), 325–341. <https://doi.org/10.1086/668166>
- Givoni, B. (1969). *Man, climate and architecture*. Elsevier Publishing Company Limited.
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11–23. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)
- Grabow, S. (1983). *Christopher Alexander: The Search for a New Paradigm in Architecture*.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2013.01.010>
- Hans, J. (2015). *El principio de responsabilidad* (1ª edición). Herder Editorial.
- Hansell, M. H. (2007a). Animal Architecture. *Animal Architecture*, 1–334. <https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSO/9780198507529.001.0001>
- Hansell, M. H. (2007b). Built by animals : the natural history of animal architecture. In *Built by animals : the natural history of animal architecture*. Oxford University Press.

- Haraway, D. J. (1988). Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective. *Feminist Studies*, 14(3), 575–599. <https://doi.org/10.2307/3178066>
- Haraway, D. J. (2016). *Staying with the trouble. MakingKin in the Chthulecene*. (Duke Unive).
- Haraway, D. J. (2019a). *Las promesas de Monstruos. Ensayos sobre Ciencia, Naturaleza y Otros inadaptables* (1ª Edición). Holobionte Ediciones.
- Haraway, D. J. (2019b). *Seguir con el problema. Generar parentesco en Chthuluceno*. Edición consonni.
- Haraway, D. J. (2020). *Manifiesto Cíborg*. Kaótica Libros.
- Haraway, D. J. (2023). *Mujeres, simios y cíborgs*. Alianza Editorial.
- Hauser, J. (2022). Toward a “Bacterial Turn” in Art, Architecture and Design. CCCBLAB. <https://lab.cccb.org/en/toward-a-bacterial-turn-in-art-architecture-and-design/>
- Heidegger, M. (n.d.). ENTREVISTA DEL SPIEGEL A MARTIN HEIDEGGER.
- Heidegger, M. (1994). LA PREGUNTA POR LA TÉCNICA Martin Heidegger. *Conferencias y Artículos*, 9–37. <http://www.rae.com.pt/Heidegger.pdf>
- Heráclito. (2009). *Heráclito: fragmentos e interpretaciones* (J. L. Gallero & C. E. López, Eds.). Ediciones Ardora.
- Heredia, JM. (2014). Jakob von Uexküll, portavoz de mundos desconocidos. In *Cartas biológicas a una dama* (pp. 7–33). Cactus.
- Heredia, JM. (2016). Uexküll: la vida de los mundos. In *Andanzas por los mundos circundantes de los animales y los hombres*. Cactus.
- Herrando, M., Cambra, D., Navarro, M., de la Cruz, L., Millán, G., & Zabalza, I. (2016). Energy Performance Certification of Faculty Buildings in Spain: The gap between estimated and real energy consumption. *Energy Conversion and Management*, 125, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.037>
- Hetherington, W. (1999). Intelligent building concept. Ontario: EMCS Engineering Inc.
- Holland, J. H. (1992). Adaptation of Codings and Representations. In *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence* (pp. 141–158). MIT Press. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6285654>
- Holland, J. H. (2004). *El orden oculto : De cómo la adaptación crea la complejidad*. (1ª ed. en). Fondo de Cultura Económica.
- Holland, J. H. (2012). *Signals and Boundaries: Building Blocks for Complex Adaptive Systems*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9412.001.0001>
- Holland, J. H., Langton, C., & Wilson, S. W. (1992). *Complex Adaptive Systems* Bradford Books edition.
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (2009). *The Superorganism. The Beatuy, Elegance, and Strangeness of Insect Societies*. W.W. Norton & Company.

- Hui, Y. (2020). *Fragmentar el futuro. Ensayos sobre tecnodiversidad*. Caja Negra Editorial.
- Huttenhower, C., Gevers, D., Knight, R., Abubucker, S., Badger, J. H., Chinwalla, A. T., Creasy, H. H., Earl, A. M., FitzGerald, M. G., Fulton, R. S., Giglio, M. G., Hallsworth-Pepin, K., Lobos, E. A., Madupu, R., Magrini, V., Martin, J. C., Mitreva, M., Muzny, D. M., Sodergren, E. J., ... Consortium, T. H. M. P. (2012). Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature*, 486(7402), 207–214. <https://doi.org/10.1038/nature11234>
- International Energy Agency. (2018). *The Future of Cooling Opportunities for energyefficient air conditioning*.
- IPCC, T. I. P. on C. C. (2022). *Mitigation of Climate Change Climate Change 2022 Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf>.
- Ito, T. (2010). *La arquitectura de los límites difusos*. Gustavo Gili.
- Jia, M., Komeily, A., Wang, Y., & Srinivasan, R. S. (2019). Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Automation in Construction*, 101, 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.023>
- Jie, Y., Pei, J. Y., Jun, L., Yun, G., & Wei, X. (2013). Smart Home System Based on IOT Technologies. *2013 International Conference on Computational and Information Sciences*, 1789–1791. <https://doi.org/10.1109/ICCIS.2013.468>
- Joint Research Centre. (2003). *Indoor air pollution: new EU research reveals higher risks than previously thought*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_03_1278
- Jonas, H. (2019). El hombre como objeto de la técnica. In *El principio de responsabilidad* (pp. 49–54). <https://doi.org/10.2307/j.ctvt9k2sz.11>
- Justo Alonso, M., Wolf, S., Jørgensen, R. B., Madsen, H., & Mathisen, H. M. (2022). A methodology for the selection of pollutants for ensuring good indoor air quality using the de-trended cross-correlation function. *Building and Environment*, 209, 108668. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108668>
- Kabirikopaei, A., & Lau, J. (2020a). Uncertainty analysis of various CO₂-Based tracer-gas methods for estimating seasonal ventilation rates in classrooms with different mechanical systems. *Building and Environment*, 179, 107003. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107003>
- Kabirikopaei, A., & Lau, J. (2020b). Uncertainty analysis of various CO₂-Based tracer-gas methods for estimating seasonal ventilation rates in classrooms with different mechanical systems. *Building and Environment*, 179, 107003. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107003>
- Kamal Morsy Hussein, S., & Atef EL Desouky Faggal, A. E. D. F. (2021). Smart and Intelligent Buildings Achieving Architectural Concepts. *Engineering Research Journal - Faculty of Engineering (Shoubra)*, 50(1), 155–163. <https://doi.org/10.21608/erjsh.2021.226110>

- Kaneko, K. (2006). *Life: An Introduction to Complex Systems Biology*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32667-0>
- Kaneko, K., & Tsuda, I. (2001). *Complex Systems: Chaos and Beyond*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56861-9>
- Katz, D., & Skopek, J. (2009). The CABA Building Intelligence Quotient programme. *Intelligent Buildings International*, 1, 277–295. <https://doi.org/10.3763/inbi.2009.SI05>
- Kauffman, S. (1995). *At home in the universe. The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press.
- Kelemen, D., Rottman, J., & Seston, R. (2013). Professional physical scientists display tenacious teleological tendencies: Purpose-based reasoning as a cognitive default. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(4), 1074–1083. <https://doi.org/10.1037/a0030399>
- Kelly, K. (2016a). *The inevitable. Understanding the 12 technological forces that will shape our future*. Viking. Penguin Random House LLC.
- Kelly, K. (2016b). *The inevitable. Understanding the 12 technological forces that will shape our future*. Viking. Penguin Random House LLC.
- Kembel, S. W., Jones, E., Kline, J., Northcutt, D., Stenson, J., Womack, A. M., Bohannon, B. J. M., Brown, G. Z., & Green, J. L. (2012). Architectural design influences the diversity and structure of the built environment microbiome. *The ISME Journal*, 6(8), 1469–1479. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.211>
- Kojève, A. (2013). *Introducción a la lectura de Hegel*. Editorial Trotta.
- Koolhaas, R., AMO, & Harvard Graduate School of Design. (2018). *Elements of Architecture*. Taschen.
- Korberg, A. D., Thellufsen, J. Z., Skov, I. R., Chang, M., Paardekooper, S., Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2023). On the feasibility of direct hydrogen utilisation in a fossil-free Europe. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(8), 2877–2891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.170>
- Krier, L. (2013). *La arquitectura de la comunidad*. Editorial Reverté.
- Kroner, W. M. (1997). An intelligent and responsive architecture. *Automation in Construction*, 6(5–6), 381–393. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(97\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(97)00017-4)
- Kubwimana, B., & Najafi, H. (2023). A Novel Approach for Optimizing Building Energy Models Using Machine Learning Algorithms. *Energies*, 16(3), 1033.
- Kurzweil, R. (2012). *La Singularidad esta cerca : cuando los humanos transcendamos la biología*.
- La Mettrie, J. O. (1963). *El hombre máquina*. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Ladyman, J., Lambert, J., & Wiesner, K. (2013). What is a complex system? *European Journal for Philosophy of Science*, 3(1), 33–67. <https://doi.org/10.1007/s13194-012-0056-8>
- Ladyman, J., & Wiesner, K. (2020). What Is a Complex System? In *What Is a Complex System?* Yale University Press.

- Lagerspetz, K. (2001). Jakob von Uexküll and the origins of cybernetics. *Semiotica*, 2001, 643–651. <https://doi.org/10.1515/semi.2001.047>
- Langlotz, P., Klar, M., Yi, L., Hussong, M., Sousa, F. J. P., & Aurich, J. C. (2022). Concept of hybrid modeled digital twins and its application for an energy management of manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 112, 549–554. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.098>
- Larson, E. J. (2023). *El mito de la inteligencia artificial*. Shackleton Books, S.L.
- Laskowski, E. R., Newcomer-Aney, K., & Smith, J. (2000). Proprioception. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 11(2), 323–340.
- Latifah, A., Supangkat, S. H., & Ramelan, A. (2020). Smart Building: A Literature Review. *2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICISS50791.2020.9307552>
- Latour, B. (1999). *La esperanza de Pandora. Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. (Primera ed). Editorial Gedisa.
- Latour, B. (2003). The promises of constructivism. *Philosophy of Science*, 27–46.
- Latour, B. (2014). Agency at the time of the Anthropocene. *New Literary History*, 45, 1–18.
- Latour, B. (2017). *Facing Gaia. Eight lectures on the New Climatic*. Polity Press.
- Latour, B. (2019). “We don’t seem to live on the same planet...” — a fictional planetarium. In Kathryn B. Hiesinger & Michelle Millar (Ed.), *The Science and Politics of Landing on Earth* (pp. 193–199). MIT Press.
- Latour, B. (2021a). *¿Dónde estoy? Una guía para habitar el planeta*. Penguin Random House.
- Latour, B. (2021b). How to Remain Human in the Wrong Space? A Comment on a Dialogue by Carl Schmitt. *Critical Inquiry*, 47(4), 699–718. <https://doi.org/10.1086/714513>
- Latour, B., & Schultz, N. (2023). *Manifiesto ecológico político* (1ª Edición). Siglo XXI.
- Lawal, K., & Rafsanjani, H. N. (2022). Trends, benefits, risks, and challenges of IoT implementation in residential and commercial buildings. *Energy and Built Environment*, 3(3), 251–266. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.01.009>
- León Casero, J. (2019). Máquinas no-triviales en sociedades de control. Una lectura cibernética de la ontología maquina de Deleuze y Guattari. *Revista de Filosofía*, 46(1), 99–119. <https://doi.org/https://doi.org/10.5209/resf.75762>
- León Casero, J. (2021). Máquinas no-triviales en sociedades de control. Una lectura cibernética de la ontología maquina de Deleuze y Guattari. *Revista de Filosofía (Madrid)*, 46(1), 99–119. <https://doi.org/10.5209/resf.75762>
- León Casero, J. (2024). *Techno-naturans vs. Terraforming. The Technique-Nature Relationship in Ernst Bloch, Gilles Deleuze, and Benjamin Bratton* (pp. 3–20). https://doi.org/10.1007/978-3-031-50510-2_1
- Leopold, A. (2019). *Un año en Sant County*. Errata Nature Editores.

- Li, P., Parkinson, T., Schiavon, S., Froese, T. M., de Dear, R., Rysanek, A., & Staub-French, S. (2020). Improved long-term thermal comfort indices for continuous monitoring. *Energy and Buildings*, 224, 110270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110270>
- Lin, S.-K. (2001). Shape and Structure, from Engineering to Nature. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/61201057>
- López-Ochoa, L. M., Las-Heras-Casas, J., González-Caballín, J. M., & Carpio, M. (2023). Towards nearly zero-energy residential buildings in Mediterranean countries: The implementation of the Energy Performance of Buildings Directive 2018 in Spain. *Energy*, 276, 127539. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127539>
- Lucrecio. (2012). *De rerum natura. De la naturaleza*. (Primera ed). Acantilado.
- Ludwig, B. (1986). *Escritos de mecánica y termodinámica*. Alianza Editorial.
- Luhmann, N. (1996). *Introducción a la teoría de sistemas*. Universidad Iberoamericana.
- Luhmann, N. (1998). *Sistemas sociales. Lineamientos para una teoría general*. Anthropos.
- Mancuso, S. (2015). *Sensibilidad e inteligencia en el mundo*. Galaxia Gutenberg.
- Mancuso, S. (2021). *La planta del mundo*. Galaxia Gutenberg.
- Margulis, L. (2002). *Planeta simbiótico: un nuevo punto de vista sobre la evolución*. 175.
- Martínez, I., Zalba, B., Trillo-Lado, R., Blanco, T., Cambra, D., & Casas, R. (2021). Internet of Things (IoT) as Sustainable Development Goals (SDG) Enabling Technology towards Smart Readiness Indicators (SRI) for University Buildings. *Sustainability*, 13(14), 7647. <https://doi.org/10.3390/su13147647>
- MatLab & Simulink. (2023). *Ajustar datos con una red neuronal superficial - MATLAB & Simulink - MathWorks España*. <https://es.mathworks.com/help/deeplearning/gs/fit-data-with-a-neural-network.html>
- Maturana, H. (1995). *la realidad: ¿objetiva o construida*. I. *Fundamentos biológicos de la realidad* (1ª Edición). Editorial Anthropos.
- Maturana, H. (1997). *La objetividad. Un argumento para obligar* (1ª Edición). Dolmen Ediciones S.A.
- Mayr, E. (1996). What Is a Species, and What Is Not? *Philosophy of Science*, 63(2), 262–277. <http://www.jstor.org/stable/188473>
- McLuhan, M., & Parker, H. (1968). *Through the vanishing point. Space in poetry and painting*. Harper & Row. <https://archive.org/details/throughvanishing00mclu/mode/2up>
- Meadows, D. (2022). *Pensar en sistemas*. Capitán Swing Libros, S.L.
- Mehaffy, M. W. (2007). Notes on the genesis of wholes: Christopher Alexander and his continuing influence. *URBAN DESIGN International*, 12(1), 41–49. <https://doi.org/10.1057/palgrave.udi.9000182>
- Menges, A. (2012). Biomimetic design processes in architecture: morphogenetic and evolutionary computational design. *Bioinspiration & Biomimetics*, 7(1), 015003. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/7/1/015003>

- Miller, J. H., & Page, S. E. (2007). *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life* (STU-Stud). Princeton University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt7s3kx>
- Milne, M., & Givoni, B. (1979). Architectural design based on climate. *Energy Conservation through Building Design*, 96–113.
- Moe, K. (2013). Convergence: An architectural agenda for energy. In *Convergence: An Architectural Agenda for Energy*. Routledge.
- Morawska, L., Allen, J., Bahnfleth, W., Bluyssen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., Cao, J., Dancer, S. J., Floto, A., Franchimon, F., Greenhalgh, T., Haworth, C., Hogeling, J., Isaxon, C., Jimenez, J. L., Kurnitski, J., Li, Y., Loomans, M., Marks, G., ... Yao, M. (2021). A paradigm shift to combat indoor respiratory infection. *Science*, 372(6543), 689–691. <https://doi.org/10.1126/science.abg2025>
- Morin, E. (2011). *Introducción al pensamiento complejo*. Editorial Gedisa.
- Mozer, M. C. (2004). Lessons from an Adaptive Home. In *Smart Environments* (pp. 271–294). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/047168659X.ch12>
- Mozer, M. C. (2015). Lessons from an Adaptive Hom. In D. Cook & S. K. Das (Eds.), *Smart Environments: Technology, Protocols, and Applications*. Wiley.
- Mukherjee, M., & Cao, B. (2021). Engineering controllable biofilms for biotechnological applications. *Microbial Biotechnology*, 14(1), 74–78. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13715>
- Naess, A. (1973). The shallow and the deep, long-range ecology movement. A summary. *Inquiry*, 16(1–4), 95–100. <https://doi.org/10.1080/00201747308601682>
- Naess, A. (1995). Self-realization. An ecological approach to being in the world. In G. Sessions (Ed.), *Deep Ecology for the Twenty-First Century* (pp. 225–239). Shambhala.
- Neutra, R. (1954). *Survival Through Design* (Oxford Uni). Foruth Printing, 1964.
- Neves, C. E. B., & Neves, F. M. (2006). What is complex in the complex world? Niklas Luhmann and the theory of social systems. *Sociologias*, 1, 0–0. http://socialsciences.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-45222006000100004&nrm=iso
- Olgyay, V. (1967). Bioclimatic orientation method for buildings. *International Journal of Biometeorology*, 11(2), 163–174. <https://doi.org/10.1007/BF01426843>
- Ortega y Gasset, J. (1982). *Meditación de la técnica : y otros ensayos sobre ciencia y filosofía* (Alianza Editorial, Ed.). Revista de Occidente en Alianza Editorial. <https://www.casadellibro.com/libro-meditacion-de-la-tecnica-y-otros-ensayos-sobre-ciencia-y-filosofi-a/9788420641218/431424>
- Oti, A. H., Kurul, E., Cheung, F., & Tah, J. H. M. (2016). A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation. *Automation in Construction*, 72, 195–210. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.043>
- Pallasmaa, J. (2022). *Animales Arquitectos* (1ª Edición). Gustavo Gili.

- Park, K. (2005). *The Internet as a Complex System*.
- Payami, H. (2022). Chapter Three - The many genomes of Parkinson's disease. In T. R. Sampson (Ed.), *International Review of Neurobiology* (Vol. 167, pp. 59–80). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.irn.2022.07.007>
- Peirano, M. (2009). *El rival de Prometeo. Vida de Autómatas Ilustres* (S. Bueno Gómez-Tejedor & M. Peirano, Eds.). Editorial Impedimenta.
- Peirce, C. S. (2007). *La fijación de la creencia. Cómo aclarar nuestras ideas*. KRK Ediciones
- Pereira, V., Santos, J. D., Leite, F., & Escórcio, P. (2021). Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. *Energy and Buildings*, 250, 111292.
- Pereira, W., Bögl, A., & Natschläger, T. (2014). Sensitivity analysis and validation of an EnergyPlus model of a house in Upper Austria. *Energy Procedia*, 62, 472–481.
- Peter Baumgartner, Tina Gruber-Muecke, & Richard Sickinger. (2017). *Pursuit of Pattern Languages for Societal Change: Designing Lively Scenarios in Various Fields*. Edition Donau-Universität Krems. https://portfolio.peter-baumgartner.net/publication/2017-01-01_baumgartner_gruber-muecke_sickinger_2017/
- Pieters, I. I. C. P. (2001). Complex systems and patterns. *Emergence*, 6.
- Piselli, C., & Pisello, A. L. (2019). Occupant behavior long-term continuous monitoring integrated to prediction models: Impact on office building energy performance. *Energy*, 176, 667–681. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.005>
- Ploennigs, J., Schumann, A., & Lécué, F. (2014). Adapting semantic sensor networks for smart building diagnosis. *The Semantic Web–ISWC 2014: 13th International Semantic Web Conference, Riva Del Garda, Italy, October 19-23, 2014. Proceedings, Part II* 13, 308–323.
- Polo Blanco, J. (2008). Notas en torno a la Ética de Spinoza. *Bajo Palabra*, 3, 61–71. <https://doi.org/10.15366/bp2008.3.006>
- Poo, M., Pignatelli, M., Ryan, T. J., Tonegawa, S., Bonhoeffer, T., Martin, K. C., Rudenko, A., Tsai, L.-H., Tsien, R. W., & Fishell, G. (2016). What is memory? The present state of the engram. *BMC Biology*, 14, 1–18.
- Poongothai, M., Subramanian, P. M., & Rajeswari, A. (2018). Design and implementation of IoT based smart laboratory. *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 169–173. <https://doi.org/10.1109/IEA.2018.8387090>
- Powell, J. A. (1990). Intelligent design teams design intelligent buildings. *Habitat International*, 14(2–3), 83–94.
- Pratt, A. E., & McLain, D. K. (2002). Antisymmetry in Male Fiddler Crabs and the Decision to Feed or Breed. *Functional Ecology*, 16(1), 89–98. <http://www.jstor.org/stable/826634>
- Quefelec, S. (2022, November 10). *Cooling buildings sustainably in Europe: exploring the links between climate change mitigation and adaptation, and their social impacts*.

- European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/cooling-buildings-sustainably-in-europe>
- Rahm, P. (2021). *Escritos climáticos*. Puente editores.
- Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 378, 686–707. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045>
- Real Decreto 1826/2009, de 27 de Noviembre, Por El Que Se Modifica El Reglamento de Instalaciones Térmicas En Los Edificios, Aprobado Por Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio, Pub. L. No. 1826/2009, Boletín Oficial del Estado (2009).
- Reenskaug, T., Wold, P., & Lehne, O. A. (2020a). *Working with objects. The OOram Software Engineering Method. 1*. <https://doi.org/10.17632/8TJ2D5GH7B.1>
- Reenskaug, T., Wold, P., & Lehne, O. A. (2020b). *Working with objects. The OOram Software Engineering Method. 1*. <https://doi.org/10.17632/8TJ2D5GH7B.1>
- Rescher, Nicholas. (1998). *Complexity: a philosophical overview*. Transaction Publishers.
- Richmond, B. (2010). The thinking in systems thinking: Eight critical skills. *The Systems Thinker*, 21(3), 2–9.
- Riehle, D., Zlighoven, H., & Switzerl, U. (2000). Understanding and Using Patterns in Software Development. *Theory and Practice of Object Systems*, 2. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9942\(1996\)2:13.0.CO;2-#](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9942(1996)2:13.0.CO;2-#)
- Riskowski, J. L., Mikesky, A., Bahamonde, R. E., Alvey III, T. V., & Burr, D. B. (2005). *Proprioception, gait kinematics, and rate of loading during walking: are they related?*
- Rosenberg, E., Koren, O., Reshef, L., Efrony, R., & Zilber-Rosenberg, I. (2007). The role of microorganisms in coral health, disease and evolution. *Nature Reviews Microbiology*, 5(5), 355–362. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1635>
- Rosenow, J. (2022). Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? An evidence review. *Joule*, 6(10), 2225–2228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.015>
- Salingaros, N. (2004). Towards a Biological. Understanding of Architecture and Urbanism: Lessons from Steven Pinker. *Katarxis N° 3: New Science, New Urbanism, New Architecture?*, 3(3).
- Salingaros, N. (2014). Complexity in Architecture and Design. *Oz*, 36(1). <https://doi.org/10.4148/2378-5853.1527>
- Salingaros, N. (2020). *Beauty and the nature of matter: the legacy of Christopher Alexander*. <https://patterns.architexturez.net/doc/az-cf-198826>
- Salingaros, N. A. (2005). Principios de estructura urbana. In ... *la ciudad fractal*. Amsterdam, Holanda, Design Design Science Planning. <http://zakuski.utsa.edu/~salingar/POUS-spanish.pdf>

- Salingaros, N. A. (2020). It's Time for World Architecture to Learn from Christopher Alexander: Discovering Humanity's Relationship with the Universe. *She Ji*, 6(3), 376–380. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2020.08.002>
- Schmitt, C. (2019). *Tierra y mar*. Trotta Editorial.
- Segundo-Ortin, M., & Calvo, P. (2023). Plant sentience? Between romanticism and denial: Science. *Animal Sentience*, 8(33), 1.
- Semper, G. (2004). *Style in the technical and tectonic Arts; or, Practical Aesthetics*. Getty Publications.
- Sender, R., Fuchs, S., & Milo, R. (2016). Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body. *PLOS Biology*, 14(8), e1002533. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002533>
- Serón Arbeloa, F. J. (2022). *Eje cronológico de la evolución del procesamiento de la Información (Una cápsula del tiempo)*.
- Serón Arbeloa, F. J. (2023). *Cartografía de las ideas actuales sobre las máquinas inteligentes*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Serres, M. (1994). *El nacimiento de la física en el texto de Lucrecio. Caudales y turbulencias*. Pre-Textos.
- Sesana, M. M., & Salvalai, G. (2018). A review on Building Renovation Passport: Potentialities and barriers on current initiatives. *Energy and Buildings*, 173, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.027>
- Shalizi, C. R., & Crutchfield, J. P. (1999). *Computational Mechanics: Pattern and Prediction, Structure and Simplicity*. <https://doi.org/10.1023/A:1010388907793>
- Shepard, P. (1996). *The Only World We've Got*. Sierra Club Books.
- Shepard, P. (1998). *Coming home to the pleistocene*. ISLAND PRESS / Shearwater Books.
- Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482. <http://www.jstor.org/stable/985254>
- Simondon, G. (2015). *Individualización a la luz de las nociones de forma y de información*. Cactus.
- Simondon, Gilbert. (2007). *El modo de existencia de los objetos técnicos*. Prometeo Libros.
- Sinopoli, J. (2010a). The Foundations of a Smart Building. In *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders* (pp. 7–30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-653-8.00002-8>
- Sinopoli, J. (2010b). What Is a Smart Building? In J. Sinopoli (Ed.), *Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders* (pp. 1–5). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-653-8.00001-6>
- Sloterdijk. (2014). *El hombre operable, en Revista Artefacto. Pensamientos sobre la Técnica N° 4 - Seminario de Informática - Cátedra: Ferrer*. <http://resumenes-comunicacion-uba.blogspot.com/2014/06/sloterdijk-el-hombre-operable-en.html>

- Sloterdijk, P. (2018). *¿Qué sucedió en el siglo XX?* Siruela.
- Smil, V. (2021). *Energía y civilización. Una historia*. Arpa.
- So, A. T., & Chan, W. L. (1999). *Intelligent building systems* (Vol. 5). Springer Science & Business Media.
- Spinoza, B. (2011). *Ética: demostrada según el orden geométrico*. Alianza Editorial, S.A.
- Stenson, M. W. (2017). Christopher Alexander: Patterns, Order, and Software. In *Architectural Intelligence: How Designers and Architects Created the Digital Landscape* (pp. 21–76). MIT Press. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8290861>
- Stengers, I. (2013). *Au temps des catastrophes qui vient. Résister à la barbarie qui vient*. Editions La Découverte.
- Stengers, I. (2020). *Pensar con Whitehead: una creación de conceptos libre y salvaje*. Cactus.
- Sternberg, R. J. (1999). The Theory of Successful Intelligence. *Review of General Psychology*, 3(4), 292–316. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.3.4.292>
- Steven, J. (2003). *Sistemas Emergentes. O qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software* (F. de C. Económica, Ed.; 1ª).
- Stiegler, B. (2018). *La technique et le temps: La faute d'Epiméthée ; La désorientation ; Le temps du cinéma et la question du mal-être suivi de Le nouveau conflit des...* Fayard.
- Stoppard, T. (2015). *Hard Problem*. Faber & Faber; Main edition.
- Sun, Y., Wu, T.-Y., Zhao, G., & Guizani, M. (2015). Efficient Rule Engine for Smart Building Systems. *IEEE Transactions on Computers*, 64(6), 1658–1669. <https://doi.org/10.1109/TC.2014.2345385>
- Tagliabue, L. C., Re Cecconi, F., Rinaldi, S., & Ciribini, A. L. C. (2021). Data driven indoor air quality prediction in educational facilities based on IoT network. *Energy and Buildings*, 236, 110782. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110782>
- Taheri, S., Hosseini, P., & Razban, A. (2022). Model predictive control of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems: A state-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 60, 105067. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105067>
- Tanasiev, V., Pătru, G. C., Rosner, D., Sava, G., Necula, H., & Badea, A. (2021). Enhancing environmental and energy monitoring of residential buildings through IoT. *Automation in Construction*, 126, 103662. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103662>
- Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, 101, 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>
- Theis, K., Dheilly, N., Klassen, J., & Brucker, R. (2016). Getting the Hologenome Concept Right: an Eco-Evolutionary Framework for Hosts and Their Microbiomes. *MSystems*, 1(2), e00028-16. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00028-16>

- Thomas, L. (1974). *The Lives of a Cell*. The Viking Press. <https://www.amazon.com/Lives-Cell-Notes-Biology-Watcher/dp/0140047433?asin=0140047433&revisionId=&format=4&depth=1>
- Tian, X., Cheng, Y., & Lin, Z. (2022). Modelling indoor environment indicators using artificial neural network in the stratified environments. *Building and Environment*, 208, 108581. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108581>
- Tonegawa, S., Pignatelli, M., Roy, D. S., & Ryan, T. J. (2015). Memory engram storage and retrieval. *Current Opinion in Neurobiology*, 35, 101–109.
- Tonn, B. (2010). W.B. Arthur, The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves. *Futures*, 42(9), 1031–1032. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.08.014>
- Tratado teológico-político. (1996). *Spinoza, Baruch*. Alianza Editorial.
- Trewavas, A. (2005a). Green plants as intelligent organisms. *Trends in Plant Science*, 10(9), 413–419. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.07.005>
- Trewavas, A. (2005b). Plant intelligence. *Naturwissenschaften*, 92(9), 401–413.
- Tribunal de Cuentas Europeo. (2020). *Eficiencia energética: objetivos y progresos Gestión compartida entre la Comisión y los Estados miembros. Alcance y enfoque de la auditoría*.
- Tribunal de Cuentas Europeo. (2022). *Informe Especial Eficiencia energética en empresas*.
- Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, LIX(236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
- Uexküll, J. von. (1945). *Ideas para una concepción biológica del mundo*. Espasa-Calpe. <http://hdl.handle.net/10637/3724>
- Uexküll, J. von. (2014). *Cartas biológicas a una dama*. Cactus.
- Uexküll, J. von. (2016). *Andanzas por los mundos circundantes de los animales y los hombres*. Cactus.
- Uexküll, J. von. (2023). *Teoría de la vida*. Cactus.
- Uexküll, J. von. (2024). *Teoría de la significación*. Cactus.
- United Nations. (2023). *United Nations Sustainable Development Goals*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- United Nations. (2024). *Climate Change*. United Nations. Global Issues. <https://www.un.org/en/global-issues/climate-change>
- United States Environment Protection Agency (EPA). (2022, May). *Why Indoor Air Quality is Important to Schools*. <https://www.epa.gov/iaq-schools/why-indoor-air-quality-important-schools>
- Uriarte, I., Erkoreka, A., Legorburu, A., Martin-Escudero, K., Giraldo-Soto, C., & Odriozola-Maritorena, M. (2021). Decoupling the heat loss coefficient of an in-use office building into its transmission and infiltration heat loss coefficients. *Journal of Building Engineering*, 43, 102591. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102591>

- van der Meulen, R. (2015). *Gartner Says 6.4 Billion Connected “Things” Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015*. Gartner. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-11-10-gartner-says-6-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2016-up-30-percent-from-2015>
- Virilio, P. (1999). *La inseguridad del Territorio*. . La Marca Editora.
- Visser, W., & Fuller, R. B. (2013). Operating Manual for Spaceship Earth. *The Top 50 Sustainability Books*, 27–30. https://doi.org/10.9774/gleaf.978-1-907643-44-6_7
- Volkov, A., & Batov, E. (2015). Simulation of Building Operations for Calculating Building Intelligence Quotient. *Procedia Engineering*, 111, 845–848. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.156>
- von Foerster, H. (2003). On Constructing a Reality. In H. von Foerster (Ed.), *Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition* (pp. 211–227). Springer New York. https://doi.org/10.1007/0-387-21722-3_8
- Wallace, D. (2003). Everett and structure. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 34(1), 87–105. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-2198\(02\)00085-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-2198(02)00085-0)
- Wang, L., & Witte, M. J. (2022). Integrating building energy simulation with a machine learning algorithm for evaluating indoor living walls’ impacts on cooling energy use in commercial buildings. *Energy and Buildings*, 272, 112322.
- Whitehead, A. N. (1949). *La ciencia y el mundo moderno*. Editorial Losada.
- Whitehead, A. N. (1956). *Proceso y realidad*. Editorial Losada.
- Whole Earth Index*. (n.d.). Retrieved May 17, 2024, from <https://wholeearth.info/>
- Wiener, N. (1960). *Cibernética*. Guadiana de Publicaciones S.A.
- Wilson, E. O. (1992). *The Diversity of Life*. W.W. Norton & Company. <https://archive.org/details/diversityoflife0000wils/page/n7/mode/2up>
- Wilson, E. O. (1999). *Consilience. La unidad del conocimiento* (1ª Edición). Galaxia Gutenberg, S.A.
- Wohlleben, P. (2016). *La vida secreta de los árboles: descubre su mundo oculto: qué sienten, qué comunican* (11ª Edición). Ediciones Obelisco. https://books.google.es/books?id=UX_2jwEACAAJ
- Yang, C., Chen, Y., Li, N., Sun, Y., & Wu, R. (2020). EnergyPlus and Python Co-simulation Model to Support Machine Learning-Based Control of Ground-Source Heat Pump System. *Proceedings of the 11th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC 2019) Volume III: Buildings and Energy* 11, 759–766.
- Zou, P. X. W., Xu, X., Sanjayan, J., & Wang, J. (2018). Review of 10 years research on building energy performance gap: Life-cycle and stakeholder perspectives. *Energy and Buildings*, 178, 165–181. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.040>

“When you hear that something you cherish is a “construction” your first reaction is (check the right circle):

o to take a gun

o to seize a hammer

o to erect a scaffold

*Answer: If you checked the first, then you are a fundamentalist ready to annihilate those who appeal to the destruction of what remains strong only if it is unconstructed by human hands ; if you ticked the second, then you are a deconstructionist who sees construction as a proof of weakness in a building that should be pressed to ruins in order to give way to a better and firmer structure untouched by human hands ; if you checked the third, **then you are a constructivist, or, better, a compositionist engaged at once in the task of maintaining and nurturing those fragile habitations ; if you ticked them all, then you are hopelessly muddled...**”*

Bruno Latour (1947-2022)

