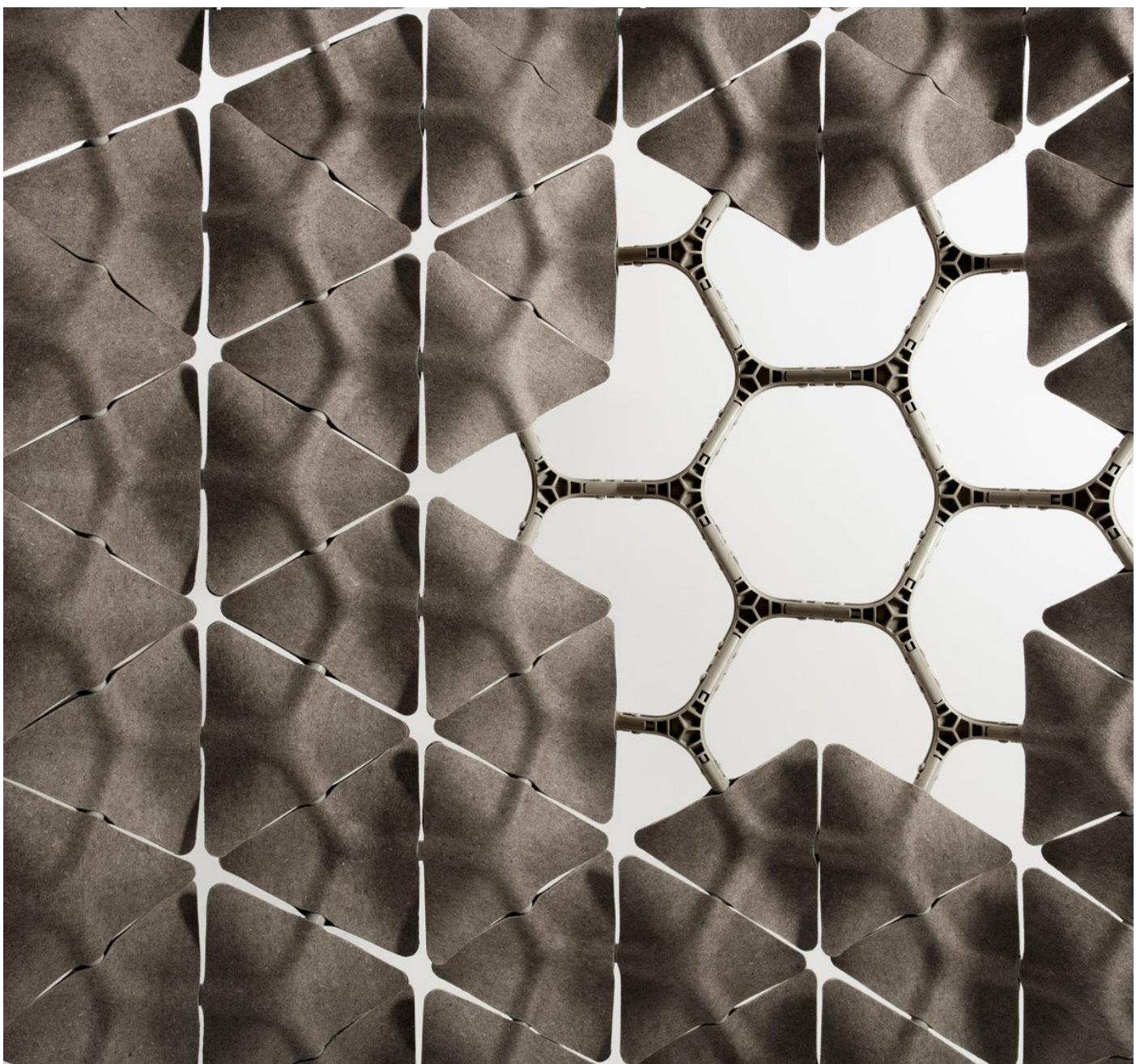


# ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO MODULAR Y SUS APLICACIONES

TRABAJO FINAL DE MÁSTER



Laura Asión Suñer  
*Máster en Ingeniería de Diseño de Producto*

# ÍNDICE

## Introducción

El proyecto.....	3
¿Por qué el diseño modular?.....	3

## Objetivos

Objetivos del TFM.....	4
Objetivos futura línea de investigación.....	4

## Metodología

Método de trabajo del TFM.....	5
Método futura línea de investigación.....	5
Resultados esperados (futuro).....	5

## Planificación

Puntos a realizar.....	6
Calendario.....	6

## Búsqueda de información

Resumen esquemático.....	8
Tesis.....	9
Artículos.....	12
Noticias.....	14

## ¿Qué es el diseño modular?

Definición.....	17
Modularidad.....	18
Arquitectura de producto.....	20
Plataforma de producto.....	22
Características.....	23
Sectores.....	24
Servicio modular.....	26
Ventajas del servicio modular.....	26
El contexto: Economía circular.....	27
Ventajas.....	29
Debilidades.....	30

## ¿Cómo se aplica?

Métodos actuales.....	32
Design Structure Matrix (DSM).....	33
DFM/DFA.....	34
Modular Function Deployment (MFD).....	35
Método FAST.....	36
Function Structure Heuristics.....	37
Object-Process Diagram (OPM).....	38
Ecodiseño basado en modularidad.....	39
Análisis del ciclo de vida.....	40
Métodos en desarrollo.....	42
Brand modularity matrix.....	43
Método FAS.....	44
Quantitative functional model.....	45
Teorías.....	46
Teoría de los policubos.....	47
Fabricación.....	48
Industria 4.0.....	49
Cultura maker (DIY).....	50
Usuario prosumer.....	51

## ¿Quién lo aplica?

Introducción.....	53
Casos documentados.....	54
Casos recientes.....	59
Análisis de los sectores.....	65

## Conclusiones

Conclusiones de otras tesis y artículos.....	67
Conclusiones del TFM.....	70

## Posibles líneas futuras de investigación

Introducción.....	73
Sostenibilidad.....	74
Continuación.....	75
Industria 4.0.....	76

# INTRODUCCIÓN

## El proyecto

Este trabajo final de máster (TFM) con título “Estudio de los métodos de diseño modular y sus aplicaciones” tiene por objeto ser la base de una futura línea de investigación en la que se pretende desarrollar un modelo metodológico de diseño para la creación de productos con características modulares. Es por esto que este trabajo es una primera fase de investigación donde se revisa el estado del arte en cuanto a estudios, investigaciones y metodologías desarrolladas sobre diseño modular. Su análisis permite definir con precisión el alcance real del desarrollo de una metodología de diseño conceptual modular, sus requisitos y los puntos determinantes a desarrollar.



Figura 1. Alfombra CitySpaces diseñada por ALLT Studio

## ¿Por qué el diseño modular?

En un mercado globalizado y competitivo, cada vez más sectores requieren de productos, tiempos de producción y costes más reducidos. En este contexto, el diseño modular tiene un papel primordial. Actualmente, las metodologías de trabajo desarrolladas en este ámbito, como el método FAST<sup>1</sup>, tienen un carácter puramente técnico y estructural, siendo su relación con el diseño conceptual más bien lejana. Los motivos que han condicionado la elección del tema son:

1. La creciente necesidad de aplicar el diseño modular en diversos sectores de producto. El diseño modular ofrece ventajas no sólo en la producción de un producto si no en la prolongación de su ciclo de vida. Actualmente ya se ha visto su aplicación en automóviles, tecnología móvil, electrodomésticos y mobiliario. Sin embargo, no existe una metodología de diseño modular susceptible de generar novedad e innovación que pueda extrapolarse a diferentes sectores de producto.
2. La escasa relación entre el diseño conceptual y el desarrollo de producto en la creación de productos modulares. Es necesario buscar nuevas metodologías que establezcan la relación entre el diseño conceptual y el desarrollo de producto a través de la unión el estudio de las funciones y estructuras con el diseño conceptual, como el método Structure Function Perform (SFP).
3. El contexto en el que se desarrolla la investigación. Existen campos de investigación sobre el diseño modular, así como proyectos y aplicaciones que han tenido lugar en diferentes sectores y siguen desarrollándose en la actualidad, como es el caso del Proyecto Ara<sup>2</sup> en tecnología móvil.

<sup>1</sup> FAST: Function-Assembly-Space.

<sup>2</sup> PROYECTO ARA: Iniciativa de Google para la creación de teléfonos inteligentes modulares.

# OBJETIVOS

## Objetivo del TFM

- Revisar el estado de la cuestión en cuanto a estudios, investigaciones, metodologías desarrolladas sobre diseño modular y sus aplicaciones en el diseño y desarrollo de producto.
- Recopilar una referencia bibliográfica completa de estudios, artículos y tesis sobre diseño modular.
- Definir qué es el diseño modular según diversos autores y especialistas.
- Investigar cómo se aplica el diseño modular a través de ejemplos reales y métodos desarrollados según diferentes sectores o en función de otros aspectos como el ciclo de vida del producto.
- Analizar quién ha aplicado el diseño modular (diseñadores, sectores y empresas) y cómo lo ha hecho.
- Obtener una serie de conclusiones que sean el punto de partida de la futura investigación.
- Definir el alcance real del desarrollo de una futura metodología de diseño conceptual modular, sus requisitos y puntos clave a desarrollar.

## Objetivos de la futura línea de investigación

Los resultados del TFM pretenden definir los siguientes, que pueden ir en la siguiente línea:

- Revisar el estado de la cuestión en cuanto a estudios, investigaciones, metodologías desarrolladas sobre diseño modular y sus aplicaciones en el diseño y desarrollo de producto (TFM).
- Desarrollar un modelo metodológico de diseño conceptual modular para la creación de productos con características modulares que pueda aplicarse a diferentes sectores de la industria.
- Verificar y analizar los resultados de la metodología desarrollada mediante su aplicación experimental en empresas de diferentes sectores.
- Analizar los resultados obtenidos en la experimentación mediante metodologías de evaluación y validación que permitan conocer objetivamente su eficiencia y funcionalidad.

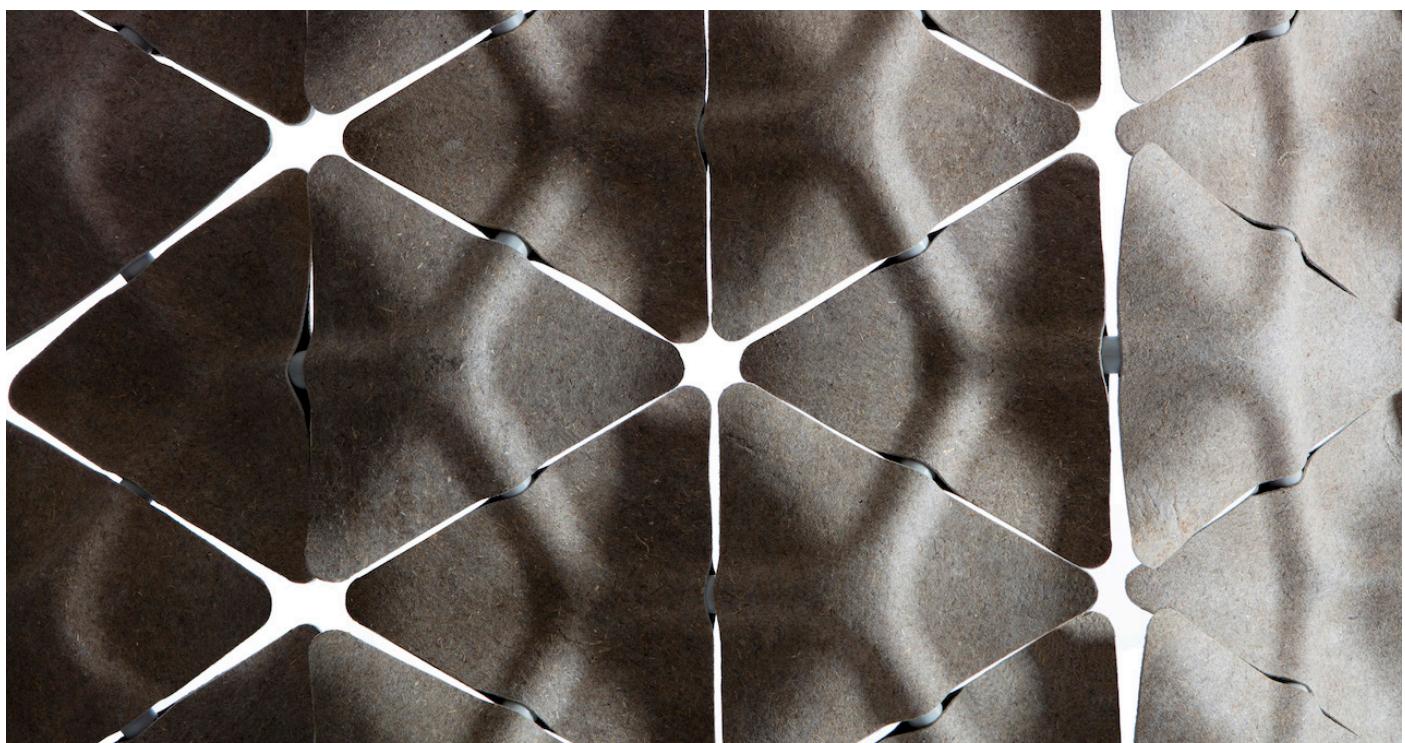


Figura 2. Scale: Un sistema de partición acústica modular y flexible diseñado por Benjamin Hubert

# METODOLOGÍA

## Método de trabajo del TFM

La metodología que se sigue en este trabajo fin de máster (TFM) es la siguiente:



Se pretende que este trabajo sea el punto de partida para la realización de una futura investigación centrada en el mismo ámbito. Para ello, su metodología comienza con una búsqueda bibliográfica que evidencie la importancia del tema y aporte la información necesaria para su estudio y análisis inicial. Se aborda el tema en tres aspectos: definición, aplicación y estudio de casos y ejemplos. Con toda esta información se obtienen unas conclusiones que son el punto de partida de la futura investigación y definen futuras líneas de investigación.

## Método de trabajo de la futura línea de investigación

Se desarrolla del siguiente modo:

1. Investigación y análisis. Definición de diseño modular y estudio de las metodologías actualmente utilizadas. Estudio de proyectos que abarquen el diseño y desarrollo de productos con características modulares en diferentes sectores de la industria.
3. Definición del estado del arte. Síntesis de la materia estudiada y extracción de conclusiones que definan los puntos clave y sean las bases de una nueva metodología de diseño conceptual modular.
4. Desarrollo metodológico. Definición de un nuevo modelo metodológico enfocado a la creación de productos con características modulares.
5. Experimentación y evaluación. Verificación del funcionamiento del modelo mediante experimentación y evaluación objetiva de los resultados que permita conocer su eficacia con respecto a diferentes parámetros o criterios.

## Resultados esperados (futuro)

- Definición del estado de la cuestión a través de la investigación de publicaciones, artículos y tesis, así como del estudio de campo de proyectos y ejemplos reales de diseño conceptual modular.
- Desarrollo de un modelo metodológico que permita la creación de productos con características modulares y cuya aplicación tenga en cuenta no sólo el diseño, sino el desarrollo funcional y estructural del producto final de modo que sirva de nexo de unión entre diseño y desarrollo. Asimismo, se pretende que su aplicación sea global y tenga cabida en cualquier sector del mercado que requiera un producto con estas características.
- Resultados que pongan de manifiesto la efectividad del método con respecto a diferentes criterios y su funcionamiento en diversos ámbitos. Generación de unas conclusiones finales que permitan conocer con precisión cuál es la situación más óptima para utilizar el método desarrollado en función de los resultados obtenidos en la previa experimentación.

# PLANIFICACIÓN

## Puntos a realizar

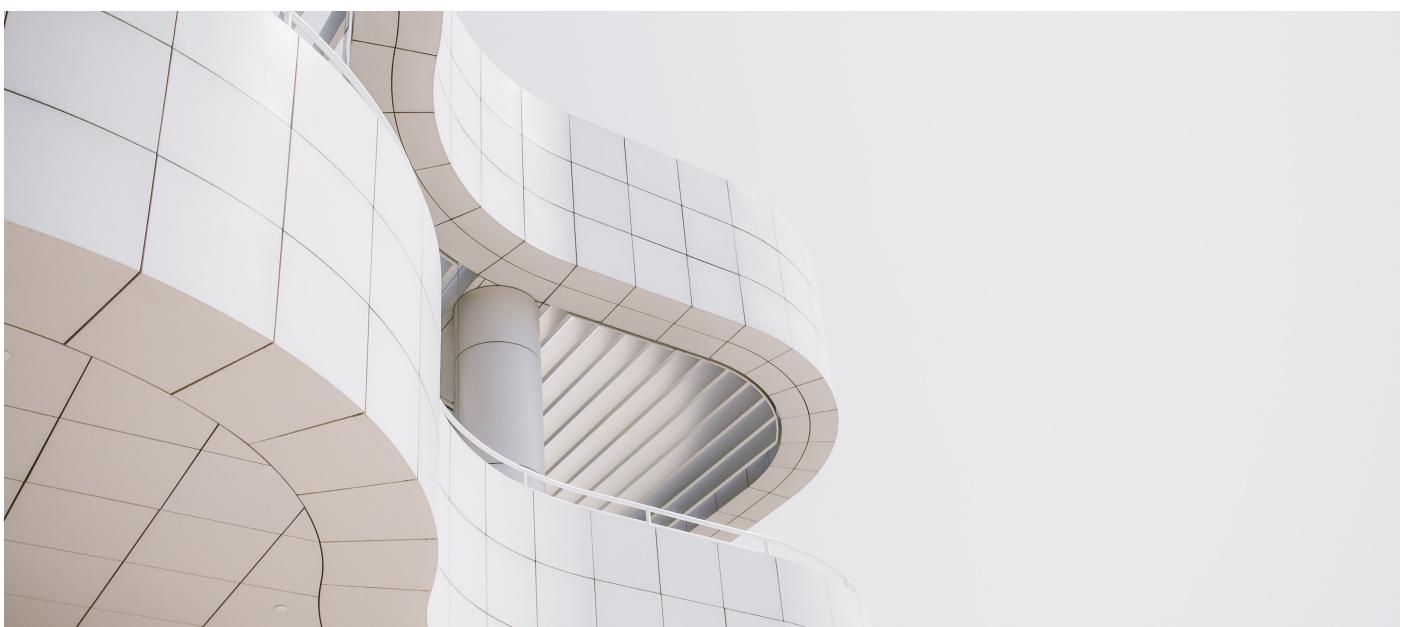
Las fechas a seguir para la realización del trabajo son las siguientes:

1. Planificación (1 marzo - 10 marzo)
2. Búsqueda de referencias bibliográficas (10 marzo - 24 marzo)
3. Definición de diseño modular (24 marzo - 7 abril)
4. Aplicaciones metodológicas (7 abril - 28 abril)
5. Personas, sectores y empresas que lo aplican (ejemplos y casos) (28 abril - 12 mayo)
6. Extracción de conclusiones y definición de futuros objetivos (12 mayo - 26 mayo)
7. Redacción de la memoria (26 mayo - 9 junio)

## Modificación de la planificación

Debido a problemas con los plazos anteriormente establecidos, la planificación final tuvo que ser modificada. Se pasó de establecer la fecha de entrega del proyecto de junio a septiembre, siendo los plazos finales los siguientes:

1. Planificación (5 marzo - 10 marzo)
2. Búsqueda de referencias bibliográficas (10 marzo - 31 marzo)
3. Definición de diseño modular (1 abril - 30 abril)
4. Aplicaciones metodológicas (1 mayo - 31 mayo)
5. Personas, sectores y empresas que lo aplican (ejemplos y casos) (1 junio - 16 junio)
6. Extracción de conclusiones y definición de futuros objetivos (17 junio - 1 julio)
7. Redacción de la memoria (2 julio - 15 julio)
8. Depósito del proyecto (28 agosto - 1 septiembre)
9. Presentación ante el tribunal (11 septiembre - 15 septiembre)

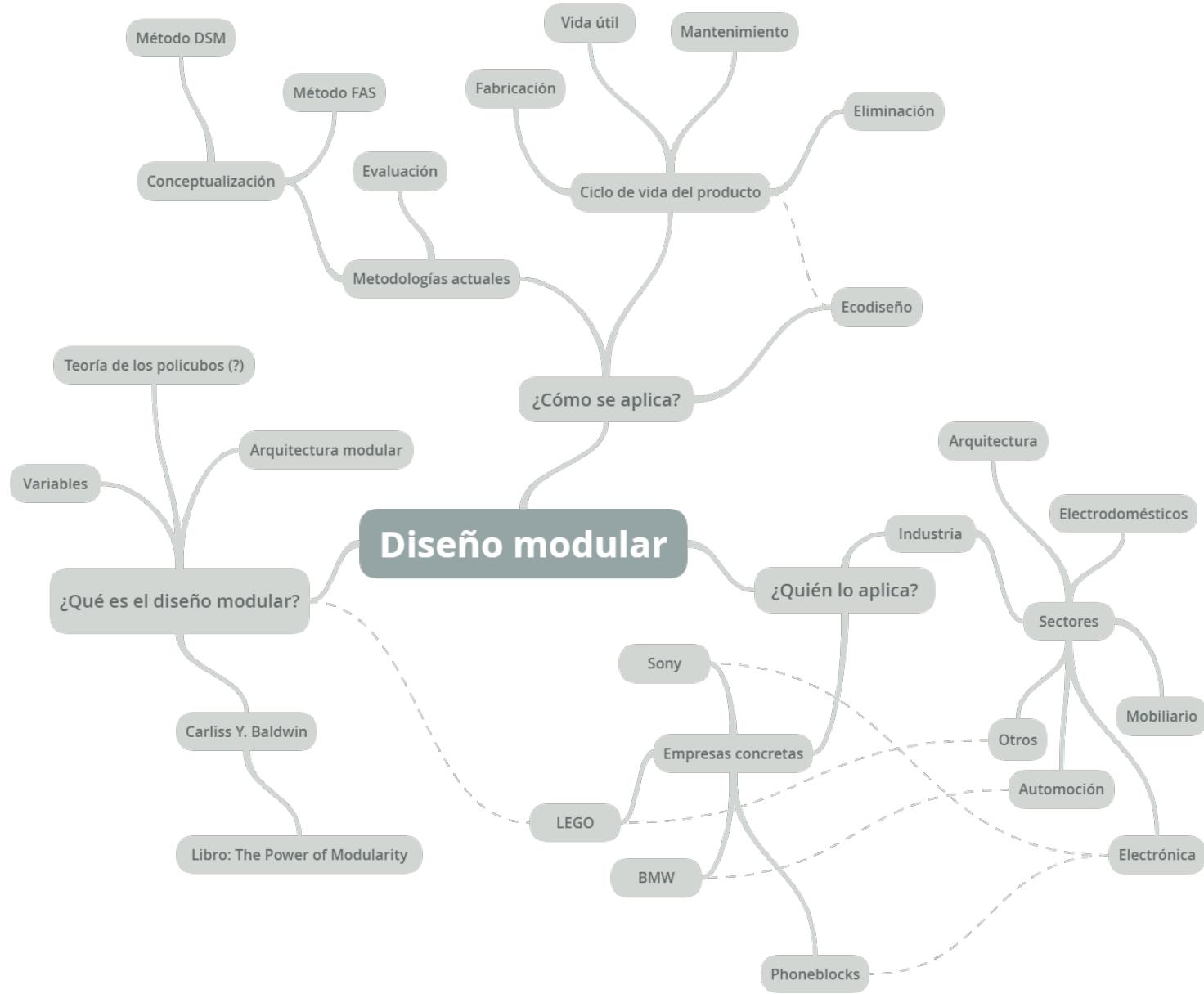




# BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

# BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## Resumen esquemático



Se ha utilizado la herramienta goconqr para realizar un esquema que organice toda la información que se pretende buscar o que se ha ido encontrando sobre cada aspecto del diseño modular que se quiere estudiar en este proyecto. Además de organizar la información de una forma más visual, también se han incorporado archivos y enlaces directos a las referencias bibliográficas de modo que se pueda acceder a estos de una forma más fácil a la hora de analizar la información.

Como se puede observar, el esquema comienza dividiéndose con los apartados que se pretenden estudiar: definición, quién lo aplica y cómo se aplica. Cada uno de ellos tiene puntos de información relacionados con los otros dos (líneas discontinuas) y, a parte de los apartados propios de cada uno, hay casos y ejemplos que explican cómo y quién aplica el diseño modular en la actualidad.

# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Para comenzar con el trabajo es importante encontrar un review del tema, es decir, un artículo o tesis que haga una revisión de lo que hay hasta ahora. Es por esto que es necesario realizar una búsqueda de otras investigaciones que supongan el punto de partida desde el que comenzar esta fase de análisis del estado del arte. Es preferible que estas investigaciones sean recientes, a ser posible de los últimos 3 años, aunque tampoco se descartan aquellas que daten de fechas anteriores y que estén estrechamente ligadas al tema de investigación debido a que también es interesante estudiar las primeras tesis que permiten ver la evolución del tema. Con esta búsqueda lo que se trata también es evidenciar el interés del tema y la importancia de desarrollar la investigación planteada en el contexto actual.

## Tesis

Las primeras búsquedas de tesis sobre diseño modular dan como resultado proyectos de desarrollo de sistemas modulares dentro de sectores como robótica, transporte, arquitectura... Sin embargo, ninguno trataba única y específicamente del diseño modular. Tras restringir la búsqueda aparecieron los primeros resultados. A continuación se citan seis tesis, con un breve resumen de cada una, que se han considerado de importancia para el desarrollo de esta investigación.

### *I. Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation. Marshall, Russell. (1998)*

"Modularización del diseño: una metodología basada en la ingeniería de sistemas para la mejora de la realización del producto" trata de la modularización del diseño de productos y su potencial para satisfacer las necesidades de fabricación y comercialización. La premisa es que las organizaciones de fabricación de productos no han podido aprovechar todo el potencial, adoptando un enfoque reactivo de la modularización dentro de la arquitectura de sus productos y su posterior fabricación. Los objetivos de esta tesis son desarrollar un marco de nivel de sistemas para la integración de productos y procesos, desarrollar una metodología estricta para la modularización del diseño y, finalmente, evaluar la modularidad a través del análisis de los casos y el modelado de software.

### *2. Modular Function Deployment (MFD)- A Method for Product Modularisation. Gunnar Erixon. (1998)*

"Despliegue de funciones modulares - Un método para la modulación de productos" introduce un método y procedimiento para el desarrollo de productos modulares incluyendo una herramienta para la evaluación de conceptos modulares basada en estudios de casos, datos empíricos encontrados en ejemplos de prueba y teorías de diseño aceptadas. El método se llama *Despliegue de función modular* y consta de cinco pasos principales. Comienza con el análisis de QFD (Quality Function Deployment) para aclarar los requisitos del cliente y para identificar requisitos de diseño importantes con un énfasis especial en la modularidad. Se analizan los requisitos funcionales del producto y se seleccionan soluciones técnicas. A continuación se generan y seleccionan sistemáticamente conceptos modulares, en los que se utiliza la Matriz de Indicación de Módulos (MIM) para identificar posibles módulos mediante el examen de las interrelaciones entre "controladores de módulos" y soluciones técnicas. Se proporciona un cuestionario para ayudar a esta actividad. MIM también proporciona un mecanismo para investigar las oportunidades de integrar múltiples funciones en módulos individuales. Se pueden estimar los efectos esperados del rediseño y se puede realizar una evaluación para cada concepto modular. La Matriz de Indicación de Módulo es entonces reutilizada para identificar oportunidades de mejoras adicionales a los módulos individuales. MFD se ha utilizado en una serie de ejemplos industriales reales de los cuales cinco se discuten en esta tesis. El método MFD ha mostrado una serie de ventajas propias del diseño modular.

# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## 3. MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN.

*Katja Hölttä-Otto. (2005)*

"Diseño de plataformas de productos modulares" muestra cómo definir módulos de plataforma comunes para productos electromecánicos. Esta tesis describe el estado actual del diseño de la plataforma modular e identifica las lagunas en el estado actual. La plataforma existente o los métodos de diseño modular están diseñados para productos únicos, identifican solo "núcleos" de módulo dejando la definición de límite final del módulo al diseñador, y usan sólo un conjunto limitado de criterios de evaluación. Este nuevo método introduce una herramienta para la identificación de módulos comunes en una familia de productos que puede utilizarse junto con otros métodos. Además, el algoritmo no se limita a una sola medida para el análisis de la concordancia. También incluye una métrica basada en minimizar el rediseño. Finalmente, utiliza una plataforma de criterios múltiples para mejorar la evaluación de las plataformas modulares. Ayuda a la empresa a centrarse en su estrategia y a comparar su plataforma con la de sus competidores. Las herramientas se describen en el contexto de todo el proceso de diseño de la plataforma y la validez de los métodos y la aplicabilidad al diseño de la plataforma se muestra a través de estudios de casos industriales y ejemplos.

## 4. Designing modular product architecture in the new product development.

*Lehtonen, T. (2007)*

"Diseño de una arquitectura de producto modular en el desarrollo de nuevos productos" examina las bases de la síntesis de la estructura modular en el diseño de nuevos productos. En una serie de estudios anteriores, la estructura funcional del producto se ha presentado como la base principal para la estructura modular. Sin embargo, la funcionalidad no siempre es relevante en el diseño de la división modular desde el punto de vista del entorno empresarial. No hay justificación para priorizar la estructura funcional sobre las otras motivaciones para la modularidad. En esta tesis se examina la definición de modularidad y ésta se divide como fenómeno en dos categorías: modularidad relacionada con la variación y modularidad relacionada con el ciclo de vida del producto. Como conclusión, se afirma que el proceso de análisis CSL (Company Strategic Landscape) que crea el modelo es claramente mejor que el basado en funciones. El método propuesto se compara con la investigación anterior y se demuestra que es posible implementar el proceso de diseño presentado de un nuevo producto modular incluso con las herramientas de diseño existentes.

## 5. THE IMPACT OF MODULAR DESIGN ON PRODUCT USE AND MAINTENANCE.

*Robert Joseph Smith. (2009)*

"El impacto del diseño modular sobre el uso y mantenimiento del producto" afirma que se sabe muy poco sobre cómo los usuarios responden a los diseños modulares y el papel del diseñador en el manejo de la modularidad. Esta tesis sirve como punto de partida para corregir esa deficiencia. Centra la investigación en los aspectos de la modularidad más disponibles para los usuarios. La tesis define términos de descomposición para describir el grado en que los usuarios tienen acceso a los componentes en sus productos. La descomposición a nivel de usuario es la más fácil con la que interactuar, permitiendo que las piezas sean cambiadas y reemplazadas manualmente con herramientas o entrenamiento mínimos, y a menudo en servicio directo de la función primaria del producto. La descomposición de nivel de mantenimiento permite aquellas acciones típicas destinadas a soportar las acciones primarias del producto. Puede requerir algunas herramientas o entrenamiento, pero no en exceso. Otros niveles de descomponibilidad pueden requerir instalaciones especiales o años de entrenamiento. Esta tesis se enfocó en la modularidad exhibida en los primeros dos grados de descomponibilidad, aquellos al alcance del consumidor típico. La investigación consistió en tres fases: una revisión de la literatura existente y el trabajo anterior, una fase de entrevista y una fase de encuesta. La fase de la entrevista sirvió para obtener términos comunes para discutir la percepción de la modularidad en los productos de consumo.

# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## 6. Modular Product Development for Mass Customization.

AHM Shamsuzzoha. (2010)

(Título: "Desarrollo modular de productos para personalización masiva") La personalización del producto es una preocupación creciente en el entorno competitivo de hoy en día. El éxito de la personalización se logra reconfigurando el proceso de desarrollo del producto y las estrategias de negocio con respecto a las necesidades de los clientes y los requisitos de producción. Para ello, se requiere un nuevo nivel de integración de la información entre los participantes en el desarrollo de productos. En esta investigación, se desarrolla la integración de sistemas de información entre clientes potenciales, diseñadores y fabricantes con el fin de fabricar productos modulares a medida. Los objetivos se exploran a través de tres preguntas: ¿cómo afecta el manejo del intercambio de información al uso de las prácticas de desarrollo de productos?; ¿Cómo se puede implementar el proceso de configuración para las prácticas de desarrollo de productos y su usabilidad en el principio de personalización?; ¿cómo pueden integrarse diferentes medidas de desarrollo para apoyar las soluciones del mercado y los recursos internos de una empresa? La contribución de esta investigación es el desarrollo de un marco para la gestión del proceso de configuración, que vincula el proceso de gestión de la información y la estrategia de desarrollo de productos específicos de una empresa.

## 7. METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA SELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES.

Marcos Echevarría-Quintana. (2015)

Las investigaciones recientes sobre el análisis de los sistemas de desarrollo de producto hacen referencia a la búsqueda de metodologías que establezcan los vínculos entre el concepto de diseño y el desarrollo con el objetivo de conseguir soluciones modulares que determinen las diferentes plataformas de producto. Los fabricantes de producto requieren de actualizar los sistemas de desarrollo para reducir los tiempos y costes de diseño. La principal aportación que se hace con ésta tesis, es la de cambiar los paradigmas que se tienen del diseño clásico o tradicional, que parte de la idea de crear productos para satisfacer las necesidades de los clientes, a un diseño conceptual modular. Pero para mejorar los objetivos, en un mercado mundial y competitivo, se tienen que cubrir las necesidades de una población mayor con una reducción de los recursos, y esto se está logrando con las plataformas de productos. Para ello esta tesis destaca la necesidad de desarrollar plataformas de productos desde la fase de concepto. Las verificaciones que se presentan, van encaminadas a demostrar las necesidades de encontrar sistemas que se desarrolle como modulares determinando la aplicación de nueva tecnología o la visión general de la plataforma que permita su utilización en distintos productos. También se ha realizado una recolección de datos en un vasto estudio del arte, en la que se han encontrado numerosos equipos de trabajo que desarrollan éste tema, y en los que se han identificado las necesidades actuales que se tienen de mejorar las metodologías para tener conclusiones satisfactorias. La tesis se ha estructurado en una descripción de los procesos de desarrollo de producto, revisión de las metodologías actuales sobre el tema, descripción de la propuesta metodológica a fin de concluir con la verificación o validación de las ideas con casos prácticos.

Estas siete tesis evidencian la importancia del diseño modular en la actualidad, donde éste tiene una gran necesidad de desarrollo debido al contexto en el que se sitúa con variables como un mercado competitivo, menos recursos, más exigencias tanto de los clientes como de las empresas, necesidad de personalización del producto, etc.

Por otra parte, también suponen un buen punto de partida para continuar con la investigación, pues muchas de ellas definen el estado del arte de este tema, aunque cada una lo dirija al contenido propio de su tesis. Sin embargo, todas ellas coinciden en las ventajas que supone el uso del diseño modular en la actualidad y en la necesidad de aplicarlo en el mercado actual.

# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## Artículos

Al igual que en la búsqueda de tesis, las primeras búsquedas de artículos daban como resultado proyectos de desarrollo de sistemas modulares dentro de sectores concretos. A continuación se citan seis artículos, con un resumen de cada uno, que se han considerado de importancia para el desarrollo de la investigación.

### *1. MODULAR PRODUCT ARCHITECTURE.*

*Jeffrey B. Dahmus, Javier P. Gonzalez-Zugasti, Kevin N. Otto. (2000)*

"ARQUITECTURA DE PRODUCTO MODULAR" presenta un enfoque para la arquitectura de una familia de productos que comparten módulos intercambiables. En lugar de una plataforma de producto fijo sobre la cual se crean productos derivados mediante la sustitución de varios módulos complementarios, este enfoque permite que la propia plataforma sea tratada como un módulo más. Por lo tanto, el sistema es una colección de módulos, cada uno de los cuales puede ser uno de varios tipos. El artículo comienza por desarrollar estructuras funcionales de cada producto, donde cada una incorpora un principio físico específico subyacente a la tecnología común. A continuación, se comparan estas estructuras de función para determinar módulos comunes y únicos. Las reglas de modularidad del producto se aplican entonces para determinar otros módulos posibles. Cada arquitectura se representa utilizando una matriz de modularidad de funciones versus productos, con niveles de función. Este método proporciona un enfoque sistemático para generar arquitecturas posibles y sirve como una ayuda de comunicación para las deliberaciones del equipo de diseño.

### *2. Using quantitative functional models to develop product architectures.*

*Robert B. Stone, Kristin L. Wood, Richard H. Crawford. (2000)*

"Uso de modelos cuantitativos funcionales para desarrollar arquitecturas de productos" abarca la transformación del modelo funcional en diseños de productos alternativos. En este trabajo se introduce una metodología para representar un modelo funcional de un producto de forma cuantitativa. Además de describir la funcionalidad del producto, el modelo funcional cuantitativo también incorpora las calificaciones de necesidad del cliente. El conocimiento del diseño del producto puede ser archivado y transmitido en bases de datos utilizando esta nueva representación. Las manipulaciones numéricas de dicha base de datos ayudan a desarrollar arquitecturas de productos. En particular, las familias de productos y las calificaciones de necesidades de los clientes para los módulos se calculan fácilmente. Antes de la metodología, se da una revisión de las técnicas de recolección de necesidades del cliente y los métodos de identificación de módulos. Los resultados de una base de datos de 70 productos de consumo se presentan para ilustrar la utilidad del modelo funcional cuantitativo.

### *3. MODULARIZATION TO SUPPORT MULTIPLE BRAND PLATFORMS.*

*Robert B. Stone, Kristin L. Wood, Richard H. Crawford. (2001)*

("MODULARIZACIÓN PARA APOYAR MÚLTIPLES PLATAFORMAS DE MARCA") Los métodos para determinar la arquitectura de múltiples plataformas que soportan diversas marcas deben tener en cuenta tanto el ahorro común de piezas como el aumento de ingresos para la empresa. Actualmente, estos métodos de arquitectura determinan la modularización basada únicamente en las funciones, haciendo que la identidad de la marca se pierda parcialmente. Esta investigación introduce tres reglas de arquitectura para mantener la identidad de la marca en las plataformas: se debe asegurar una identidad dominante en cada producto de la marca, y se debe transferir a la estética y apariencia del resto de plataformas de producto; los elementos críticos de la identidad de marca (colores, formas...) deben hacerse comunes en todos los productos de la marca; y, finalmente, para cualquier plataforma, los elementos específicos de la marca se deben mantener únicos en cada variante del producto. Una representación matricial de cada plataforma y sus variantes de marca soportadas es útil como herramienta de arquitectura para hacer que el conjunto de elementos identificativos de la marca aparezcan en la plataforma.

# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## 4. Application of modularity in world automotive industries.

Ahm Shamsuzzoha, Petri T. Helo, Tauno Kekäle. (2010)

(“Aplicación de la modularidad en las industrias automovilísticas mundiales”) Hoy en día las industrias automotrices mundiales están implementando cambios considerables en sus líneas de producción, lo que conduce a una mayor competencia y ciclos de vida más cortos del producto. La producción de una variedad de productos con mayor calidad y menor costo podría asegurar una mayor satisfacción del cliente. Todas las industrias automotrices, especialmente los fabricantes de automóviles, están obligados a aumentar su segmento de mercado para garantizar los objetivos relacionados con el costo y el éxito sobre los competidores. Por lo tanto, deben reconsiderar su metodología de desarrollo de productos con el fin de cumplir estos objetivos. El objetivo de este trabajo es investigar los pros y los contras del concepto de modularidad que puede aplicarse en las industrias del automóvil con el fin de mejorar los procesos de desarrollo de productos. La modularidad está cobrando cada vez mayor importancia en las empresas manufactureras; especialmente en las industrias del automóvil. Las estructuras de productos modulares garantizan mejoras reales y proporcionan beneficios considerables para las empresas, como tiempo reducido en el mercado (*Time to Market*), aumento de las variantes del producto, mejora de la calidad del producto, etc.

## 5. Optimum Overall Product Modularity.

Mohamed Kashkoush, Hoda ElMaraghy. (2016)

(“Optimización general de la modularidad del producto”) La modularidad en la arquitectura del producto es beneficiosa tanto para el desarrollo del producto como para la fabricación. Existen varios métodos para agrupar componentes de producto en módulos, donde todos, con pocas excepciones, no consideran la estructura jerárquica del producto. La arquitectura de los productos consiste en una serie de niveles jerárquicos, que añaden una dimensión útil al análisis de la modularidad. El principal objetivo de este trabajo es diseñar una arquitectura de productos que maximice la modularidad en todos los niveles de la estructura del producto (es decir, la modularidad general). Las interacciones entre los diversos componentes del producto se representan utilizando una matriz de estructura de diseño (DSM). La arquitectura del producto está representada por el árbol de la estructura del producto en forma de un árbol con raíces binarias. Se desarrolla un nuevo Modelo de Programación Matemática para construir el correspondiente árbol de estructura de producto para un producto dado que asegura una modularidad óptima en todos los niveles jerárquicos, sin conocimiento previo de su número. El método de diseño de arquitectura de producto modular óptimo propuesto se demuestra utilizando un estudio de caso de producto real. La modularidad general óptima conduce a una mejor gestión de los cambios en el producto y la variedad y un desarrollo y fabricación de productos más rentables.

Estos artículos evidencian la importancia del diseño modular y su aplicación en diversos sectores, así como la necesidad de encontrar nuevas metodologías y técnicas que mejoren dicha aplicación. Por otra parte, se han encontrado referencias cruzadas entre las tesis anteriormente analizadas y estos artículos, lo que supone una base sólida para continuar con la investigación sobre el diseño modular.

# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## Noticias

También se ha considerado relevante, además de encontrar un review del tema, saber cuál es su situación actual y qué se está desarrollando actualmente. Para ello, se ha realizado una búsqueda de diversas noticias recientes que hablen del diseño modular y de su aplicación por parte de empresas en nuevos productos. Así, se evidencia que la evolución del diseño modular no se realiza sólo de manera teórica a través de artículos y tesis si no que es una realidad en el mercado actual.

### *“Uno de los impulsores de Amazon Go vende casas modulares a domicilio” (13/04/2017) El Mundo.*

La construcción industrializada de viviendas avanza a paso agigantado. El sistema *Blokable* reduce los plazos de construcción de casas de años a semanas, empleando la tecnología de producción modular y dando lugar a viviendas en bloque, adaptables e independientes, a un precio de entre 23.000 y 94.000 euros. Según sus impulsores, construir con el sistema *Blokable* tiene numerosas ventajas frente a la construcción tradicional, como su rapidez, eficiencia y diseño. Cada bloque de viviendas dispone de tecnología domótica y sistemas de eficiencia energética. Por otra parte, los usuarios pueden personalizar sus casas y añadir cocinas y baños modulares, escaleras y ventanas. Por ahora, el prototipo contempla módulos de entre seis y 12 metros de longitud. Tras su construcción, los módulos se transportan en camiones desde la fábrica. Se trata, en definitiva, de un concepto innovador, que supera la construcción de viviendas modulares y que da fe de la transformación que experimenta el sector inmobiliario en todas sus facetas: desde el boceto del proyecto hasta la entrega final del producto.



### *“El MIT crea la casa transformer” (09/06/2017) El País.*



El proyecto incluye una serie de muebles conectados que crean diferentes estancias, dependiendo de la configuración. El objetivo es guardar aquello que no se utilice. Esta idea nació en 2014 de la mano del MIT (Massachusetts Institute of Technology) como un proyecto experimental bautizado como *CityHome* y se ha convertido en una realidad de la mano de *Ori Systems*. Bajo el eslogan *Una habitación, muchas soluciones*, la casa *Ori* se compone de una serie de muebles conectados que, dependiendo de la configuración, presentan un dormitorio, un estudio, salón, y por descontado, cocina y baño. La idea básica es que el usuario disfrute de la configuración de casa que requiera en cada circunstancia. Así, basta con pulsar el botón correspondiente -existe una app para ello- y los muebles se moverán. Además de ordenar todo el mobiliario, juega con la iluminación para transformar el ambiente. También integra un sistema por voz para realizar estas mismas funciones. *Ori* ha comenzado la distribución del producto a grandes empresas inicialmente, pero la idea es que llegue al usuario final más adelante como una solución llave en mano: la firma lo instala al comprador.

# 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

## *“Lenovo Moto Z, un móvil modular con picoproyector” (07/12/2016) 20minutos.*

El mercado actual de móviles modulares cuenta ya con diversos ejemplos como LG, que cometió algunos errores básicos en su propuesta de módulos para el LG G5, o Google, que apostó por una propuesta más radical (proyecto ARA) pero que no está a la altura de competir con móviles “todo en uno” a un precio aceptable. Así es como se llegó a los Moto Mods del Lenovo Moto Z, posiblemente la mejor propuesta de módulos para smartphones que llegan con cierto equilibrio entre el precio y las prestaciones que ofrecen. El concepto de los Mods es algo nuevo que seguro que muchos podrán aprovechar en su uso cotidiano.



## *“Camal Edit, el revolucionario coche autónomo y modular” (25/05/2017) Bolsamanía.*

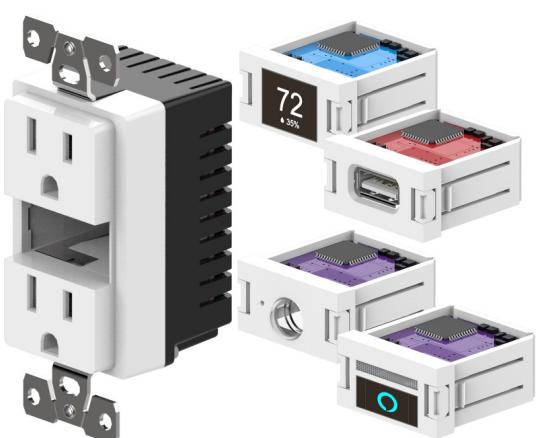


Camal, un estudio de diseño e ingeniería con base en Turín (Italia), que con la colaboración de OSVehicle acaba de diseñar y desarrollar el primer vehículo modular autónomo del mundo, el *Camal Edit*. Su configuración se puede cambiar según los gustos y necesidades del comprador. Se trata de un vehículo totalmente autónomo y modular diseñado específicamente para la industria de servicios y las empresas de construcción de automóviles. Tiene una sola plataforma modular básica sobre la cual los clientes pueden agregar su propio diseño e incluso intercambiar los paneles de la carrocería a voluntad.

El proyecto permite a las empresas que comprarían este vehículo poder diseñar sus propios prototipos y fabricar coches eléctricos y servicios de transporte personalizados. El cuerpo del *Camal Edit* se divide en cinco áreas principales: parte delantera, parte trasera, techo, puertas dobles simétricas y chasis. Los cuatro elementos en la parte superior del chasis están diseñados para reducir costes y facilitar los trabajos de fabricación y alcanzará el nivel 5 de conducción autónoma, es decir, casi sin participación humana.

## *“Swidget, el sistema modular que añade inteligencia a los enchufes de casa” (26/6/2017) Xataka.*

Swidget es un concepto modular que utiliza los huecos de los enchufes de la casa para introducir nuevas funcionalidades. Transforma los enchufes clásicos en otros con dos tomas con un espacio intermedio en el que se insertan diferentes módulos fáciles de poner y quitar, cada uno pensado para realizar una función concreta. Hay módulos de todo tipo: sensores de movimiento, detectores de humo, módulos de conectividad WiFi, altavoces Bluetooth, puertos USB, sensores de temperatura, extensores de Amazon Echo, etc. Son compatibles con la red local pero también pueden funcionar de forma independiente. Además, el punto fuerte de Swidget es que se entrega a las empresas interesadas un kit de desarrollo para que diseñen sus propios módulos y aplicaciones, dándole mayor versatilidad al conjunto.



Como se puede observar, las 5 noticias citadas tratan el diseño modular desde la actualidad. Éste se puede ver aplicado en diversos sectores como la arquitectura, el mobiliario, la telefonía móvil, el automovilismo y el energético, en manos de diversas empresas que han decidido apostar por la modularidad debido a todos los beneficios que ello conlleva en el mercado actual ante los competidores.



¿QUÉ ES EL  
DISEÑO  
MODULAR?

# ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

## Definición

En la revisión realizada a artículos y tesis no se ha encontrado ninguna definición precisa sobre el diseño modular. En su lugar, todas las investigaciones se han centrado en definir el concepto de modularidad y lo que ésta supone en el diseño, como se ve en el siguiente apartado. Otras investigaciones incluyen también la definición de arquitectura de producto y plataforma para explicar con mayor detalle el contexto del diseño modular y todo lo que éste incluye en el diseño y desarrollo de productos.

Una de las definiciones más generales sobre el diseño modular la ofrece Lonnie R. Morris en su libro *Handbook of Research on Instructional Systems and Educational Technology* y lo define como:

*"El diseño modular es un enfoque de diseño que subdivide un sistema en partes más pequeñas llamadas módulos, que se crean de forma independiente y luego se utilizan en diferentes sistemas. Un sistema modular se caracteriza por: la división funcional en módulos escalables y reutilizables; el uso de interfaces modulares bien definidas; y el uso de los estándares de la industria para dichas interfaces."* (Lonnie R. Morris)

Sin embargo, una de las primeras aplicaciones donde se empezó a hablar de diseño modular fue en la programación de los ordenadores. En este campo, los autores Baldwin y Clark ya citaron en el libro *Design Rules, volume 1: The Power of Modularity* que:

*"Las computadoras utilizan la modularidad para superar las cambiantes demandas de los clientes y hacer que el proceso de fabricación sea más adaptable al cambio."* (Baldwin and Clark)

Por otra parte, en uno de los primeros trabajos para discutir la teoría del diseño modular, Ulrich y Tung (*Fundamentals of Product Modularity*) citan la modularidad del producto como una meta de diseño. Además, afirman que:

*"El objetivo del diseño modular es agrupar todos los atributos con procesos de ciclo de vida similares en un solo módulo y desacoplarlos de todos los demás atributos y procesos del ciclo de vida."* (Ulrich y Tung)

Newcomb, et al. (*Implications of Modularity on Product Design for the Life-cycle*) discuten el papel de la arquitectura del producto en el diseño modular. Examinan el efecto de la arquitectura modular en el ciclo de vida del producto a través de la aplicación de una metodología de matrices y manifiestan que:

*"A través de nuestro ejemplo superficial, hemos visto que un defecto de la metodología de diseño modular es el trabajo necesario para aplicarlo. Las matrices requieren un conocimiento profundo del producto y un trabajo tedioso. Estamos trabajando para automatizar la evaluación y reconfiguración."* (Newcomb)

Gunnar Erixon en su libro *Design for modularity* (1996) hace la siguiente puntualización:

*"El diseño modular es una excelente base para la renovación continua del producto y así como de un concurrente desarrollo del sistema de producción."* (Gunnar Erixon)

Finalmente, el espacio de registro y documentación de la escuela de Arquitectura y Diseño PUCV, Casiopea, aplica también una visión global del concepto de diseño modular, que define como:

*"Se trata de un intento de combinar las ventajas de la estandarización con la personalización. El diseño modular se basa en la colocación de módulos funcionales y universales, que unidos, forman estructuras mayores que pueden ser ensambladas de diferentes maneras o disposiciones."* (Casiopea)

Como se ve al final de este apartado, el diseño modular ofrece numerosas ventajas en su aplicación en el diseño de nuevos productos a los que permite tener un ciclo de vida más largo gracias a una mayor capacidad de mantenimiento a través de la realización de recambios y actualizaciones.

A continuación, se incluye la definición de otros términos directamente relacionados con el diseño modular como es la modularidad, la arquitectura de producto y la plataforma de producto.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Modularidad

La *modularidad* es un concepto que ha demostrado ser útil en un gran número de campos que se ocupan de sistemas complejos. Según Carliss Y. Baldwin, dos ideas subsidiarias se subsumen en el concepto general. La primera es la idea de la *interdependencia dentro* y la *independencia a través* de los módulos.

“Un módulo es una unidad cuyos elementos estructurales están poderosamente conectados entre sí y relativamente débiles conectados a elementos en otras unidades. Claramente hay grados de conexión, por lo que hay diferentes gradaciones de modularidad.” (Carliss Y. Baldwin)

En otras palabras, los módulos son unidades en un sistema más grande que son estructuralmente independientes entre sí, pero trabajan juntos. Por lo tanto, el sistema como un todo debe proporcionar un marco -una arquitectura- que permita tanto la independencia de la estructura como la integración de la función.

La segunda idea es capturada por tres términos: *abstracción*, *ocultación de información* e *interfaz*.

“Un sistema complejo puede ser manejado dividiéndolo en pedazos más pequeños y mirando cada uno por separado. Cuando la complejidad de uno de los elementos cruza un cierto umbral, esa complejidad puede ser aislada definiendo una abstracción separada que tenga una interfaz simple. La abstracción oculta la complejidad del elemento, la interfaz indica cómo interactúa el elemento con el sistema de mayor tamaño.” (Carliss Y. Baldwin)



Figura 3. Helios Touch es una luz modular táctil hecha con paneles hexagonales diseñada por James Vanderpant.

El aporte más importante que hizo el diseño estructurado fue la idea de que para resolver un problema, conviene separarlo en partes más pequeñas que se puedan diseñar, desarrollar, probar y modificar, de manera sencilla y lo más independientemente posible del resto de la aplicación. Esas partes, cuando se quiere usar con un nombre genérico, habitualmente se denominan módulos. De allí que otro nombre para la programación estructurada fue “programación modular”.

El diseño estructurado, al plantear la separación de un sistema en módulos, se basó en las propias funciones del sistema, es decir, los módulos de la programación estructurada serían los procedimientos y funciones. Al modularizar se toma la solución del problema y se separa en partes.

En el análisis y diseño, orientados a objetos, no se modulariza la solución, sino primero el problema (en el análisis) y luego del dominio del problema, se llega a la fabricación de una solución (diseño).

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

Otros autores también han definido la modularidad y la ha dividido en diferentes tipos. Por ejemplo, O'Grady define en su libro *The Age of Modularity: Using the New World of Modular Products to Revolutionize Your Corporation* módulos "duros" y "blandos".

"Los módulos "duros" son módulos físicos ensamblables y los módulos "blandos" tienen una presencia física limitada, en este grupo incluiríamos software, servicio, productos financieros, seguros, etc. Esta elección se debe a que un solo producto puede consistir en ambos tipos de módulos y, por lo tanto, el análisis arquitectónico sólo se completa si se consideran los dos tipos de módulos." (O'Grady)

Por otra parte, Mattson y Magleby (*Experimenting with concepts from modular product design and multi-objective optimization to benefit people living in poverty*) dividen la modularidad en tres categorías: diseño, fabricación y modularidad del cliente. También Gershenson (*Product Modularity and its effect on Service and Maintenance*) clasifica los módulos en el diseño y la fabricación, así como las modularidades de fin de vida.

Independiente de la fase del ciclo de vida o el propósito de la modularidad, la RAE (Real Academia Española) tiene la siguiente definición para módulo (en el sentido que se estudia en este trabajo):

"Pieza o conjunto unitario de piezas que se repiten en una construcción de cualquier tipo, para hacerla más fácil, regular y económica." (RAE)

Hubka y Eder (*Theory of technical systems*) definen un diseño modular como:

"[...] conectar los elementos constructivos en grupos adecuados a partir de los cuales se pueden montar muchas variantes de sistemas técnicos". (Hubka & Eder)

Salhieh y Kamrani (*Macro level product development using design for modularity*) afirman que los módulos realizan funciones discretas, y el diseño modular enfatiza la minimización de las interacciones entre componentes. A su vez, definen el módulo como

"Un bloque de construcción que se puede agrupar con otros bloques de construcción para formar una variedad de productos" (Salhieh & Kamrani)

Como se puede observar, todos estos autores definen un módulo como **un fragmento de un producto con una función identificable**.

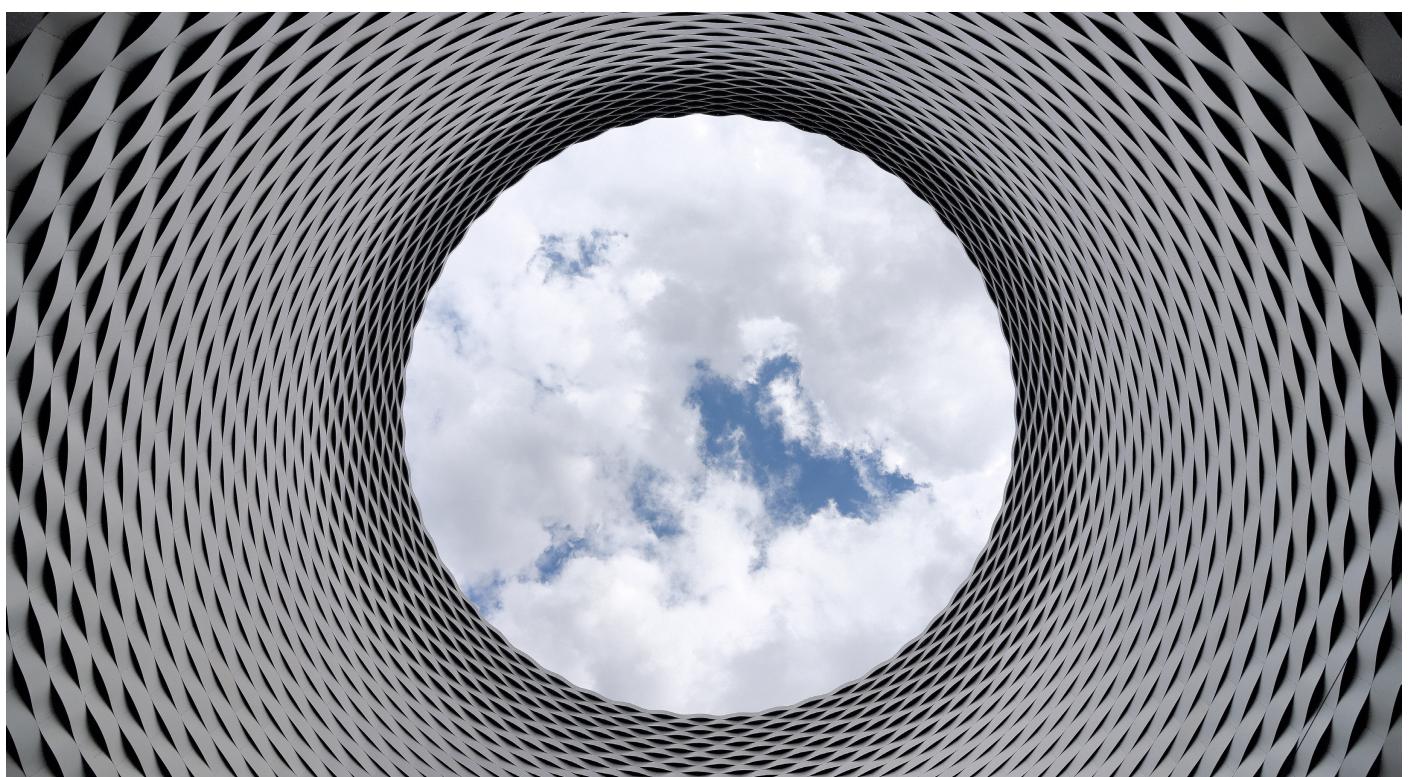


Figura 4. Vista inferior de Neubau Messe Basel, una sala de exposiciones situada en Basel, Suiza.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Arquitectura de producto

En este ámbito, Ulrich, autor de *Fundamentals of Product Modularity*, aplica la siguiente definición para la arquitectura de producto:

“El esquema mediante el cual las funciones de un producto se asignan a componentes físicos.” (Ulrich)

Por otra parte, Maier y Rechtin (*The art of systems architecting*) tienen un enfoque de la arquitectura de sistemas donde incluyen el proceso completo en su definición:

“La estructura (en términos de componentes, conexiones y restricciones) de un producto, proceso o elemento.” (Maier y Rechtin)

Crawley (*The influence of architecture in engineering systems*) da una definición similar para la arquitectura de producto, pero en lugar de componentes físicos se refiere a entidades no físicas como, por ejemplo, las funciones. Su definición es la siguiente:

“La arquitectura de producto es una descripción abstracta de las entidades de un sistema y las relaciones entre esas entidades y el esquema por el cual estas entidades se asignan a sub-sistemas físicos o no físicos más grandes de un sistema.” (Crawley)

Todas las definiciones tienen relación con la estructura física del producto, la representación abstracta de sus componentes y la correlación entre ambos. El punto en común de estas definiciones es la disposición de elementos de un producto. Por otra parte, existen múltiples maneras de representar la arquitectura de un producto o sistema. A continuación se muestran algunos de los ejemplos más utilizados de dichas representaciones visuales. Todas las representaciones se concentran en la descomposición física (componentes o subsistemas) o funcional (funciones del producto).

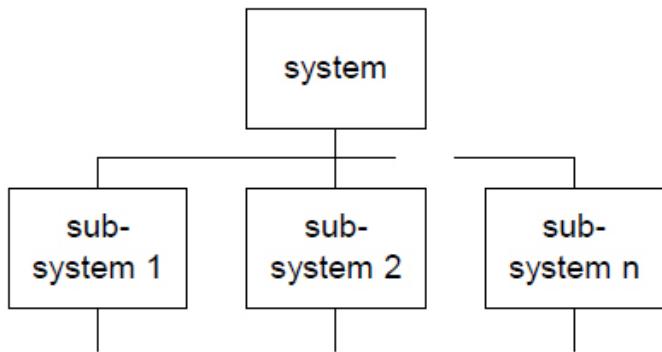


Figura 5. Esquema extraído de: Hölttä-Otto, Katja (2005). *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN*. (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.

#### Estructura jerárquica de árbol

La forma más simple de representar una arquitectura de producto es probablemente una estructura jerárquica de árbol. En este tipo de estructura, el sistema se descompone en subsistemas y la arquitectura del sistema se puede mirar a través de diferentes niveles de abstracción. La imagen superior muestra cómo un sistema y sus subsistemas pueden ser representados a través de una estructura de árbol.

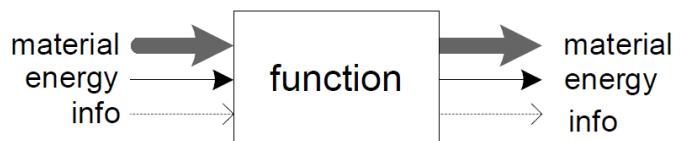


Figura 6. Esquema extraído de: Hölttä-Otto, Katja (2005). *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN*. (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.

#### Diagramas de funciones

Otra forma de representar un sistema o producto es a través de una estructura de funciones internas. Para representar dicha arquitectura pueden utilizarse diagramas de bloques que muestren la descomposición funcional de todas las funciones del producto. De este modo, la descomposición funcional podría ser reemplazada más adelante por una descomposición física en componentes (y subsistemas). Estas estructuras funcionales incluyen el material, la energía y los flujos de información en forma de flechas entre los bloques funcionales (ver imagen superior). La división de los flujos hace que las estructuras funcionales sean adecuadas principalmente para productos electromecánicos.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

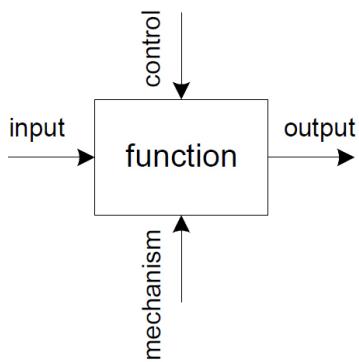


Figura 7.

### Diagrama IDEFO

IDEFO es igual a los diagramas de funciones en que las funciones también se presentan por bloques, hay entradas y salidas hacia y desde éstas (ver imagen superior) y la función puede ser reemplazada por un componente o subsistema. Sin embargo, las entradas y salidas no se descomponen en tipos diferentes, sino que se añaden dos flechas de entrada además de la entrada de función básica. Éstas son una flecha de control para representar un elemento de control y una flecha de mecanismo para representar la herramienta o recurso que realiza la función.

Este DSM (Diagrama de Similitud Matricial) muestra tres filas y tres columnas de funciones. Las filas y columnas están rotuladas con 'function 1', 'function 2' y 'function 3' tanto en la fila como en la columna.

	function 1	function 2	function 3
function 1	1		
function 2	1	1	
function 3	1		1

A la derecha de la tabla, se detallan las marcas: 'S' para espacio, 'M' para material, 'I' para información y 'E' para energía. La primera fila tiene 'SM' en la celda (1,1), 'IE' en la celda (1,2) y 'SM' en la celda (1,3). La segunda fila tiene 'SM' en la celda (2,1), 'IE' en la celda (2,2) y 'SM' en la celda (2,3). La tercera fila tiene 'SM' en la celda (3,1), 'IE' en la celda (3,2) y 'IE' en la celda (3,3).

Figura 8.

### Estructura de diseño modular (DSM)

El DSM (que se explicará en detalle más adelante) es análogo al diagrama de funciones, pero en este caso las funciones se presentan como cabeceras de fila y columna de la matriz en lugar de los cuadros de función y las conexiones entre las funciones se muestran en la matriz (ver imagen superior). La marca de conexión "1" indica que la función en la fila depende de la función en la columna. Las marcas pueden ser divididas en espacio (S), Material (M), Información (I) y Energía (E), como se muestra a la derecha. Además de las funciones, las filas y columnas podrían representar componentes, tareas, miembros del equipo, etc.

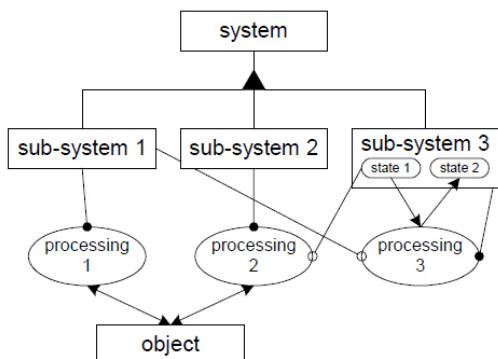


Figura 9.

### Diagrama Objeto-Proceso (OPD)

El diagrama OPD se desarrolló para poder incluir las funciones o componentes y sus interconexiones a la vez. Los objetos se representan con rectángulos y los procesos con elipses. Además, los enlaces entre objetos y procesos pueden representarse con múltiples símbolos. Para indicar que un objeto realiza un proceso, el objeto está conectado al proceso con un conector que tiene un círculo negro al final del proceso. Un círculo blanco indica que el objeto es parte del proceso pero no el agente que lo realiza. Además, se pueden representar estados (□), efectos (→) y agregaciones (•).

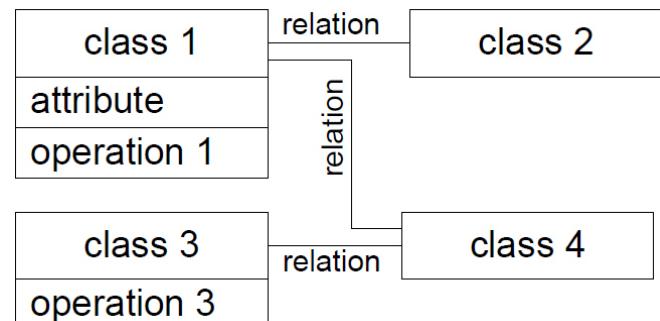


Figura 10.

### Lenguaje de modelado unificado (UML)

Este lenguaje fue desarrollado para el diseño de software, pero se utiliza también en sistemas físicos. En la imagen superior se muestra un ejemplo de este diagrama. Se trata de un modelo muy general en el que las clases representan los conceptos básicos de un sistema (componentes) y cada clase puede tener un conjunto de atributos y operaciones para describir sus propiedades y las funciones que cada clase puede hacer. La relación puede ser cualquier verbo que describa los roles respectivos de las dos clases. Las relaciones entre las clases pueden describir cómo una clase controla, consiste en, o lee la otra clase.

Figuras 7, 8, 9 y 10. Esquemas extraídos de: Hölttä-Otto, Katja (2005). MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN. (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Plataforma de producto

Meyer y Lehnerd (*The power of product platforms*) definen una plataforma de producto como:

“Conjunto de componentes, módulos o partes comunes a partir de los cuales se puede crear y lanzar eficientemente un flujo de productos derivados.” (Meyer y Lehnerd)

Muffato (*Introducing a platform strategy in product development*) aporta una definición similar:

“Conjunto relativamente grande de componentes del producto que están físicamente conectados como un subconjunto estable y son comunes a los diferentes modelos finales.” (Muffato)

Otros autores, como McGrath (*Product Strategy for High-Technology Companies*) y Otto y Wood (*Product Design: techniques in reverse engineering and new product development*), tienen una definición más general, donde la plataforma es una colección de elementos comunes (no sólo componentes físicos) que se implementan a través de una gama de productos. Simpson (*Product platform design: method and application*) tiene una definición de plataforma aún más general:

“Conjunto de parámetros comunes, características y/o componentes que permanecen constantes de producto a producto, dentro de una familia de productos” (Simpson)

Las definiciones más generales incluyen la plataforma de producto en el diseño, la fabricación, el ensamblaje y las fases posteriores de producto terminado. Otra definición genérica que aporta Katja Hölttä-Otto en su tesis *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN* se centra en plataformas basadas en módulos:

“Plataforma es el conjunto común de módulos físicos o no físicos de los cuales se pueden derivar múltiples productos” (Katja Hölttä-Otto)

Los **beneficios de las plataformas** son similares a los beneficios de la modularidad, ya que los módulos se utilizan para crear variantes de producto mediante su adición a una plataforma. Los proyectos de plataformas también permiten proyectos derivados que son mucho más cortos en duración. Una buena plataforma puede permitir un conjunto de exitosas variantes de producto. Estas familias de productos suponen una herramienta para acelerar el desarrollo de nuevos productos, ya que desarrollar un producto derivado basado en una plataforma es más rápido que desarrollar un producto completamente nuevo.

Existen varios **métodos para diseñar una plataforma**, entre los que destacan los métodos basados en escala y los métodos basados en módulos. Las plataformas basadas en escalas son plataformas en las que los productos comparten la funcionalidad pero tienen niveles de rendimiento diferentes, como un electrodoméstico con diferentes gamas. Por otro lado, las plataformas basadas en módulos son productos que comparten módulos comunes pero que pueden tener diferentes funcionalidades, como los módulos de un ordenador (memoria, procesador, tarjeta gráfica, etc.).



Figura 11. Plataforma MQB de Volkswagen compartido por la mayoría de los modelos de motor transversal, como los modelos Polo o Passat.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Características del diseño modular

#### **Adaptable -**

Las diferentes piezas permiten crear productos adaptados a las necesidades del consumidor, pudiendo variar el diseño y disposición de sus módulos en diferentes ocasiones.

#### **Personalizable -**

Gracias a la gran variedad de módulos que se pueden diseñar en diferentes materiales, colores y tamaños, es posible personalizar cada producto de acuerdo a los gustos del usuario.

#### **Evolutivo -**

La modularidad permite mejorar un producto a partir de una pieza base mediante la adición de nuevos y diferentes módulos que integren un mayor número de funciones y mejoras al producto.

#### **Reemplazable -**

La separación entre piezas y funciones permite que estas sean reemplazadas de forma independiente sin alterar al conjunto general del sistema al que pertenecen, incrementando así su mantenimiento.

#### **Multifuncional -**

Si cada módulo tiene la capacidad de integrar una o varias funciones diferentes, el producto final adquirirá tantas funciones y subfunciones como módulos tenga incorporados.

#### **Espacialidad -**

La geometría y estructura de cada módulo, así como sus conexiones, permite al sistema completo jugar con el espacio. Esto le permite ser plegable, apilable, inflable, enrollable, adosable...

#### **Desmontable -**

A diferencia de los productos montados sobre un único bloque, los sistemas modulares, gracias a la conexión entre módulos, permite que estos sean desmontables e intercambiables.

#### **Reutilizable -**

Los sistemas modulares son mucho más eficientes que los tradicionales, esto hace que muchos de sus módulos se puedan reutilizar en otros sistemas gracias a la estructura de sus conexiones.



Figura 12. Proyecto ARA desarrollado por Google para crear móviles modulares.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Sectores

Podemos encontrar ejemplos de sistemas modulares en sectores muy diversos. Los equipos utilizan la modularidad para superar las cambiantes demandas de los clientes y para hacer que el proceso de fabricación sea más adaptable al cambio. El diseño modular es un intento de combinar las ventajas de la estandarización (alto volumen normalmente es igual a bajos costes de fabricación) con los de la personalización. A continuación se citan los sectores en los que el diseño modular más se ha desarrollado y está evolucionando en la actualidad.

#### Automoción

Este tipo de diseño tiene su origen en la estructura modular de algunos vehículos o medios de transporte. Concretamente, se comenzó a utilizar ante la necesidad de algunos vehículos de albergar a una mayor cantidad de personas o mercancías. Un buen ejemplo es el diseño de los vagones de trenes y tranvías, sin embargo, el diseño modular en el ámbito de la automoción se encuentra actualmente en auge en el desarrollo de nuevos diseños de turismos (concept cars).



Figura 13. Altran eMOC (Electric Modular Car)

#### Mobiliario

En este ámbito, el diseño modular responde a la necesidad de aprovechar al máximo el espacio y adaptarse a las necesidades momentáneas del usuario. Lo podemos ver aplicado en muebles modulares cuyos módulos son iguales, como mesas y estanterías, y que sólo buscan poder ser ampliados cuando se requiera. Sin embargo, también lo encontramos aplicado en muebles multifuncionales, cuyos módulos son diferentes, y que buscan responder a varias tareas al mismo.

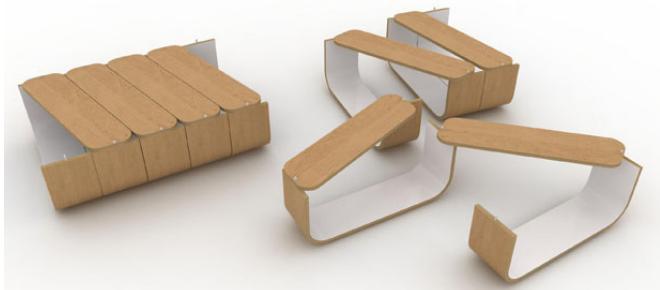


Figura 15. UMYD Modular Table diseñado por Cruxflux.

#### Arquitectura

El diseño modular también ha sido utilizado en la construcción de edificios o casas, dando lugar a estructuras que son fabricadas de manera industrial y en cadena, estilo que recuerda al de la escuela de la Bauhaus cuyos fundamentos sirvieron de base para la arquitectura moderna. Actualmente, se trata de unos de los ámbitos en los que más se ha desarrollado y se sigue desarrollando el diseño modular, siendo muchas las empresas que apuestan por él en la actualidad.



Figura 14. Casa de los maestros de la Bauhaus.

#### Electrodomésticos

Debido a las funciones propias y a las necesidades de los electrodomésticos, sus fabricantes suelen utilizar el diseño modular muchas veces sin ni siquiera darse cuenta. Esto se debe a que se trata de un sector altamente estandarizado, por lo que normalmente las piezas están preparadas para adaptarse a otras piezas, posibles recambios o ser instalados junto con otros electrodomésticos en lo que acaba siendo un sistema modular conjunto, tal y como se ve en la imagen inferior.



Figura 16. Serie de cocina VP 414 diseñada por GAGGENAU

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Electrónica

Los nuevos productos electrónicos tienen cada vez ciclos de vida más cortos, por lo que los usuarios comienzan a demandar soluciones. Estas soluciones no sólo se refieren a la mejora del mantenimiento del producto, si no a la posibilidad de poder ampliar sus prestaciones. Algunos ejemplos tradicionales son las cámaras fotográficas, las impresoras y los ordenadores, pero actualmente se está desarrollando la misma línea para dispositivos móviles.



Figura 17. Proyecto ARA desarrollado por Google.

### Energético

El sector energético requiere de sistemas de grandes dimensiones para poder producir toda la energía que la sociedad actual necesita. Para ello el diseño modular es una solución muy efectiva que ya ha sido utilizada en la energía solar, con los paneles solares, en la eólica, con las turbinas de viento, y, en general, en los sistemas de distribución de energía eléctrica. La modularidad ofrece ventajas como la facilidad de construcción e instalación, que el sector energético aprovecha.



Figura 19. Placas fotovoltaicas para obtener energía solar.

Como se puede observar, el diseño modular ya ha sido aplicado y desarrollado en muchos sectores por las numerosas ventajas que posee. Sin embargo, su aplicación todavía se puede mejorar a través de una metodología que lo permita incorporar de una forma más sencilla. También es importante encontrar sectores en los que el diseño modular pueda seguir desarrollándose en el futuro. Un ejemplo es el diseño de servicios, del que se habla a continuación, y en el que el diseño modular se está empezando a aplicar.

### Juguetería

La finalidad principal de muchos juguetes es la de ser didácticos y potenciar la creatividad de sus usuarios mediante la búsqueda de soluciones. Es por esto que la modularidad está muy presente en este sector, como por ejemplo en la conocida marca LEGO. Son muchos los ejemplos de juguetes donde se utiliza la modularidad para construir conjuntos sin restricciones, pero su uso también está orientado al recambio de piezas y personalización de los juguetes.



Figura 18. Juego inspirado en la escultura Columna sin fin,

### Informático

A un nivel más intangible, como es el de la programación, el diseño modular también se ha aplicado en sistemas de procesamiento, aplicaciones y programas. Esto repercute también en el hardware y en la interfaz a través de la cual el usuario maneja un sistema. El diseño modular es organizacional, lo que permite a sistemas complejos ser entendidos y manipulados de una forma mucho más sencilla por el usuario. Esto también permite que sean ampliados y editados.



Figura 20. Nintendo Switch.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Servicio modular

En economía y empresa, la modularidad de los productos, servicios y procesos es un factor clave en el desarrollo tecnológico, económico y social. Si nos centramos en los servicios, nos encontramos con que el modelo freemium, que consiste en ofrecer una parte del servicio sin coste (*free*) y otra adicional de pago (*premium*), no funciona para la mayoría de las empresas. Sin embargo, crear módulos de los servicios es un buen modelo de negocio, sobre todo para start-ups con menos recursos.

A pesar de la creciente popularidad del modelo freemium relativamente pocas empresas han conseguido tener éxito con este él. *LinkedIn*, *Dropbox* y *Spotify* son algunos de los ejemplos a destacar. La mayoría de las start-ups no ha entendido que para tener éxito con un modelo freemium la parte sin coste ya tiene que aportar un gran valor a sus usuarios. Como alternativa a este modelo está la creación de módulos de servicios.

Aunque pueda parecer una tarea sencilla, crear servicios modulares es todo un reto. El riesgo que existe es la creación de una complejidad que la organización no domina y el cliente no entiende. Con este modelo, en vez de intentar captar un 95% de usuarios que no van a generar ingresos con tal de obtener un 5% *premium*, se trata de conseguir un 100% de clientes que me paguen aunque sea poco. Esto permite que el servicio llegue a un segmento mucho más amplio de clientes. La única condición es que las diferentes funcionalidades realmente se puedan aislar y que cada una aporte valor al cliente. Si se ofrece el servicio en partes se aumenta la probabilidad de encontrar el encaje perfecto entre lo que el cliente tiene y lo que busca.



Figura 21. Aplicación de sonido Adulus.

#### Ventajas de ofrecer servicios en módulos separados:

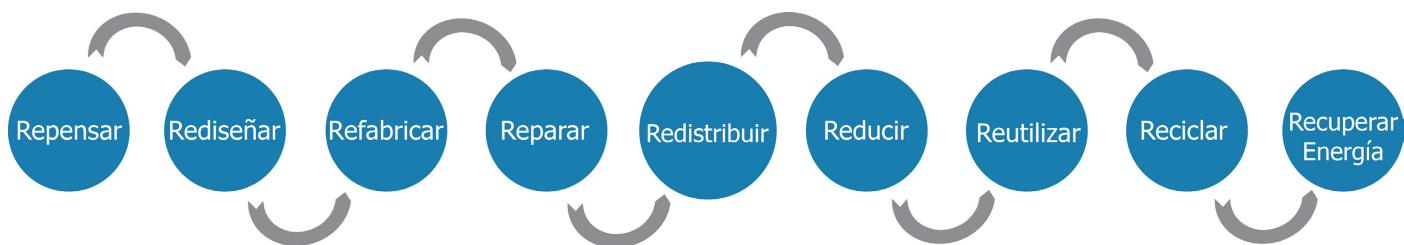
- 1. Ganar dinero con los usuarios que no pagaría por el servicio completo:** El modelo permite a los usuarios gastar solamente en lo que necesitan y no les obliga a pagar el precio máximo del servicio, pues muy pocos estarían dispuestos a ello, tal y como pasa con el modelo freemium.
- 2. Mejorar la calidad del servicio identificando debilidades de los módulos:** Separando el servicio en partes más pequeñas también se simplifica la identificación de problemas y debilidades y tiene menor coste.
- 3. Conocer lo que el cliente necesita y lo que no:** Pueden existir partes del servicio que a la empresa le parecen funcionales pero que realmente nadie contrata. El servicio en módulos ayuda a la empresa a centrarse en aquellas partes que el cliente realmente contrata y que le generan ingresos.
- 4. Llegar a diferentes tipos de clientes:** Con este modelo se consigue llegar tanto a aquellos clientes que quieren pagar poco como a los que por un paquete mayor pagaría más. Tener módulos separados incluso permite ofrecer el producto en marca blanca para otras empresas. Por ejemplo, la empresa Salomon también vende las plantillas de las zapatillas de correr a otros fabricantes.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

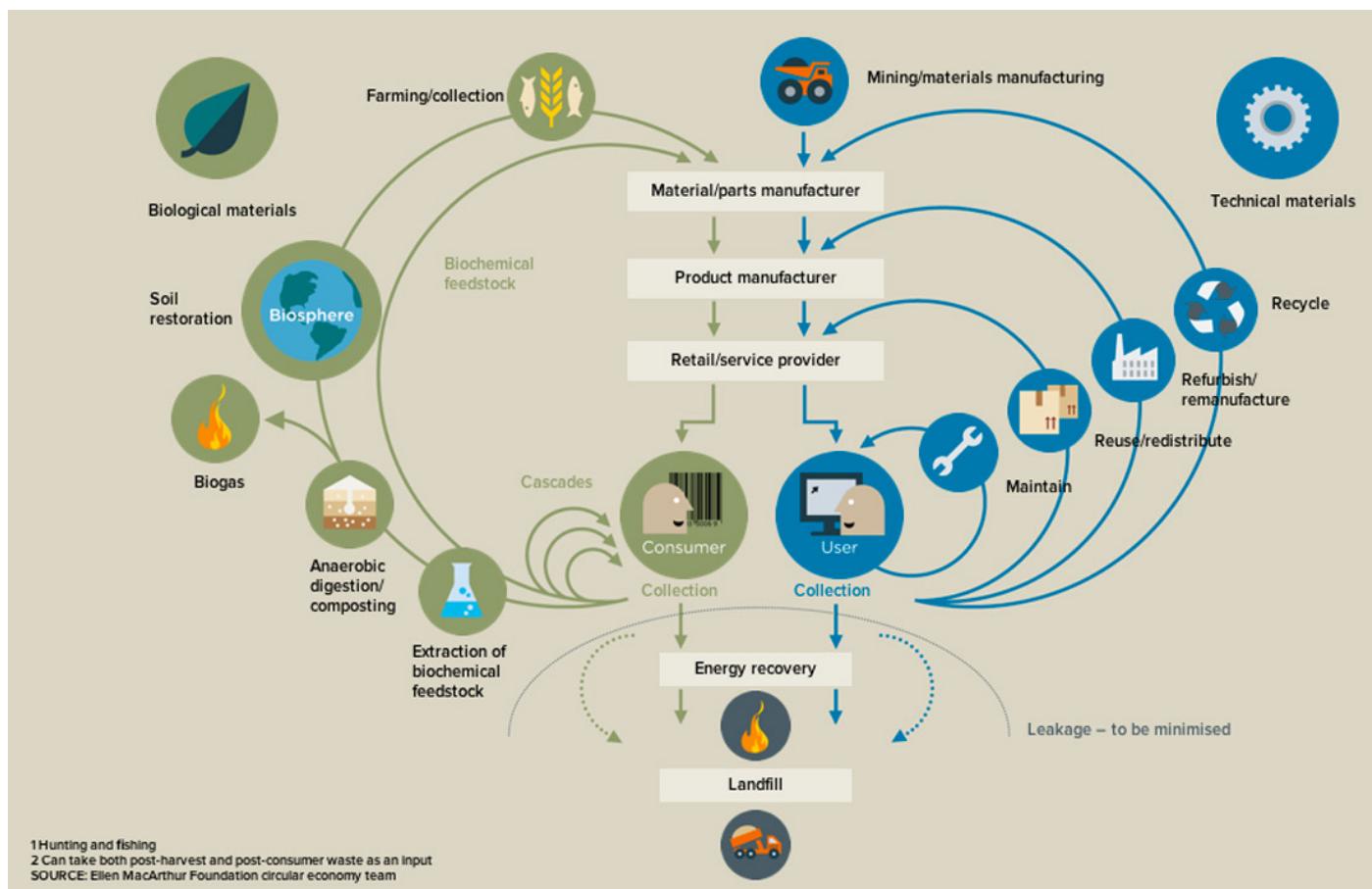
### El contexto: Economía circular

El presente **modelo económico lineal** de “producir, usar y tirar” se basa en disponer de grandes cantidades de energía y otros recursos baratos y de fácil acceso, pero está llegando ya al límite de su capacidad física. La economía circular es una alternativa viable que ya han empezado a explorar distintas empresas.

La **economía circular** es un concepto económico basado en “reparar, reutilizar y reciclar” que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía,...) se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos. Se trata de una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales y los recursos. A su vez, este concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos como se ve en el último esquema.



La economía circular proporciona múltiples mecanismos de creación de valor no vinculados al consumo de recursos finitos. En ella, el consumo solo se produce en ciclos biológicos eficaces y el uso sustituye al consumo. Los recursos se regeneran dentro del ciclo biológico o se recuperan y restauran gracias al ciclo técnico. Dentro del ciclo biológico, distintos procesos permiten regenerar los materiales descartados, y en el ciclo técnico, la intervención humana recupera los distintos recursos y recrea el orden.



## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### El contexto: Economía circular

La economía circular se basa en tres principios clave, cada uno de los cuales aborda varios de los retos en términos de recursos y del sistema a los que han de hacer frente las economías industriales.

#### **Principio 1: Preservar y mejorar el capital natural**

*... controlando existencias finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables.*

Todo comienza desmaterializando la utilidad: proporcionando utilidad de forma virtual, siempre que sea posible. Cuando se necesiten recursos, el sistema circular los selecciona y elige las tecnologías y procesos que empleen recursos renovables o que tengan mejores resultados, siempre que esto sea factible.

#### **Principio 2: Optimizar el uso de los recursos**

*... rotando productos, componentes y materiales con la máxima utilidad en todo momento, tanto en los ciclos técnicos como en los biológicos.*

Esto supone diseñar de modo que pueda repetirse el proceso de fabricación, restauración y reciclaje haciendo que los componentes y materiales recirculen y vuelvan al ciclo. Este tipo de sistemas reduce la velocidad de rotación de los productos al incrementar su vida útil y fomentar su reutilización.

#### **Principio 3: Fomentar la eficacia del sistema**

*... revelando y eliminando externalidades negativas.*

Lo anterior incluye reducir los daños al uso humano, tales como los relacionados con los alimentos, la movilidad, la vivienda, la educación, la salud y el ocio, y gestionar externalidades tales como el uso del terreno, la contaminación atmosférica, de las aguas y acústica, la emisión de sustancias tóxicas y el cambio climático.

Si bien los principios de la economía circular actúan como principios de acción, las siguientes características fundamentales describen lo que sería una economía estrictamente circular:

#### **Diseñar sin residuos**

Esta característica se basa en el primer principio (preservar y mejorar el capital natural) basado en la desmaterialización, mejorando el capital natural al potenciar el flujo de nutrientes del sistema.

#### **Aumentar la resiliencia por medio de la diversidad**

La **modularidad**, la versatilidad y la adaptabilidad son características muy apreciadas a las que debe darse prioridad en un mundo en rápida evolución. Los sistemas diversos con muchas conexiones y escalas son más resilientes a los impactos externos que los sistemas construidos simplemente para maximizar la eficiencia y el rendimiento.

#### **Trabajar hacia un uso de energía de fuentes renovables**

Los sistemas deberían tratar de funcionar fundamentalmente a partir de energía renovable, lo que sería posible por los valores reducidos de energía que precisa una economía circular restaurativa.

#### **Pensar en «sistemas»**

La capacidad de comprender cómo influyen entre sí las partes dentro de un todo es fundamental. El pensamiento de sistemas se refiere a la mayoría de los sistemas del mundo real: no son lineales, tienen una retroalimentación y son interdependientes. Precisan una flexibilidad y adaptación más frecuente a las circunstancias cambiantes.

#### **Pensar en cascadas**

Para los materiales biológicos, la esencia de la creación de valor consiste en la oportunidad de extraer valor adicional de productos y materiales mediante su paso en cascada por otras aplicaciones.

El concepto de economía circular no se remonta a una única fecha o un único autor. Sin embargo, sus aplicaciones prácticas han cobrado impulso desde finales de los setenta, gracias a académicos y empresas. El concepto genérico ha sido perfeccionado y desarrollado acuñando términos como: *diseño regenerativo, economía del rendimiento, de la cuna a la cuna, ecología industrial, biomimética y economía azul*, entre otros.

Como se puede observar tanto en sus principios como en sus características, el diseño modular tiene una potente cabida dentro del desarrollo y evolución de la economía circular. Ésta se basa en el uso de productos reutilizables y reparables, y puede ser posible gracias a la aplicación del diseño modular, que, como se ha visto, es capaz también de conseguir productos evolutivos y actualizables, consiguiendo así alargar notablemente su ciclo de vida útil.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Ventajas

- **Adaptabilidad.** Mediante el cambio o adición de módulos se puede variar el diseño del producto final adaptándolo así a las necesidades del consumidor. La adición de un módulo puede responder a dos gamas de construcción modular: por un lado la de uso temporal, -como cambiar el objetivo de una cámara- que responde a una necesidad momentánea, y por otro la de larga duración, -como el cambio de una batería por otra de mayor duración- que responde a una necesidad definitiva. Por otra parte, una arquitectura de producto bien diseñada puede ayudar a la gestión de cambio de producto y actualizaciones.
- **Estandarización.** La modularidad obliga a crear productos y piezas estandarizadas que pueden ser utilizadas de forma universal no sólo dentro de una familia de productos de la misma empresa, si no también entre diferentes compañías, por ejemplo, en el caso de una empresa fabricante de motores para coches. Se trata de un requisito obligatorio del diseño modular, sobre todo en lo que a sus conexiones respecta. Esto permite a su vez hacer módulos reemplazables y reutilizables.
- **Calidad.** El diseño modular ayuda a que la calidad del producto final aumente considerablemente. En primer lugar, su implementación supone mejoras durante todo el proceso de fabricación. Se optimiza tanto la producción como el ensamblaje, lo que a su vez hace que tanto los costes como el tiempo sean reducidos. Por otra parte, permite al usuario ser él mismo quien "fabrique" y personalice el producto según sus necesidades funcionales, tanto antes de adquirirlo como durante su ciclo de vida útil.
- **Sostenibilidad.** El diseño de plataformas de productos, tiene ventajas en cuanto a la reducción de los recursos necesarios para su desarrollo. El diseño modular está íntimamente ligado al ecodiseño por las numerosas ventajas que ofrece también al producto durante su ciclo de vida y que hace que éste se prolongue considerablemente, reduciendo a la vez la cantidad de desechos generados.
- **Costes y tiempo.** El objetivo del diseño de los módulos tiende a reducir los tiempos de desarrollo del producto y a minimizar los costes de recursos y producción. La planificación y programación del proceso productivo se simplifican, lo mismo que la gestión de los materiales. Por otra parte, permite a la empresa ganar dinero con aquellos usuarios que no pagarían el precio del producto completo.
- **Ciclo de vida.** Si se producen fallos, son más fáciles de diagnosticar y solucionar (basta con sustituir el módulo averiado). Las reparaciones son más sencillas y rápidas, lo que contribuye a reducir sus costes y los de las tareas de mantenimiento. Por este motivo, para contar con la idea de plataforma modular, es necesario definir una estrategia de desarrollo de productos a mediano y largo plazo.
- **Asequibilidad.** En un mercado mundial y competitivo, el diseño modular puede cubrir las necesidades de una población mayor de clientes con una reducción de los recursos necesarios. Como resultado, se obtienen productos al alcance de todos, donde cada usuario puede ampliarlo según sus gustos y necesidades. Esto da lugar a un incremento de ventas tanto para ampliar como para mantener el producto.
- **Multifuncional y personalizable.** Además de su funcionalidad, los módulos ofrecen otra ventaja, que es poder cambiar su apariencia alterando el orden y posición de los módulos. En función del material, color y tamaño es posible personalizar cada producto. Además, si cada módulo tiene la capacidad de integrar una función diferente el producto final adquirirá tantas subfunciones como módulos tenga.
- **Escalabilidad.** En sectores donde los módulos responden a una necesidad estructural, como el arquitectónico o el inmobiliario, el diseño modular permite que los espacios se redimensionen gracias a la habilidad de añadir o suprimir módulos en un corto período de tiempo, teniendo en cuenta que los módulos se ensamblan entre sí y crean un conjunto armónico e interconectado. La geometría y estructura de cada uno, así como sus conexiones, permite al sistema completo jugar con el espacio.

En general, todas las ventajas están ligadas a las características del diseño modular -adaptable, multifuncional, personalizado, espaciable, evolutivo, desmontable, reemplazable y reutilizable- como consecuencia de su uso en el producto. Dichas ventajas, ponen en alza la importancia de aplicar el diseño modular en un contexto actual donde cada vez los mercados son mayores y más competitivos y los recursos son menores. Por otra parte, también está muy presente la necesidad del cliente de encontrar un producto único con un ciclo de vida prolongado, que se pueda adaptar a sus necesidades presentes y futuras.

## 2. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### Debilidades

- **Desarrollo inicial.** Un producto modular requiere una fase de diseño y desarrollo mucho más amplia que la de un producto tradicional. Los requisitos del diseño modular obligan a desarrollar otros aspectos esenciales como la jerarquización de funciones (matrices), la organización del sistema, la separación de piezas y el desarrollo de las interfaces entre los módulos. Esto hace que la inversión inicial del proyecto sea mayor, pues se necesitan más recursos para diseñarlo y desarrollarlo aunque luego se empleen menos para fabricarlo.
- **Rendimiento.** Un aspecto negativo a la modularidad (y esto depende del grado de modularidad) es que los sistemas modulares no están optimizados para el rendimiento. Esto es generalmente debido al costo de la colocación de las interfaces entre los módulos, como es el caso de los móviles modulares.
- **Reutilización de ciertas piezas.** Entre los inconvenientes destaca la dificultad (e incluso imposibilidad) de desensamblar los propios módulos, lo cual impide la reutilización de aquellas piezas que no se encuentren dañadas, con el consiguiente coste de materiales para la empresa fabricante y los consumidores, que han de pagar el módulo entero, aunque sólo esté parcialmente dañado.
- **Conectividad.** Algunos de los autores especializados en diseño modular insisten en que la clave de un diseño orientado de forma modular es la estandarización de las interfaces entre los componentes. Hay que tener en cuenta que la conexión entre módulos es lo más importante del producto, pues sin conexión no hay modularidad. Para ello es esencial que dichas conexiones sean compatibles con los diferentes módulos que se pueden agregar al producto base, de modo que se puedan intercambiar evitando que una conexión sea única para un solo tipo de módulo.
- **Usabilidad.** De nada sirve que un producto sea modular si el usuario potencial no va a saber cómo utilizarlo. Se trata de un problema al que se enfrenta el diseño modular actualmente, pues el usuario debe comprender el producto para poder usarlo adecuadamente y sacar todo el potencial que la modularidad le ofrece. Actualmente, esto se debe a diferentes razones como la ausencia de estandarización entre interfaces y el difícil acceso a algunos componentes dependiendo del nivel. Por ejemplo, el nivel usuario permitirá extraer los módulos de forma intuitiva y manual, pero si se requiere hacer un nivel mantenimiento es posible que sea necesaria una herramienta para extraer el módulo.
- **Análisis.** Las desventajas radican en el tiempo o visibilidad que se tiene de los productos que se ofertan, ya que si no se cuenta con éste periodo en el análisis, la potencia de los productos de la plataforma se reduce notablemente.

Como se puede observar, las desventajas citadas no corresponden al concepto de diseño modular como tal si no a aquellos aspectos que todavía no se han desarrollado y mejorado en la actualidad y que por lo tanto en el presente suponen una desventaja a la hora de aplicar el diseño modular en nuevos productos.

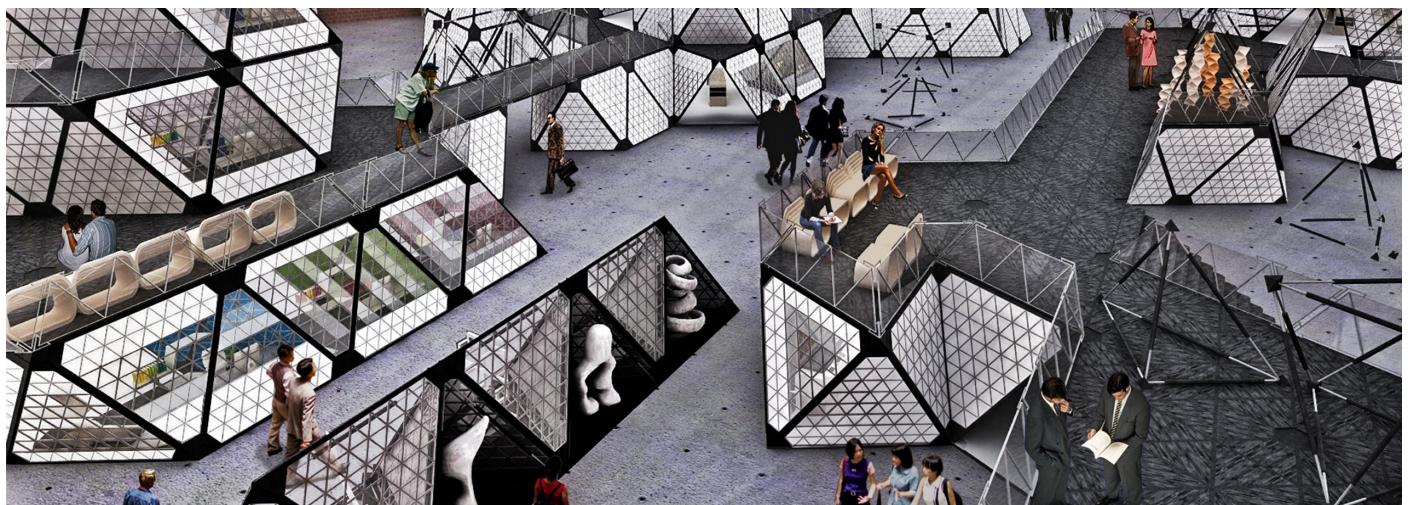


Figura 22. Proyecto de diseño reconfigurable para el muelle NDSM de Amsterdam.

¿CÓMO SE  
APLICA?

# ¿CÓMO SE APLICA?

## Métodos actuales

Tras un exhaustivo estudio de las tesis y artículos citados al comienzo del proyecto, así como de numerosas referencias citadas en los mismos, se ha decidido hacer una división de los métodos de diseño modular estudiados. Se han realizado tres divisiones: métodos actuales, en desarrollo y teorías. En este apartado en concreto se presentan los métodos actuales más utilizados e implantados para la creación de diseño modular. Dichas metodologías son las que han tenido un mayor recorrido y desarrollo en el tiempo debido a que se crearon hace décadas y han tenido una gran aplicabilidad en casos concretos de sectores industriales diferentes, lo que les ha permitido ser aplicadas, analizadas y mejoradas por diversos investigadores.

Según Mohamed Kashkoush y Hoda ElMaraghy en sus artículo *Optimum Overall Product Modularity* (2016), existen varios métodos para diseñar productos modulares. Éstos se podrían clasificar en dos grandes grupos: los métodos basados en funciones y los métodos basados en matrices. Los métodos basados en funciones identificarían los módulos mediante el mapeo de la descomposición funcional de un producto a su arquitectura física. Estos métodos tienen la principal desventaja de no ser capaces de abordar adecuadamente las conexiones entre los elementos físicos del producto. Por otra parte, los métodos basados en matrices identificarían los módulos mediante la reconfiguración del producto representada a través de la arquitectura del producto.

Los métodos actuales basados en matrices estudiados en este apartado son:

- Matriz de diseño estructural (Design Structure Matrix - DSM) - *Tyson R. Browning y Karl T. Ulrich* (1995)
- Diseño para fabricación/ensamblaje (DFM / DFA) - *Geoffrey Boothroyd* (1983)
- Implementación de funciones modulares (Modular Function Deployment - MFD) - *Gunnar Erixon* (1998)

Por otro lado, los métodos actuales basados en funciones que se han analizado son:

- Método FAST (Function Analysis Systems Technique) - *Charles W. Bytheway* (1992)
- Estructura heurística de funciones (Function Structure Heuristics) - *Stone, R. B., Wood, K. L. & Crawford, R. H.* (2000)
- Método OPM (Diagrama Objeto-Proceso) - *Dov Dori* (1998)

Otros métodos actuales que se analizarán pero que no pertenecen a ninguno de los grupos anteriores son:

- Ecodiseño basado en modularidad - *Van Hemel* (2002)
- Análisis del ciclo de vida - *Diversos autores*

Así pues, a continuación se realiza una breve explicación del funcionamiento metodológico de cada uno de estos métodos y se incluyen ejemplos ilustrativos de aplicación en cada uno de ellos.

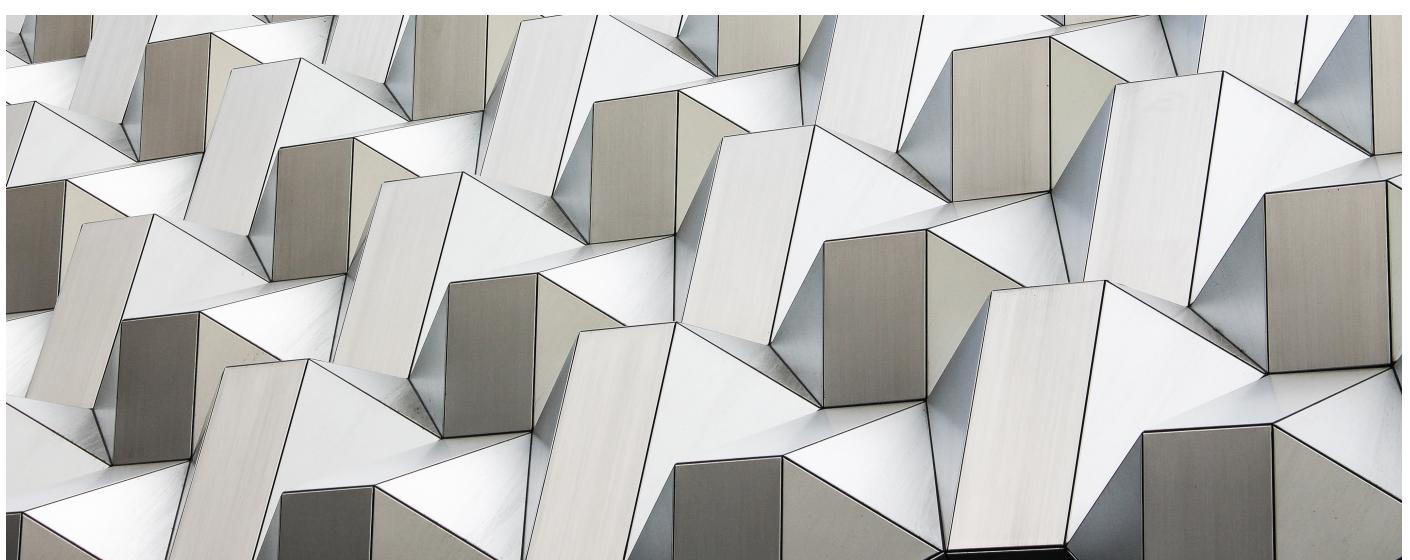


Figura 23. Ejemplo de la aplicación del diseño modular en una superficie arquitectónica.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

#### Design Structure Matrix (DSM)

El DSM (Design Structure Matrix) es una representación simple, compacta y visual mediante una matriz cuadrada de un sistema, proyecto o producto y sus interacciones internas. Normalmente se utiliza para organizar tareas o equipos de desarrollo de productos con el fin de minimizar las iteraciones de diseño innecesarias y así acelerar el proceso de desarrollo. Por otra parte, también se suele utilizar para definir módulos dentro de la arquitectura de un solo producto.

El DSM está diseñado especialmente para la reorganización rápida de la arquitectura basada en las interacciones de la interfaz. El método se concentra en las interfaces de los módulos para simplificar el proceso de diseño y la aparente complejidad de la arquitectura del producto. Este método puede centrarse tanto en los componentes del producto (DSM basado en componentes) como en sus funciones (DSM de tareas), pudiendo combinarse ambos e incluir la modularización en el resto de la planificación del proceso de diseño. El método se centra en simplificar la arquitectura del producto, pero deja más factores posteriores a manos del diseñador.

El método consiste en colocar los componentes o funciones en los encabezados de fila y columna de la matriz. Éstos se correlacionan entre sí y sus interacciones se marcan en la matriz, tal y como se ve en la imagen inferior (*DSM sin agrupar*). Dichas interacciones pueden representar términos espaciales, energéticos, informativos, materiales, etc. Los diferentes niveles de interacción se pueden representar con coeficientes de acoplamiento (-2, -1, 0, 1 o 2) dependiendo de la fuerza de la relación (0 menos relación, 2 más relación) o si la relación es beneficiosa (+) o no deseada (-).

	1	2	3	4	5	6
1	1	1			1	
2		1				
3			1			
4				1		1
5	1				1	
6			1			1

DSM sin agrupar

	1	2	5	4	6	3
1	1	1	1			
2			1			
5	1			1		
4					1	1
6				1	1	
3						1

DSM agrupada (módulos en cajas rojas)

Figura 24. Ejemplo de DSM extraído de: Hölttä-Otto, Katja (2005). MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN. Helsinki University of Technology.

Una vez que las funciones o componentes y sus interacciones se han colocado en el DSM, se puede aplicar un algoritmo de agrupación para agruparlas, de manera que las interacciones dentro de cada grupo se maximicen y entre grupos se minimicen (*DSM agrupada*). Los grupos formados son posibles candidatos de módulo. Hay muchos algoritmos de agrupación que se pueden adaptar y desarrollar para satisfacer las necesidades de un caso específico. La idea básica de un algoritmo de agrupación es reordenar las filas y columnas para que todas las marcas estén lo más cerca posible de la diagonal. El algoritmo puede resultar en módulos superpuestos o puede dejar una función fuera de la agrupación final, en cuyo caso depende del diseñador decidir cómo manejarlos. La sección superpuesta podría ser por ejemplo duplicada y colocada en ambos módulos o forzada a estar sólo en uno de los módulos.

La representación de la matriz tiene varios puntos fuertes como que puede representar un gran número de sistemas de elementos y sus relaciones de una forma compacta que destaca partes importantes de los datos como sus conexiones y los módulos resultantes y en donde la presentación es susceptible de técnicas de análisis (algoritmos) basadas en la matriz. Este método también se puede utilizar para manejar los efectos de un cambio. Por ejemplo, si alguna característica de un componente tiene que ser cambiada, es posible identificar rápidamente todos los procesos o actividades que habían sido dependientes de este cambio. El uso de DSM se ha aplicado en diversos ámbitos como la construcción de edificios, el desarrollo inmobiliario, el automovilístico, el aeroespacial, las telecomunicaciones, la fabricación a pequeña escala y en industrias de electrónica.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Design for manufacturing/assembly (DFM/A)

El diseño para fabricación y ensamblaje es un enfoque para el diseño de productos que incluye sistemáticamente consideraciones sobre la capacidad de fabricación y de ensamblaje en el diseño. Se debe integrar en una estrategia basada en el desarrollo de productos. Son a la vez una filosofía y un proceso de diseño, cuyo objetivo es disminuir el coste total del producto teniendo en cuenta los tiempos y procesos. Esto permite conocer las ventajas e inconvenientes de varios diseños alternativos, valorando características como el número de piezas, la dificultad de manipulación e inserción o el tiempo de ensamblaje.

La metodología incluye las siguientes actuaciones en los ámbitos de diseño y fabricación:

- Diseño:** Diseñar un producto definiendo y proyectando las prioridades y las relaciones funcionales del producto de modo que formen un todo, buscando oportunidades comerciales para nuevos productos.
- Fabricación:** Buscar la forma más efectiva de combinar personas, máquinas, materiales y energía para planificar un proceso y elaborar el producto, administrando sistemas integrados de fabricación.

Diferencias	Similitudes
<p>DFA se centra en facilitar el ensamblaje</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Minimiza el nº de operaciones de ensamblaje y manipulación</li> <li>Minimiza el nº de componentes a ensamblar (diseños complejos)</li> </ul> <p>DFM persigue la fácil fabricación de componentes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Selecciona el material y proceso de fabricación más efectivos en coste y esfuerzos sin sacrificar la calidad</li> </ul>	<p>DFM y DFA tratan de reducir el material, coste de fabricación y sobrecoste.</p> <p>Ambos reducen el tiempo de desarrollo de producto.</p> <p>Ambos tratan de usar elementos estandarizados.</p>

DFM y DFA comparten los principios que se citan a continuación, aunque a veces se contraponen. Por ejemplo, la reducción del número de componentes puede suponer una mayor complejidad de pieza.

- |   |  |
|---|--|
| - Reducir el número total de piezas     | - Utilizar tolerancias amplias                         |
| - Desarrollar un <b>diseño modular</b>  | - Evitar operaciones secundarias                       |
| - Usar elementos estandarizados         | - Diseñar para fabricación sencilla                    |
| - Diseñar piezas multifuncionales       | - Minimizar el número de operaciones                   |
| - Evitar piezas separadas               | - Rediseñar componentes para eliminar pasos de proceso |
| - Minimizar operaciones de manipulación | - Minimizar las operaciones que no añaden valor        |

A continuación se muestra un ejemplo de aplicación de DFA a un trabajo de la asignatura *Desarrollo Avanzado de Producto* del Máster en Ingeniería de Diseño de Producto de la Universidad de Zaragoza.

Nº ID de piezas	Nº de veces que la operación se realiza consecutivamente	Código de manipulación manual	Tiempo de MANIPULACIÓN manual por pieza (s)	Código de inserción manual	Tiempo de INSERCIÓN manual por pieza	Tiempo de operación (s) $(2 \times [(4)+(6)])$	Coste de operación (0,4 cents/s)	Mínimo número de piezas teórico	Nombre de ensamblaje
1	1	30	1,95	00	1,5	3,45	1,38	1	Núcleo
10	1	00	1,13	00	1,5	2,63	1,052	1	Muelle L70
8	1	30	1,95	00	1,5	3,45	1,38	1	Activador
9	1	20	1,8	00	1,5	3,3	1,32	1	Tope
6	1	30	1,95	20	5,5	7,45	2,98	1	Placa tostadora
7	1	00	1,13	32	4	5,13	2,052	1	Muelle L20
2.2	1	30	1,95	00	1,5	3,45	1,38	1	Placa electrónica
2.4	1	30	1,95	00	1,5	3,45	1,38	1	Regulador
2.5	1	11	1,8	00	1,5	3,3	1,32	1	Stop
2.1	1	30	1,95	10	4	5,95	2,38	1	Tapa derecha
2.3	1	10	1,5	10	4	5,5	2,2	1	Enchufe
3	2	20	1,8	01	2,5	8,6	3,44	1	Tapa
4	1	30	1,95	31	5	6,95	2,78	1	Tapa izquierda
2	1	30	1,95	31	5	6,95	2,78	1	Subconjunto tapa derecha
5	1	33	2,51	10	4	6,51	2,604	1	Bandeja
					76,07	30,428	15	EFICIENCIA DEL DISEÑO	
					TM (s)	CM (cent)	NM	59,16%	

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Modular Function Deployment (MFD)

El método Modular Function Deployment (MFD) fue introducido por Gunnar Erixon en su tesis "Modular Function Deployment – A Method for Product Modularisation" (1998), aunque posteriormente más autores como Katja Hölttä-Otto (MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN, 2005) o Gilles Clemen (Application of the Modular Function Deployment Tool on a pressure regulator, 2006) lo han aplicado en diversos sectores.

El MFD no reemplaza ni excluye el uso de métodos de diseño tales como DFM/DFA, pero complementa, reduce las deficiencias y refuerza el impacto de estos métodos. Su metodología se basa en la descomposición funcional, considerando los controladores de modularidad distintos de la funcionalidad. MFD está diseñado para modularizar un solo producto a la vez, y consta de doce controladores de modularidad (ver figura inferior) que pueden ser elegidos en función de la estrategia de la empresa.

Este método consta de cinco pasos:

1. Comienza con el análisis QFD (Quality Function Deployment) para establecer los requisitos del cliente e identificar los requisitos de diseño importantes con un énfasis especial en la modularidad.
2. Se analizan los requisitos funcionales del producto y se seleccionan soluciones técnicas.
3. A continuación se generan y seleccionan sistemáticamente conceptos modulares, en los que se utiliza la Matriz de Indicación de Módulos (MIM) para identificar posibles módulos examinando las interrelaciones entre "drivers de módulos" y soluciones técnicas. El agrupamiento en módulos se inicia por las funciones que reciben las puntuaciones totales más altas (funciones dominantes).
4. MIM también proporciona un mecanismo para investigar las oportunidades de integrar múltiples funciones en módulos individuales. Se pueden estimar los efectos esperados del rediseño y se puede realizar una evaluación para cada concepto modular.
5. Finalmente, se vuelve a utilizar el MIM para identificar oportunidades de mejoras adicionales en los módulos individuales: se eliminan las ideas obsoletas, se revisan ideas prometedoras y nacen nuevas ideas.

Module indication matrix									Main drivers (rows) and dominating functions (column)												Modules																	
Function 1	Function 2	Function 3	Function 4	Function 5	Function 6	Function 7	Function 8	Function 9	Function 1	Function 2	Function 3	Function 4	Function 5	Function 6	Function 7	Function 8	Function 9	M1	M2	M3	M4	M2	M1	M3	M4	M1	M2	M3	M4									
carry over	3		1						Function 1	3	1	3	24	4	1	1	1	M1	M2	M3	M4	M2	M1	M3	M4	M1	M2	M3	M4									
technology evolution		3	9		3			9	Function 2	3	9	3	24	24	3	3	9	Function 2	3	9	3	24	4	1	1	1	Function 2	3	9	3	24	4	1	1	1			
planned changes			1	3		3		9	Function 3	1	3		16	16	3	3	9	Function 3	1	3		16	4	1	1	1	Function 3	1	3		16	4	1	1	1			
different specification			1		3				Function 4	1		3	4	4	3	3	9	Function 4	1		3	4	4	3	3	9	Function 4	1		3	4	4	3	3	9			
styling			1	3	9	9	1		Function 5	3	9	9	22	22	1	1	9	Function 5	3	9	9	22	21	1	1	9	Function 5	3	9	9	22	21	1	1	9			
common unit				9	3		9		Function 6	9	3	9	21	21	3	3	9	Function 6	9	3	9	21	7	3	3	9	Function 6	9	3	9	21	7	3	3	9			
process and/or organization				3	1				Function 7	3	1	3	7	7	1	1	9	Function 7	3	1	3	7	7	1	1	9	Function 7	3	1	3	7	7	1	1	9			
separate testing				3	3				Function 8	3	3		16	16	3	3		Function 8	3	3		16	9	1	1	9	Function 8	3	3		16	9	1	1	9			
supplier availability									Function 9				9	9	9	9		Function 9				9	9	9	9		Function 9				9	9	9	9				
service and maintenance									Upgrading	9		9		18	9	9		Upgrading	9		9		18	9	9		Upgrading	9		9		18	9	9				
upgrading									Recycling	1	3		5	5	1	1		Recycling	1	3		5	5	1	1		Recycling	1	3		5	5	1	1				
recycling										3			6	6	3	3			3			6	6	3	3			3			6	6	3	3				
										19	17	19	13	21	12	9	21	21		19	17	19	13	21	12	9	21	21		19	17	19	13	21	12	9	21	21

Figura 25. Ejemplo extraído de: Hölttä-Otto, Katja (2005). MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN. Helsinki University of Technology.

El método MFD posee una serie de ventajas: proporciona retroalimentación a la fase de síntesis; la herramienta apoya una retroalimentación de aprendizaje y mejora la capacidad de "hacerlo bien la primera vez"; permite el pensamiento creativo y fomenta el trabajo en equipo, facilitando así la implementación de la Ingeniería Concurrente; y, finalmente, los productos modulares son más competitivos porque se han desarrollado a partir de un procedimiento en el que se han tenido en cuenta los requisitos del cliente en el producto terminado.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Método FAST

El método FAST (Function Analysis Systems Technique) fue originalmente desarrollado por Lawrence D. Miles, un ingeniero de diseño que desarrolló el concepto de análisis de funciones. Dicho concepto fue desarrollado más a fondo en los años 60 por Charles W. Bytheway, quien introdujo la metodología hoy conocida como Function Analysis Systems Technique (FAST).

FAST utiliza la lógica intuitiva para descomponer una función de alto nivel en funciones secundarias y de nivel inferior que se muestran en un diagrama lógico (ver imagen inferior).

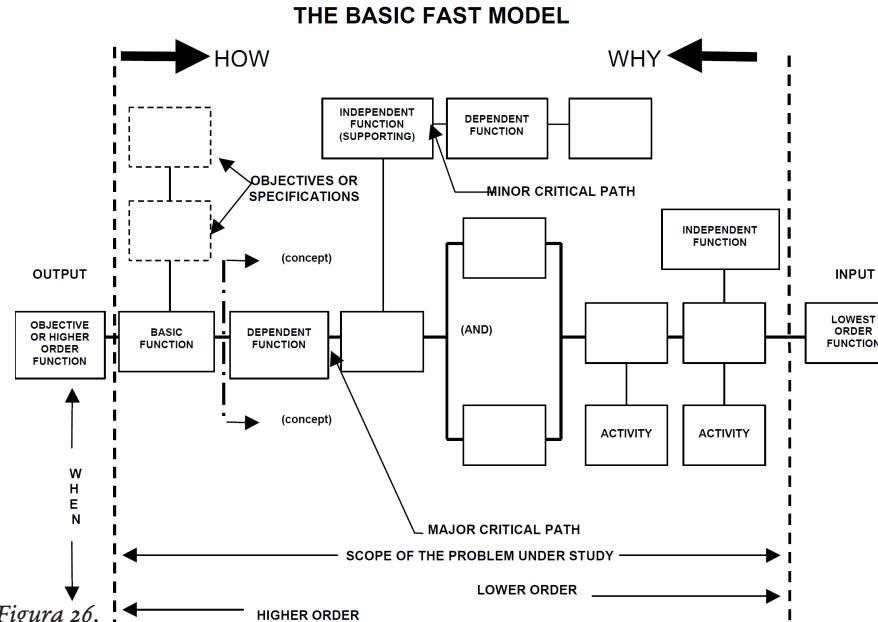


Figura 26.

El problema u oportunidad es la misión que el equipo de trabajo debe lograr a través del diagrama. La estructura básica de un modelo FAST es similar a un diagrama de flujo, pero en este caso los bloques representan funciones y no pasos de proceso. Se pueden utilizar diversos métodos para identificar y descomponer las funciones del diagrama, como el *brainstorming*, en los que se involucra a todo el equipo de trabajo. Una manera de organizar el diagrama es colocando las respuestas a “Cómo se logra el objetivo” en la parte central, con el “why” en la parte izquierda y el “how” en la derecha.

El proceso metodológico FAST se hace en grupo y comienza con el “facilitador” haciendo preguntas para identificar el alcance del modelo, su función objetivo y la función o funciones básicas. Para comenzar, se realizan tres preguntas pensadas para identificar la misión del sistema al tiempo que se delimita el alcance del problema u oportunidad. Es decir, se trata de un proceso creativo de análisis del problema. Las preguntas son:

- **¿Cuál es el problema o la oportunidad que debemos discutir?**
- **¿Por qué es esto un problema u oportunidad?**
- **¿Por qué es necesaria una solución?**

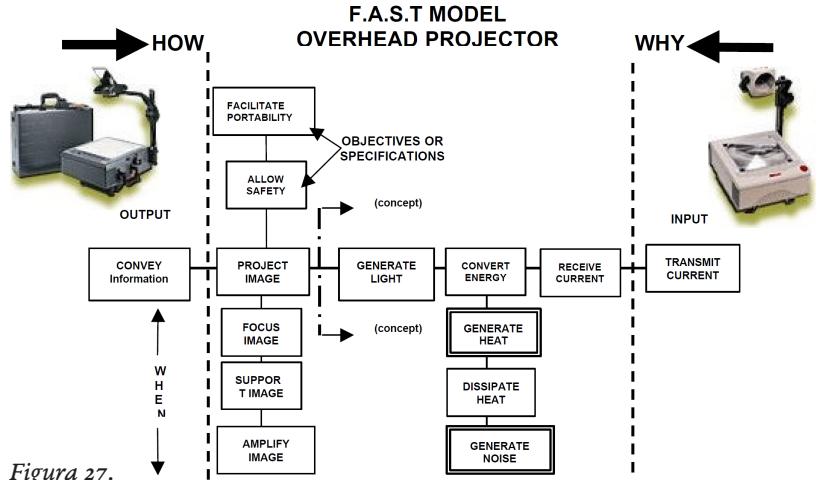


Figura 27.

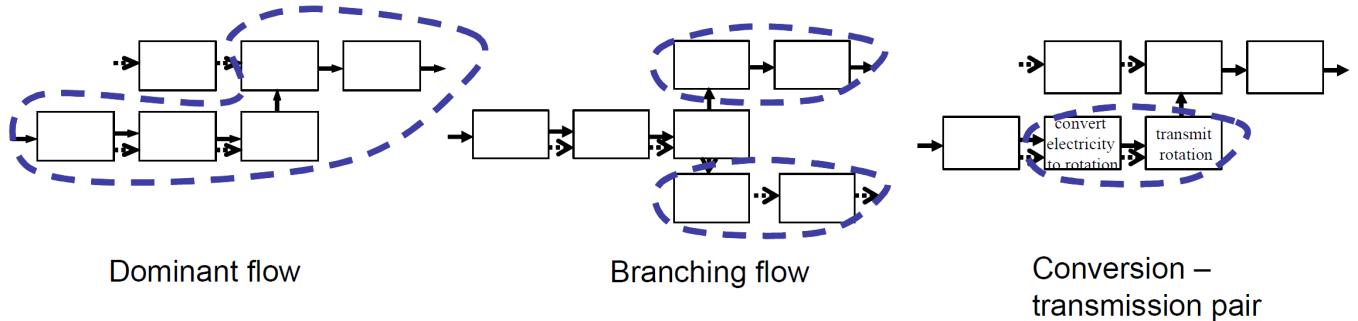
De este modo, una vez identificada la función de orden objetivo o superior, ésta se sitúa en la parte izquierda del diagrama. Entonces, se hace la pregunta “¿Cómo se realiza esta función?”, colocando la respuesta a la derecha. Ésta será la función básica del proceso y definirá cómo debe llevarse a cabo la función objetivo. Por ejemplo, una función objetivo podría ser “transmitir información” y una función básica “proyectar una imagen” (ver el ejemplo superior). Todas las funciones situadas a la derecha de la función básica describen el enfoque elegido para lograrla y se llaman *funciones dependientes*. Cualquier función en la ruta lógica *how* o *why* es una función de ruta crítica, y éstas pueden ser *principales* si corresponden a una la función básica o *secundarias* si corresponden a una función independiente o de apoyo. La representación vertical de las funciones corresponde a la dirección de *when* e indica que ocurren al mismo tiempo, o que son causadas por las funciones de trayectoria crítica.

Figuras 26 y 27. Esquemas extraídos de: Bytheway, C. W. (1992). *FAST - AN INTUITIVE THINKING TECHNIQUE*. SAVE Annual Proceedings.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

#### Function Structure Heuristics

Este método heurístico se basa también en una estructura de funciones. Su objetivo es separar los módulos de la estructura de una función de un solo producto mediante tres tipos de flujos diferentes: los flujos dominantes, los flujos ramificados o los pares de conversión-transmisión (ver figura inferior).



Figuras 28. Esquema extraido de: Hölttä-Otto, Katja (2005). MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN. (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.

Gracias a la estructura de funciones, este método es capaz de encontrar funciones similares y repetitivas dentro de un solo producto, funciones comunes entre productos y funciones únicas que se encuentran sólo en un producto dentro de la familia de productos, y, una vez localizadas, las separan como módulos.

Para aplicar el método, se comienza con una estructura de funciones y luego se consideran los muchos módulos alternativos posibles que se pueden definir agrupando funciones según la heurística. Las heurísticas definen módulos posibles, pero le corresponde al diseñador elegir los módulos “sensibles”. Además, las heurísticas definidas son máximas, es decir, indican que uno no debe definir módulos más grandes de lo indicado. Cualquier módulo definido por un flujo dominante como una cadena en serie de funciones, por ejemplo, puede subdividirse en cualquier forma y seguir siendo consistente. Como resultado, el enfoque sólo proporciona sugerencias de modularidad.

Estas heurísticas se aplican tanto a productos únicos como a familias de productos similares. El método puede aplicarse tanto a plataformas basadas en módulos como a escala, pero el uso más común es el primero. Los principales criterios de modularización considerados en el método heurístico de estructura de funciones son las interfaces de funcionalidad y módulos. Otros criterios corresponden a factores relacionados con negocios o estrategias y no están representados en el método heurístico de la estructura de funciones, sino que entran a través del criterio del diseñador en donde se aplican las reglas.

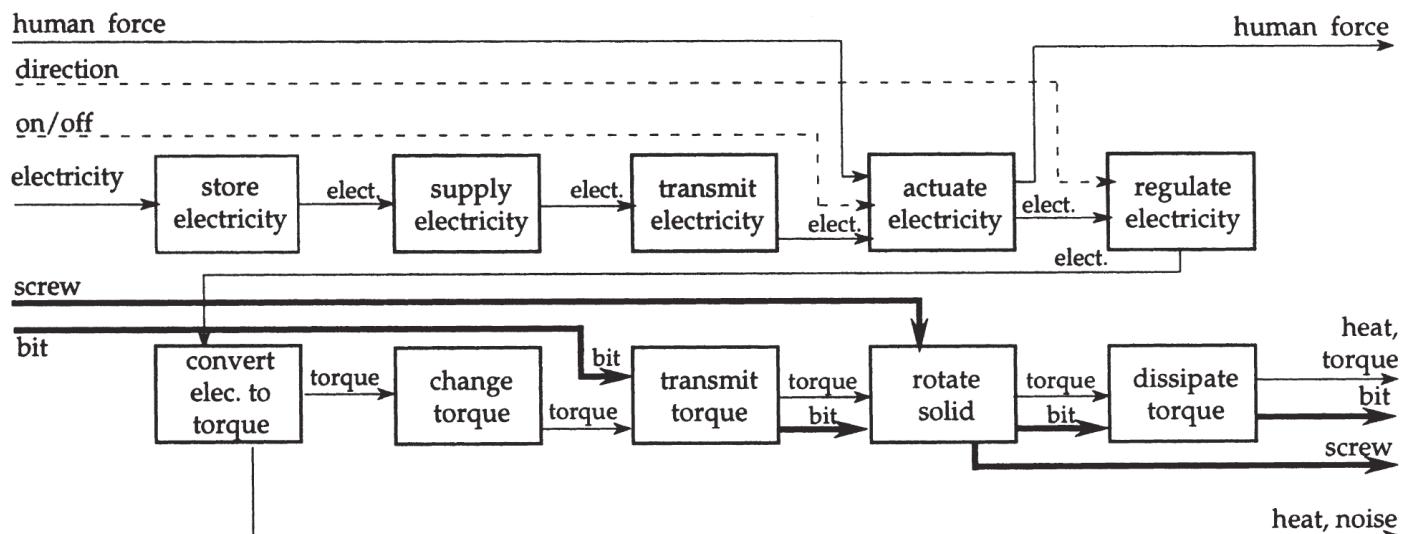


Figura 29. Ejemplo de una estructura de función secuencial de un destornillador eléctrico para el flujo de electricidad y par. Stone, R. B., Wood, K. L., & Crawford, R. H. (2000). A heuristic method for identifying modules for product architectures. *Design Studies*, Volume 21, Number 1.

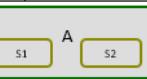
### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Metodología Objeto-Proceso (OPM)

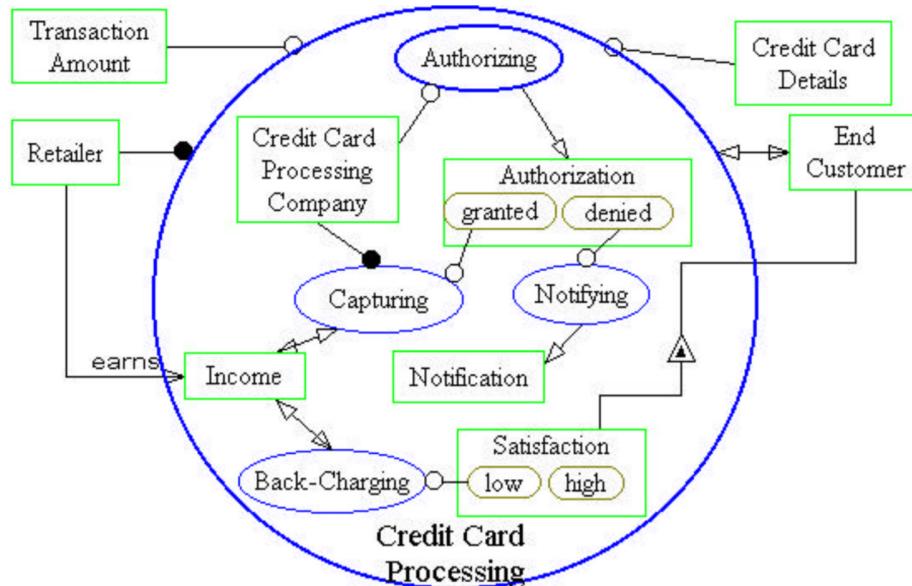
La metodología OPM fue concebida y desarrollada por el investigador Dov Dori en 1995. Desde entonces, ha evolucionado y se ha desarrollado en una gran variedad de sectores. En 2002, se publicó el primer libro sobre OPM y el 15 de diciembre de 2015 ISO adoptó OPM como ISO/PAS 19450. Se trata de un lenguaje de modelado conceptual y una metodología enfocada a la gestión del conocimiento y al diseño de sistemas. Basada en una ontología universal de programación de sistemas, OPM puede ser usada para especificar gráficamente la función, estructura y comportamiento (FSB) de otros sistemas, tanto artificiales como naturales.

Su funcionamiento metodológico es muy simple: se basa en un conjunto de objetos, que existen o pueden existir, y procesos, que pueden crear, consumir o cambiar los estados de los objetos. El diagrama resultante representa dos aspectos inherentes a cualquier sistema: su estructura y su comportamiento. La estructura se representa a través de los objetos y sus relaciones estructurales, como la agregación o participación. El comportamiento está representado por los procesos y con cómo éstos transforman a los objetos (creación, consumo y cambio de estado).

Para realizar la representación, existen dos modalidades: el diagrama de Objeto-Proceso (OPD), del que ya se ha hablado anteriormente en el apartado *Arquitectura de producto*, y el lenguaje Objeto-Proceso (OPL), un conjunto de frases representativas en inglés. Los elementos gráficos para representar el diagrama de OPM se dividen en entidades, expresadas como formas cerradas (tabla izquierda), y relaciones, expresadas como enlaces que conectan entidades (tabla derecha). En las siguientes tablas se ven algunas de estas simbologías y sus significados:

	Symbol	Name: Definition	OPL	Comments
Things	A	Object <b>A</b> : A thing that exists	<b>A</b> is physical (and environmental).	<b>A</b> is informational and systemic by default.
	B	Process <b>B</b> : A thing that transforms (generates, consumes, or changes the state of an object).	<b>B</b> is physical (and environmental).	<b>B</b> is informational and systemic by default.
		State: A situation of an object.	<b>A</b> is <b>s1</b> . <b>A</b> can be <b>s1</b> or <b>s2</b> . <b>A</b> can be <b>s1</b> , <b>s2</b> , or <b>s3</b> .	Always within an object.

Symbol	Name	OPL	Allowed Source-to-Destination connections	Semantics/ Effect on the system flow/ Comments
▲	Aggregation-Participation	<b>A</b> consist of <b>B</b> .	Object-Object Process- Process	Whole -Part
△	Exhibition-Characterization	<b>A</b> exhibits <b>B</b> .	Object-Object Object-Process Process-Object Process- Process	
△	Generalization-Specialization	<b>B</b> is an <b>A</b> . (objects) <b>B</b> is <b>A</b> . (processes)	Object-Object Process- Process	
△	Classification-Instantiation	<b>B</b> is an instance of <b>A</b> .	Object-Object Process- Process	
→	Tagged structural links: Unidirectional ↔ Bidirectional	According to text added by user	Object-Object Process- Process	Describes structural information.



Al igual que el método FAST, se trata de un método de representación gráfica de los componentes y relaciones que forman un sistema, como por ejemplo un producto o servicio. Estas representaciones pueden ser tratadas posteriormente para crear módulos en función de las relaciones identificadas entre los componentes.

La imagen izquierda muestra un ejemplo de aplicación de OPM en el procesamiento de tarjetas de crédito, que pertenece al artículo *Object-Process Methodology Applied to Modeling Credit Card Transactions*, de Dov Dori.

Figura 30. Ejemplo de aplicación en el procesamiento de tarjetas de crédito. Extraido de: Dori, D. (2001). *Object-Process Methodology Applied to Modeling Credit Card Transactions*. Advanced topics in database research, 1, 87-105.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Ecodiseño basado en modularidad

En el libro de Peter Dormer *Diseño desde 1945* se explica el desarrollo del diseño como profesión como consecuencia de los cambios en el mundo de la tecnología y la fabricación durante la segunda mitad del siglo XX, donde da comienzo la preocupación ecologista. Esta preocupación, se ha mantenido hasta la actualidad, dando lugar a conceptos como el ecodiseño, donde el diseño modular juega un papel primordial. El ecodiseño es el diseño que considera acciones orientadas a la mejora ambiental del producto en todas las etapas de su ciclo de vida, desde su creación en la etapa conceptual, hasta su tratamiento como residuo.

En el artículo *Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs*, Van Hemel introduce la llamada *Rueda de la Estrategia del Ecodiseño*, que incluye la modularidad como optimización de la vida útil del producto, aunque como se ve en el siguiente apartado (*Análisis del ciclo de vida*) esta característica influye en otros aspectos del ciclo de vida del producto a parte de la etapa de uso. En esta investigación, Van Hemel afirma que las soluciones de diseño ecológico más frecuentemente y exitosas eran: reciclado materiales, alta durabilidad (gracias al uso de la modularidad), uso de materiales reciclados y bajo consumo de energía.

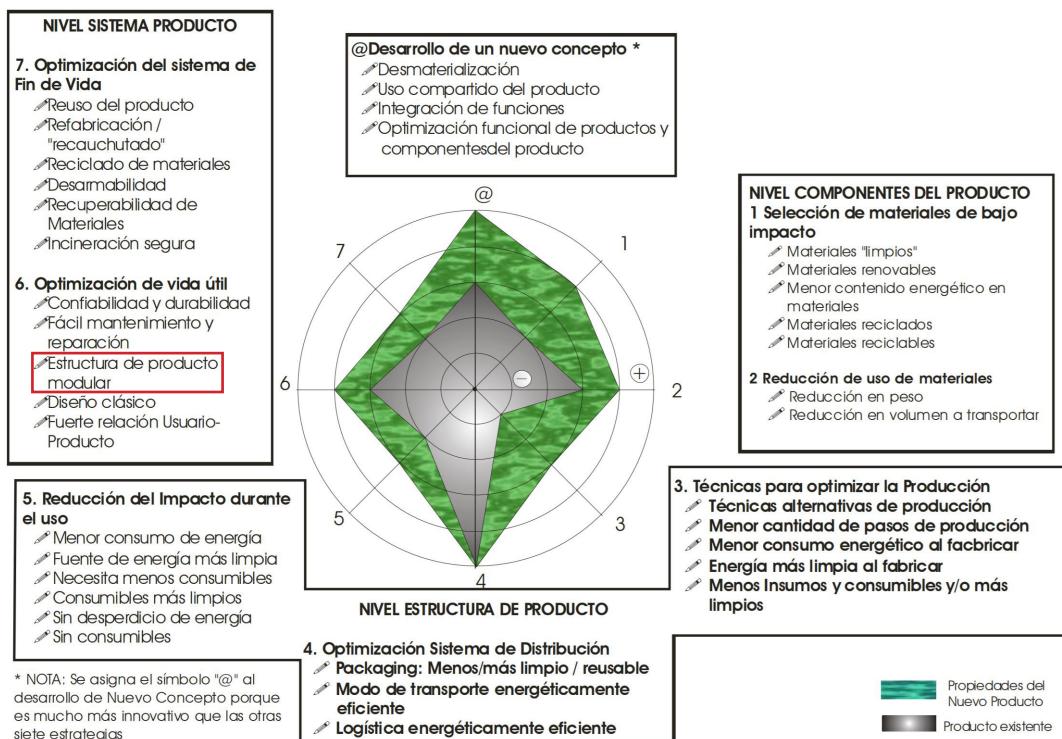


Figura 31. Rueda de la Estrategia del Ecodiseño por Van Hemel. Extraída de: *Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs*.

Según esta estrategia, el uso de una estructura modular para dar lugar a un producto adaptable hace posible que se alargue el ciclo de vida de un producto que, aparentemente, ya no es óptimo desde el punto de vista técnico o estético, permitiendo así satisfacer las cambiantes necesidades del usuario. Esto da lugar a una serie de mejoras en los siguientes aspectos:

- **Nuevas funcionalidades:** El producto puede ser mejorado mediante la adición de nuevos módulos o funciones durante la etapa de uso. Un ejemplo de ello es la inserción de unidades de memoria más grande en los ordenadores.
- **Recambios y repuestos:** Los módulos técnicos o estéticamente obsoletos pueden ser renovados, como por ejemplo es el caso de la renovación de mobiliario a través de cubiertas reemplazables.
- **Estandarización:** Permite al producto adaptarse mucho mejor al entorno, como por ejemplo, en el uso de dimensiones de módulo de packaging normalizadas para su transporte en vehículos normalizados.
- **Reciclabilidad y desarmado:** El producto debe tener una estructura de diseño jerárquica y modular, los módulos pueden entonces separarse los unos de los otros y re fabricarse de la manera más adecuada.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

#### Análisis del ciclo de vida

Son numerosos los investigadores que inciden en la importancia de la modularidad sobre las diferentes fases del ciclo de vida del producto. Como se ha dicho anteriormente, gracias al diseño modular se consiguen reducir los tiempos de diseño y validación, así como los costes. Por otra parte, se mejora la calidad final del producto, ya que los módulos pueden ser utilizados en productos anteriores a través de las plataformas.

Marcos Echevarria-Quintana explica en su tesis *Metodología de diseño conceptual modular* (2009) que debido a ello, cuando se intenta expandir a otros mercados y renovar el producto en el proceso de envejecimiento, los módulos pueden ser introducidos de manera más rápida y fácil, ya que anteriormente se han identificado las relaciones funcionales con otros componentes y su introducción puede ser inmediata. También afirma que las ganancias generadas, superan a las inversiones enfocadas en el desarrollo de plataformas de producto, ya que el coste de la inversión lo absorbe un producto dentro de la plataforma, mientras que el resto de productos derivados de la misma requieren una inversión mucho menor. Para ilustrar las ventajas del diseño modular en el ciclo de vida, Echevarria-Quintana muestra el siguiente gráfico:

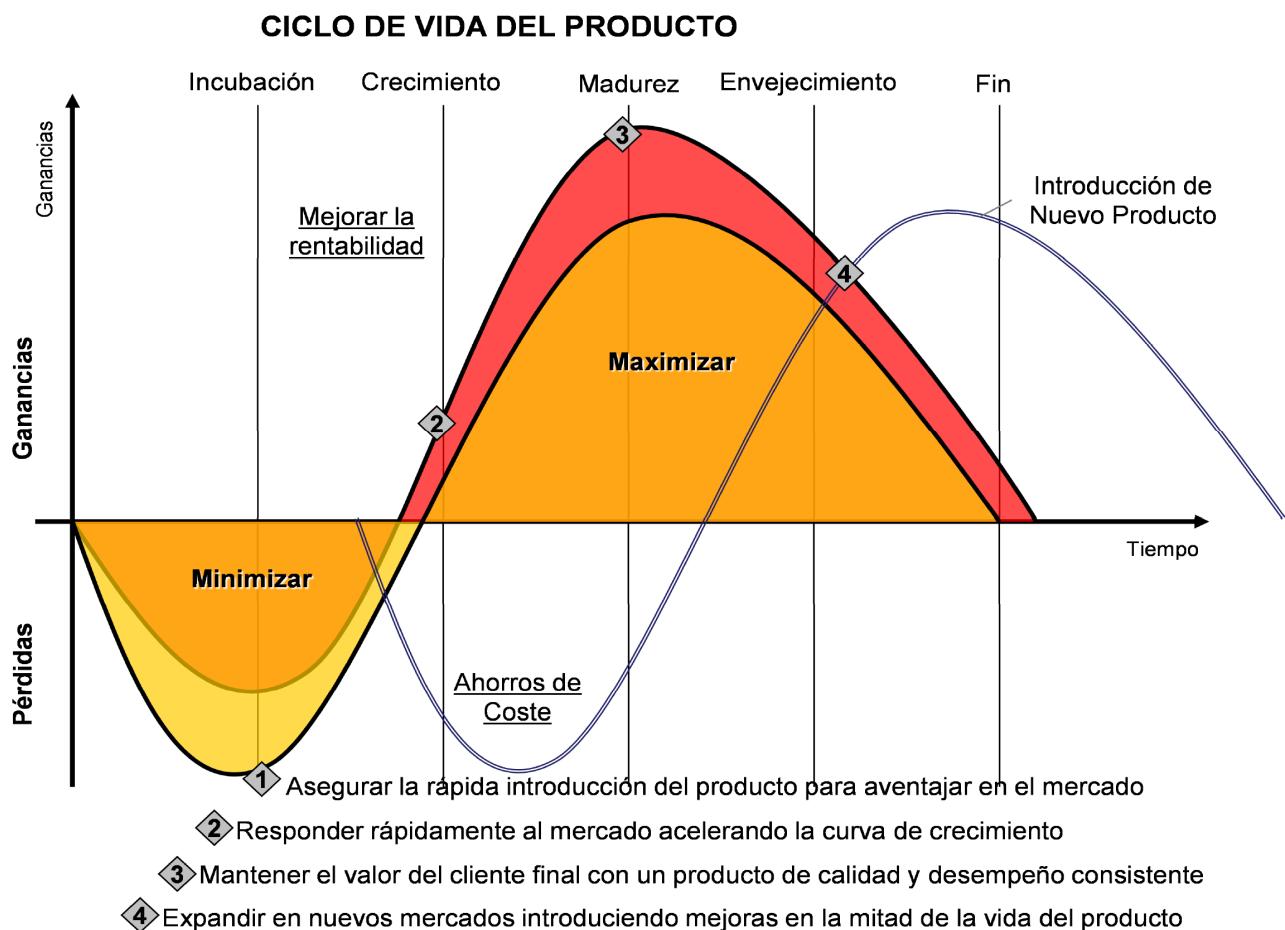


Figura 32. Gráfico de las ventajas de la modularidad durante el ciclo de vida. Extraído de: Echevarría-Quintana, Marcos (2015). METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA SELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES. (Tesis Doctoral). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB). Barcelona, España.

El área inferior de color amarillo representa la inversión que se debe realizar entre un producto individual contra el de plataforma. Se puede observar que los costes de inversión son mayores en el diseño de plataformas. El área superior de color rojo representa la ventaja que se tiene en la fabricación y venta de productos en base a una plataforma con respecto a los desarrollos individuales. Finalmente, la curva azul representa la introducción de un nuevo producto reaccionando rápidamente al mercado para no perder ni posición ni beneficios.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

El investigador Timo Lehtonen afirma en su tesis *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development* (2007) que la modularidad está íntimamente relacionada con el ciclo de vida del producto y que se pueden diferenciar tres categorías:

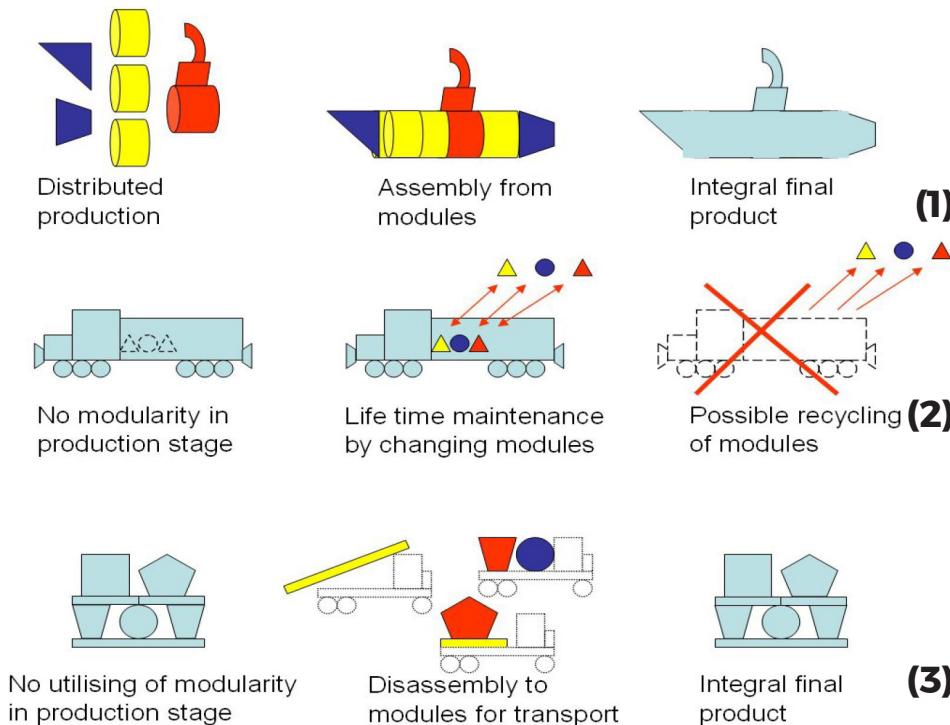
1. Modularidad basada en la fabricación
2. Modularidad basada en el mantenimiento
3. Modularidad basada en la logística

Surgieron muchos ejemplos de modularidad relacionados con el ciclo de vida del producto en los años setenta. Para cada categoría, Timo Lehtonen muestra un ejemplo de aplicación real:

**1. Ejemplo de modularidad basada en la fabricación** - Se trata de un caso de submarinos alemanes (Submarino de Tipo XXI, 1944) en el que un submarino de modelo estándar se dividió en diversos módulos de montaje longitudinal para poder llevar a cabo una producción descentralizada. En este caso, la modularidad se utilizó sólo en la fase de fabricación, y no durante el resto de su vida útil.

**2. Ejemplo de modularidad basada en el mantenimiento** - Las locomotoras Dash 2 de la División Electro Motive (EMD) de General Motors presentaron un nuevo sistema de dirección eléctrica basado en módulos separables que permitían reemplazar aquellos módulos defectuosos sin tener que llevar toda la locomotora a reparar. Esta estructura modular facilitó el servicio de mantenimiento y, lo más importante, aumentó el nivel de usabilidad de las locomotoras. Su modularidad, fue un factor crítico de éxito. A excepción del sistema eléctrico, la locomotora no era modular ni muy configurable.

**3. Ejemplo de modularidad basada en la logística** - La compañía Merima Ltd aplicó la modularidad en el diseño y logística de un restaurante destinado a ser instalado en el interior de un barco de pasajeros. Para ello, la compañía construía y montaba el restaurante en sus instalaciones de producción y, posteriormente, lo desmontaba para ser transportado en módulos y entregado al barco con instrucciones de montaje. Finalmente, el restaurante se montaba en el barco de una forma mucho más rápida y con un menor número de personas. *Nota: Actualmente, la empresa multinacional HMY Yudigar utiliza esta misma técnica con el montaje de los elementos interiores de las tiendas que diseñan.*



Estos casos no incluyen la modularidad configurable, ya que su uso tiene un diferente propósito. Es necesario entender que realizar un diseño modular centrado en una fase del ciclo de vida del producto es una tarea completamente diferente que diseñar una familia de productos configurables. Sin embargo, la modularidad en un mismo producto puede tener varios objetivos. Por ejemplo, en el caso de la locomotora, los módulos de la dirección eléctrica, además de ser reemplazables, podrían llegar a ser también actualizables.

Figura 33. Tipos de modularidad basados en varias etapas del ciclo de vida: fabricación, mantenimiento y logística. En la figura, los módulos se indican en colores brillantes en las fases del ciclo de vida en las que se utiliza su estructura modular. Extraído de: Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Métodos en desarrollo

En este apartado se citan las metodologías estudiadas que se han considerado que se encuentran actualmente en período de desarrollo. A pesar de que muchas de ellas se hayan planteado por primera vez hace años, todavía no están del todo instauradas en el desarrollo de productos modulares. Es por esto que, aquellas menos recientes, siguen siendo estudiadas y analizadas por diversos investigadores mediante su aplicación en nuevos sectores y productos. Otras sin embargo, han sido propuestas recientemente por un autor en concreto de forma teórica y todavía requieren de un desarrollo posterior.

Robert B. Stone, Kristin L. Wood y Richard H. Crawford en su artículo *Using quantitative functional models to develop product architectures* (2000) hacen una revisión de los métodos de diseño modular que se encuentran en vías de desarrollo. Afirman que los métodos basados en matrices -de los que ya se han visto tres ejemplos en el apartado anterior- suponen el primer intento matemático de agrupar subfunciones en módulos. También manifiestan que se están investigando métodos que tienen en cuenta los aspectos económicos de la selección de componentes comunes para el diseño y fabricación de familias de productos. Por otro lado, se buscan métodos que combinen los métodos heurísticos y cuantitativos para desarrollar una metodología de diseño modular integral mediante la creación de esquemas y la agrupación de productos en familias basándose en su función.

De este modo, se han identificado diversas metodologías en desarrollo que se encuentran en las vías de investigación comentadas. Existen numerosas variantes de cada una de ellas. En este apartado se comentan brevemente los siguientes métodos:

- Matriz de modulación de la marca (Brand modularity matrix) - Kevin Otto (2001)
- Método FAS (Función-Ensamblaje-Espacio) - Marcos Echevarria Quintana (2009)
- Modelo funcional cuantitativo (Quantitative functional model) - Stone, R. B., Wood, K. L., & Crawford, R. H. (2000)

Se han escogido estas metodologías por continuar las líneas de investigación comentadas. En primer lugar, la matriz de modulación de marca trata de crear una metodología dirigida al diseño y desarrollo de familias de productos. En segundo lugar, el método FAS busca ampliar el método DSM -que como se ha comentado supone un primer intento matemático de agrupar subfunciones en módulos- utilizando herramientas cuantitativas para desarrollar una metodología de diseño modular. Y, en tercer lugar, el modelo funcional cuantitativo combina las dos líneas de investigación al tratar de formar familias de productos mediante métodos heurísticos y cuantitativos.

Por otra parte, en este apartado se han analizado más artículos que hablaban de otras metodologías, como *Optimum Overall Product Modularity* de Mohamed Kashkoush y Hoda ElMaraghy, y *Product platform design: method and application* de Simpson, Maier y Mistree. Sin embargo, dichas metodologías siguen la misma línea que las ya citadas y son muy similares a éstas.



Figura 34. Alfombra CitySpaces diseñada por ALLT Studio

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Matriz de modulación de marca

Kevin Otto en su artículo *MODULARIZATION TO SUPPORT MULTIPLE BRAND PLATFORMS* (2001) sostiene que las metodologías actuales determinan la modularización basándose únicamente en las funciones. Sin embargo, los métodos para desarrollar múltiples plataformas que soportan múltiples marcas deben representar la identidad de la marca a través de la estética sensorial. Los elementos críticos para la identidad de marca deben hacerse comunes en todos los productos de una marca. De este modo, para cualquier plataforma, los elementos específicos de la marca se deben mantener en cada variante del producto. Una representación matricial de cada plataforma y sus variantes de marca soportadas es útil como una herramienta de arquitectura para lograrlo.

De este modo, para ayudar a asignar y diferenciar marcas, el artículo presenta la matriz de diferenciación de marca. Esta matriz contiene una marca por columna y un elemento de la identidad de marca por fila. Dentro de cada celda de la matriz se introducen los datos estéticos de cada marca correspondientes a cada elemento de su identidad, tal y como se ve en las imágenes inferiores.

	Dewalt	Firestorm®	Quantum	Black & Decker	VersaPak®		Dewalt	Firestorm®	Quantum	VersaPak®
Dominant Theme	<b>Heavy Duty</b>	<b>High Performance</b>	<b>High Value</b>	<b>Standard</b>	<b>Multi-purpose</b>		<b>Heavy Duty</b>	<b>High Performance</b>	<b>High Value</b>	<b>Multi-purpose</b>
Input Signal	<i>Black</i> Trigger	<i>Black</i> Trigger	<i>Yellow</i> Trigger	<i>Orange</i> Trigger	<i>Orange</i> Trigger		<i>Black</i> Trigger <td><i>Black</i> Trigger</td> <td><i>Yellow</i> Trigger</td> <td><i>Orange</i> Trigger</td>	<i>Black</i> Trigger	<i>Yellow</i> Trigger	<i>Orange</i> Trigger
Switch Power	<i>□</i> <i>Variable speed</i>	<i>□</i> <i>Variable speed</i>	<i>□</i> <i>Variable speed</i>	2 speed	2 speed		<i>□</i> <i>Variable Speed</i>	<i>□</i> <i>Variable Speed</i>	<i>□</i> <i>Variable Speed</i>	<i>□</i> <i>Variable Speed</i>
Unlock Switch	<i>Black Oval</i> Button	<i>Black</i> Button	<i>Black</i> Button	<i>Black</i> Button	<i>Black</i> Button		<i>Oval Black</i> Horz. Hold Button	<i>Thin Black</i> Vert. Hold Button	<i>Oval Black</i> Horz. Hold Button	<i>Orange</i> Horz. Hold Button
Convert Elect	<i>Powerful</i> 300	<i>220</i>	<i>220</i>	<i>220</i>	120		<i>Powerful</i>			
Transform τ, ο	<i>Quiet 2 Sp</i> Box	<i>2 speed</i> Box	<i>1 speed</i> Box	<i>1 speed</i> Box	<i>1 speed</i> Open		450	330	330	120
Switch Speed	<i>□</i>	<i>□</i>	<i>□ □</i>	<i>□ □</i>	<i>□ □</i>		<i>□</i>	<i>□</i>	<i>□</i>	<i>□</i>
Transmit Power	<i>Fine Ring Gear</i> 16 Slip Clutch	<i>Ring Gear</i> 22 Slip Clutch	<i>Lines</i> 6 Slip Clutch	<i>Lines</i> 6 Slip Clutch	<i>Solid</i> Shaft		<i>Silver, Large</i> <i>Adjustable Shoe</i>	<i>Black, Large</i> <i>Adjustable Shoe</i>	<i>Steel, Large</i> <i>Adjustable Shoe</i>	<i>Steel</i> 90° Shoe
Input Speed	<i>Thin</i> Button	<i>Wide</i> Button	<i>□ □</i>	<i>□ □</i>	<i>□ □</i>		<i>5 3/8"</i> Circular Blade	<i>5 3/8"</i> Circular Blade	<i>5 3/8"</i> Circular Blade	<i>5 3/8"</i> Circular Blade
Act on Object	<i>Bit</i>	<i>Bit</i>	<i>Bit</i>	<i>Bit</i>	<i>Bit</i>		<i>□</i>	<i>□</i>	<i>□</i>	<i>□</i>
(Un) Register Bit	<i>□</i> Chuck Teeth	<i>□</i> Chuck Teeth	<i>□</i> Chuck Teeth	<i>□</i> Chuck Teeth	<i>□</i> Chuck Teeth		<i>Shaft Taper</i>	<i>Shaft Taper</i>	<i>Shaft Taper</i>	<i>Shaft Taper</i>
(Un) Secure Bit	<i>Wide Lines</i> Chuck	<i>Thin Lines</i> Chuck	<i>Thin Lines</i> Chuck	<i>Thin Lines</i> Chuck	<i>Thin Lines</i> Chuck		<i>Hex</i>	<i>Hex</i>	<i>Hex</i>	<i>Hex</i>
Transmit Electricity	<i>Square</i> 9.6 V, 2pt	<i>Open</i> 9.6 V, 2 pt	<i>Open</i> 9.6 V, 2pt	<i>Open</i> 9.6 V, 3pt	<i>VersaPak</i> 7.2 V, Round		<i>Clamp</i>	<i>Clamp</i>	<i>Clamp</i>	<i>Clamp</i>
(Un) Register Battery	<i>Bevel</i> 2 point	<i>Straight</i> 2 point	<i>Straight</i> 2 point	<i>Straight</i> 3 point	<i>VersaPak</i> Round		<i>Square</i>	<i>Open</i>	<i>Open</i>	<i>VersaPak</i>
Permit Positioning	<i>Rough</i> Palm	<i>Padded</i> Palm	<i>Diamond</i> Palm	<i>Diamond</i> Palm	<i>Diamond</i> Palm		14.4 V, 2pt	14.4 V, 2pt	14.4 V, 2pt	7.2 V, Round
Encase	<i>Yellow</i> 2 piece	<i>Red</i> 3 piece	<i>Green</i> 3 piece	<i>Blue</i> 3 piece	<i>Blue</i> 2 piece		<i>Bevel</i>	<i>Straight</i>	<i>Straight</i>	<i>VersaPak</i>
							<i>2 Point</i>	<i>2 Point</i>	<i>2 Point</i>	<i>Round</i>
							<i>Rough</i>	<i>Padded</i>	<i>Diamond</i>	<i>Diamond</i>
							<i>Palm</i>	<i>Palm</i>	<i>Palm</i>	<i>Palm</i>
							<i>Yellow</i>	<i>Red</i>	<i>Green</i>	<i>Blue</i>
							4 Piece	3 Piece	4 Piece	2 piece

Figura 35. Matrices de modulación de una familia de taladro inalámbrico. Extraido de: Sudjianto, A., & Otto, K. (2001). MODULARIZATION TO SUPPORT MULTIPLE BRAND PLATFORMS. ASME Design Engineering Technical Conferences.

El ejemplo que se muestra en la imagen se trata de una matriz de modulación de una familia de taladros inalámbricos. Como se puede observar, las especificaciones técnicas se indican en la parte inferior y las especificaciones estéticas en la parte superior. Como resultado, los módulos de cada producto se muestran mediante colores compartidos entre sus especificaciones en cada fila. Los módulos de la plataforma se muestran mediante colores compartidos entre productos, y las especificaciones de marca se muestran como texto resaltado.

A través de este método se consigue una integración global de la estética y las funcionalidades que una marca debe tener. Se proponen así el uso de la estructura de funciones y la matriz de modularidad de marca para ayudar conjuntamente en la aplicación de las reglas de modularidad de marca para diseñar una plataforma de producto que debe soportar múltiples productos y múltiples marcas. Esta metodología descrita se puede ampliar para guiar el proceso de arquitectura de plataforma para apoyar multi-productos y multi-marca.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Método FAS

La metodología FAS fue desarrollada por Echevarria Quintana en su tesis *Metodología de diseño conceptual modular* (2009). Según su autor, FAS parte de una matriz de relaciones (DSM) -vista en el apartado anterior-, en la que se muestran los diferentes componentes o subsistemas del producto y en la que a través de algoritmos matriciales se busca el resultado óptimo en la selección de los sistemas. La metodología FAS sigue los siguientes pasos:

#### 1.- Identificación del Producto

El producto puede ser un sistema simple o uno complejo formado por varios subsistemas. Teniendo el conocimiento del sistema, se pueden evaluar las interfaces, entorno y límites tanto físicos como funcionales de los cuales se determinarán las relaciones FAS a analizar.

#### 2.- Explosión de los componentes

Es necesario crear un listado de los componentes que lo forman, debido a que el análisis se realiza en categorías inferiores a la del sistema general. Con el explosión de los componentes, se realizará el proceso de determinar las relaciones FAS para cada una de ellas y entre cada una de ellas por individual.

#### 3.- Introducción de los Componentes en la tabla DSM

En la tabla DSM se deben incluir todos los componentes la columna izquierda y en la fila superior, para así establecer las relaciones entre cada uno de ellos. La intersección de un mismo elemento en fila y columna está cerrada a introducir valores de relación.

#### 4.- Identificar el Tipo de Relación entre cada Componente

Se deben identificar las Funciones (valor 1), Ensamblajes (valor 2) y Espacio (valor 3) propio de cada elemento y su relación con el resto. Estos valores tienen una jerarquía donde la función está en un orden superior, ya que con esto se pretende identificar los módulos necesarios para cumplir con las especificaciones de producto. De la misma manera, el nivel de Ensamble es superior al de Espacio ya que con esto se buscan nuevas soluciones en el posicionamiento y entorno de los productos.

#### 5.- Análisis algorítmico de agrupación

Con ayuda del algoritmo base del DSM es posible obtener una agrupación de los componentes. Los resultados son expresados en la misma forma matricial, pero los elementos cambian de orden dependiendo de los conjuntos de relación que presentan más densidad entre sí, tal y como se ve en el ejemplo.

#### 6.- Análisis de cada uno de los bloques

En cada uno de los bloques es posible comprobar del índice de propagación del cambio (CPI) que determinan el tipo de sistema e identifica la energía o potencial de los elementos. Para facilitar la búsqueda de la modularidad, es necesario también identificar los nodos centrales ( $C_i$ ) para encontrar el elemento que parte como base en la formación de nuevos módulos.

#### 7.- Selección de módulos

La revisión de la viabilidad y factibilidad de los nuevos módulos está dada por el análisis del cumplimiento de las cargas y especificaciones de los sistemas analizados al comienzo para saber así si los módulos encontrados son factibles por cumplir con las especificaciones originales. La importancia de conocimiento sobre los sistemas es trascendente para comenzar con los nuevos desarrollos modulares.

Como se puede observar, el método FAS, a diferencia de otras metodologías estudiadas en este proyecto, incluye unas fases previas y posteriores al DSM, es decir, a la búsqueda de los módulos. En primer lugar, la primera fase permite establecer las relaciones con un mayor grado de detalle, lo que luego da lugar al final a que la metodología pueda valorar el funcionamiento de cada módulo y su viabilidad en el conjunto final. Además, este último análisis se hace mediante un procedimiento algorítmico que permite valorar los módulos cuantitativamente. En general, es una metodología más extensa y completa que no solo se encarga del análisis de la estructura y su agrupación en módulos, sino también en la evaluación de éstos.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Modelo funcional cuantitativo

En el artículo *Using quantitative functional models to develop product architectures* (2000) se introduce una metodología para representar un modelo funcional de un producto de forma cuantitativa que, además de describir la funcionalidad del producto, incorpora criterios en función de las necesidades del cliente. Con este método, toda la información sobre el diseño del producto puede ser archivada y transmitida en bases de datos. Las manipulaciones numéricas de dicha base de datos ayudarían posteriormente en el desarrollo de arquitecturas de productos, en particular, para diseñar módulos orientados a las familias de productos y a las clasificaciones de necesidades de los clientes.

Por lo tanto, esta metodología consiste básicamente en generar una base de datos de productos, familias de productos y clasificaciones de clientes para desarrollar arquitecturas de productos. Para ello el método consta de tres fases, tal y como se muestra de forma esquemática en la imagen inferior.

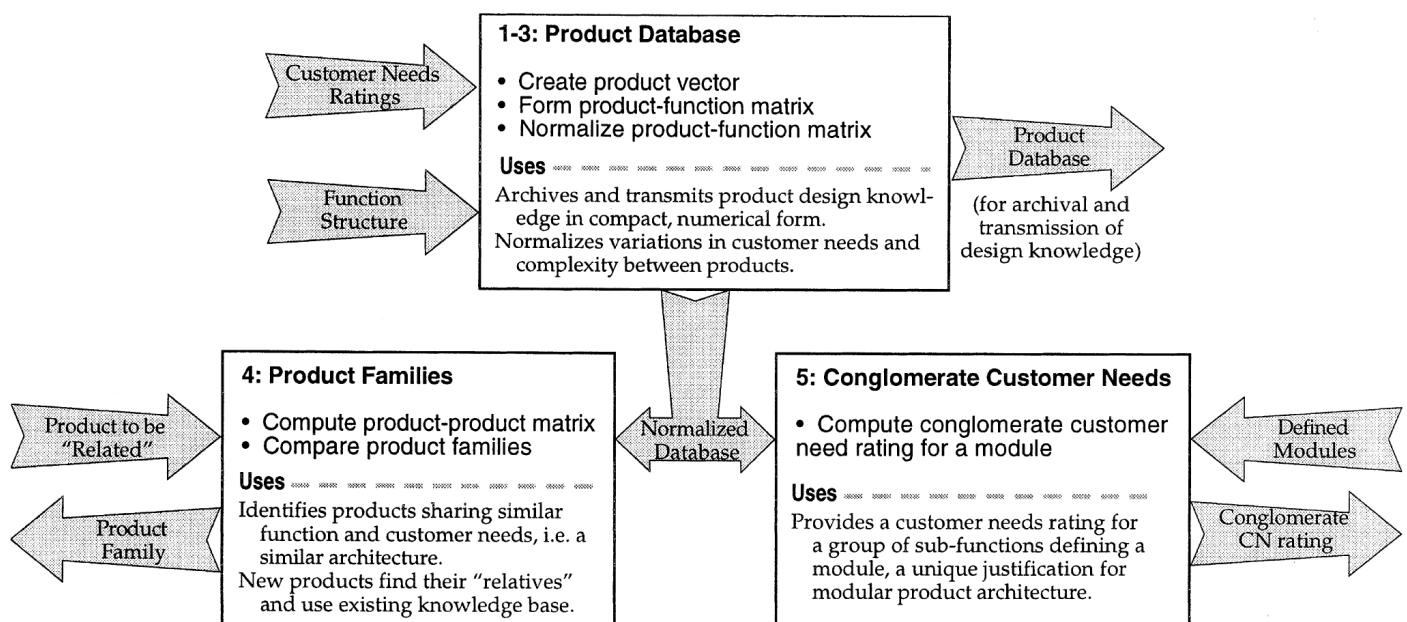


Figura 36. Visión general de la metodología para utilizar modelos cuantitativos funcionales para el desarrollo de arquitecturas de productos. Extraído de: Stone, R. B., Wood, K. L., & Crawford, R. H. (2000). *Using quantitative functional models to develop product architectures*. *Design Studies*, 21 (3), 239–260.

Como se puede observar, la primera fase produce una base de datos compuesta de modelos cuantitativos funcionales de productos. Esta base de datos representa un mecanismo único de archivado y transmisión de conocimientos de diseño ya que combina tanto las necesidades funcionales como las necesidades de los clientes sobre los diseños de productos en forma compacta y numérica. Su desarrollo incluye la correlación de las calificaciones de las necesidades del cliente con las sub-funciones que forman los vectores del producto y la posterior agregación de estos vectores en una matriz producto-función.

La segunda fase manipula la base de datos para identificar grupos de productos similares y que, por lo tanto, pueden compartir arquitecturas de productos similares. Así de esta fase se consigue extraer una familia de producto en función de una base de datos sólida.

Finalmente, en la tercera fase, la base de datos de productos se utiliza para calcular las valoraciones de las necesidades de los clientes para cada módulo, de modo que éste pueda ser mejorado si falla en alguna valoración. De este modo las calificaciones originales de las necesidades de los clientes se utilizan para respaldar las opciones de arquitectura del producto.

Como su propio nombre indica, este método es altamente cuantitativo, por lo que para desarrollar detalladamente la base de datos se utilizan fórmulas empíricas que evalúan las funciones de una forma compacta y numérica. Lo mismo ocurre con la valoración de las necesidades de los clientes.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

#### Teorías

Finalmente, este apartado se centra en el estudio de teorías actuales que podrían dar lugar a nuevas metodologías de diseño en el futuro si se siguieran desarrollando investigaciones en estos ámbitos. De este modo, se han identificado dos teorías a estudiar:

- **Teoría de los policubos** - Es una teoría ya estudiada en diversas investigaciones por su potencial aplicabilidad en el ámbito de la arquitectura, pero cuyo desarrollo en la aplicación todavía no ha dado lugar a la existencia de una metodología basada en ella.
- **Fabricación** - Dada la importancia de la fabricación en la producción de un producto y su relación con la modularidad (ver apartado Análisis del ciclo de vida) se ha decidido estudiar en este apartado cuál es la evolución de la fabricación (industria 4.0) y cómo podría ser la fábrica del futuro. Lo que se pretende es conocer cómo podría ser el uso de la modularidad en este nuevo ámbito. Para ello, dentro de la fabricación se han decidido estudiar los siguientes conceptos:
  - **Industria 4.0** - Es una nueva forma de organizar los medios de producción y puede suponer la cuarta revolución industrial a través del uso de las llamadas fábricas inteligentes (smart factories).
  - **Cultura maker (DIY)** - Se trata de un movimiento actual que cada vez tiene más adeptos, basado en que el principio de "hazlo tú mismo" (DIY) que incita al usuario a tomar parte de la producción.
  - **Usuario prosumer** - Es el usuario que a la vez es productor y consumidor, y serían aquellos que siguen la Cultura maker (DIY) para llegar a fabricar parcialmente los productos que consumen.

Así pues, a continuación se realiza una breve explicación del principio teórico de cada uno de estos conceptos y de su posible relación futura con el diseño modular en el desarrollo de una nueva metodología.



Figura 37. Techo de cristal modular del British Museum.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

#### Teoría de los policubos

La teoría de policubos es una rama de las matemáticas que se ocupa de estudiar el comportamiento de unidades modulares cúbicas, tal que unidas por sus caras configuran formas en el espacio tridimensional. Si bien el módulo básico es un cubo, la combinación de varios cubos permite obtener una gran variedad de módulos que conservan ortogonalidad entre sus caras y, dentro de la sencillez de sus formas, aportan riqueza volumétrica y modularidad, estableciendo correspondencias con formas de uso arquitectónico.

Las formas modulares compuestas por cuadrados y cubos se denominan respectivamente poliominos y policubos, cuyo antecedente más temprano es el Cubo Soma, que consiste en 27 módulos cúbicos combinados que forman un cubo de 3x3x3 módulos. Uno de los desafíos en el área de las matemáticas recreacionales consiste en armar el Cubo Soma a partir de sus piezas sueltas, pero también es posible armar cientos de otras analogías con formas de la vida real.



Figura 38. Ejemplo de aplicación extraído de: Serrentino, R. H., & Molina, H. (abril de 2017). Arquitectura modular basada en la teoría de los policubos. Recuperado de <http://textos-y-contextos.blogspot.com.es/2008/01/arquitectura-modular-basada-en-la-teoria.html>

Esta teoría permite crear formas sintéticas que correspondan a situaciones arquitectónicas, en variadas escalas: equipamiento mobiliario, habitaciones, grupos de habitaciones, departamentos, grupos de departamentos, edificios, grupos de edificios, hasta llegar a un sistema urbano. Una de las maneras más frecuentes de encarar el proceso proyectual, tanto en la enseñanza-aprendizaje como en la actividad profesional, consiste en establecer reducciones conceptuales que permiten operar con mayor claridad y rapidez. El trabajo modular tridimensional tiene en los cubos y policubos su expresión de mayor simplicidad fundamentalmente por dos razones:

1. La direccionalidad de sus aristas corresponde al sistema de coordenadas de mayor difusión
2. Es el cuerpo sólido que más sencillamente rellena modularmente el espacio tridimensional, sin dejar huecos y sin superponerse.

Este procedimiento también está relacionado con la intención del diseñador de establecer una reducción sistemática para enfrentar el proceso proyectual y arribar a la conformación geométrica del objeto proyectado. Tal proceso puede ser abordado de las siguientes maneras:

- a. Desde la forma al propósito, cuando descripto el propósito o cometido del objeto se lo confronta con un subconjunto predefinido, buscando cuál de ellas se adecua al propósito a cumplimentar.
- b. Desde el propósito a la forma, cuando se esbozan soluciones geométricas produciendo progresivas aproximaciones a la solución óptima concebida idealmente. Es un proceso de cotejo de diferentes descripciones de una misma definición, de un mismo modelo conceptual.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Fabricación

Como se ha podido observar en el apartado *Análisis del ciclo de vida*, la fabricación es una parte primordial del producto en la que el diseño modular puede influir. Este apartado se centra en estudiar la fabricación del futuro y los conceptos actuales que la pueden definir. El objetivo es analizar el contexto actual de modo que se pueda construir una base sobre el posible escenario futuro (exploratorio) en el que se enmarque la fabricación. Es por esto que se estudia la Industria 4.0 y la cultura maker, como variables esenciales, y el usuario prosumer, como actor.

En el libro *Advances in Computational Intelligence*, de Ignacio Rojas y Gonzalo Joya, establecen los siguientes puntos sobre la fabricación del futuro:

1. Conocer los principales elementos habilitadores de la Industria 4.0, centrados en:

- **Integración de la información del ciclo de vida**
- Internet de las cosas
- **Fábricas digitales**
- Sistemas ciber-físicos

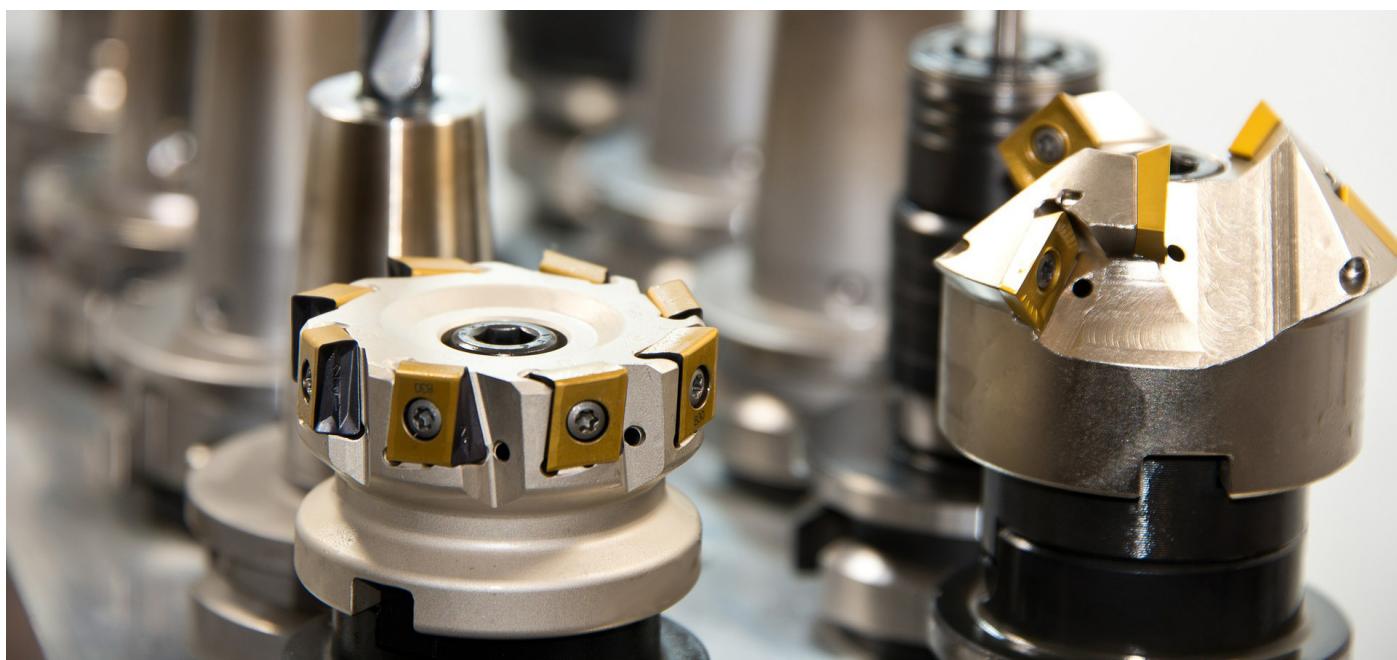
2. El desarrollo de los modelos del Sistema Producto-Servicio (PSS) que tienen en cuenta:

- **La articulación de las tecnologías de la Industria 4.0 para el producto y el proceso de fabricación**
- **La reducción de recursos mediante la aplicación de principios de economía circular**

3. Herramientas y técnicas para organizar el proceso de Ingeniería de diseño para este nuevo tipo de productos y sistemas de fabricación enfocados en:

- Co-creación
- **Análisis de los prosumidores**
- Agilidad empresarial
- **Diseño para la industria 4.0**

Como se puede observar, se ha destacado en negrita los puntos que más relación pueden guardar con el diseño modular, algunos de los cuales ya se han analizado en los apartados *Análisis del ciclo de vida* (págs. 40-41) y *El contexto: Economía Circular* (págs. 27-28). Otros, se puede observar en los apartados *Industria 4.0, Cultura Maker y Usuario Prosumer*, que se detallan a continuación.



### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

## Industria 4.0

El concepto de Industria 4.0 (también llamado *cuarta revolución industrial*, *Industria inteligente* o *Ciberindustria*) corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción. El objetivo que pretende alcanzar es la puesta en marcha de un gran número de fábricas inteligentes o *smart factories* capaces de adaptarse mejor a las necesidades y a los procesos de producción, y de realizar una asignación más eficiente de los recursos.

Las bases tecnológicas en que se apoya esta orientación son las siguientes: Internet de las cosas, Sistemas ciberfísicos, Cultura maker (DIY) y Fábrica 4.0. Sin embargo, la Industria 4.0 no se reduce exclusivamente a estos cuatro puntos, ésta enfatiza la idea de una creciente y adecuada digitalización y coordinación cooperativa en todas las unidades productivas de la economía.

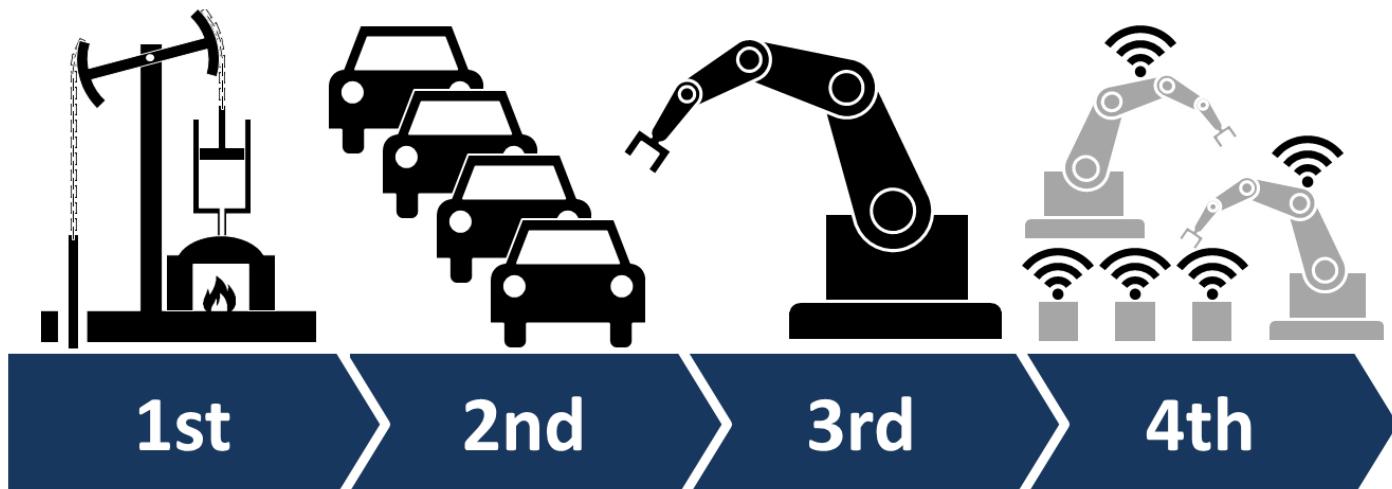


Figura 39. Esquema representativo de la evolución industrial extraído del libro *The Fourth Industrial Revolution*, de Klaus Schwab.

Este concepto de Industria 4.0 no es una realidad ya consolidada y experimentada, sino un nuevo hito en el desarrollo industrial que sin duda marcará importantes cambios sociales en los próximos años, mediante un uso intensivo de Internet y de las últimas tecnologías, desarrollando nuevas plantas industriales, haciendo un uso más inteligente de los recursos energéticos y con cadenas de producción mucho mejor comunicadas entre sí y con los mercados de oferta y demanda.

La Industria 4.0 es uno de los proyectos clave para muchos países que deciden promover la revolución digital de las industrias, como es el ejemplo del gobierno alemán, algunas sociedades francesas (Oracle, Dassault Systèmes, EADS, Astrium...) y proyectos estadounidenses como Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC), que se orientan a las modalidades de la fabricación industrial del futuro.

Por otra parte, la Industria 4.0 pretende responder a las problemáticas actuales en cuanto al ahorro de energía y a la gestión de recursos naturales y humanos. Con un sistema organizado sobre la base de una red de comunicaciones y de intercambio instantáneo de información, habrá una mejor preparación para hacer que esta gestión sea más eficaz, en correspondencia con disponibilidades de cada elemento del sistema, así como contemplando las necesidades y requerimientos externos, permitiendo mejoras y ganancias en productividad y en economía de recursos.

Con esta idea se pretende introducir una gran flexibilidad y adaptabilidad en el proceso productivo que contribuya al aumento y mejora de la producción. Se trata de adaptarse a las necesidades y requisitos de los consumidores finales, así como de intermediarios, proveedores, y asociados, que se encuentren relacionados con el proceso productivo y sus productos. En este aspecto, la modularidad es una fuerte herramienta a través de la cual se puede añadir un grado de personalización o adaptación que, por ejemplo, permita modificar algunas características de los productos a los clientes. Esto permite manejar una producción a gran escala con productos personalizados según las necesidades particulares, y a la vez, sin mantener stocks exageradamente voluminosos.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

#### Cultura Maker (DIY)

La cultura maker, o “tercera revolución industrial”, es una cultura que representa una extensión basada en el concepto DIY (Do it Yourself) que promueve la idea que todo el mundo es capaz de desarrollar cualquier tarea en vez de contratarla. Es un movimiento social con un espíritu artesanal en el que los métodos de fabricación digital se han hecho accesibles a escala personal. El término creció hasta llegar a ser una industria basada en el creciente número de “DYEers” que querían construir algo en lugar de comprarlo.

Muchos productos producidos por las comunidades makers están focalizados en el desarrollo sostenible, el ecologismo y la cultura local. Desde ese punto de vista, también puede verse como una respuesta negativa a los productos desechables, la producción masiva globalizada, el poder de las cadenas de tiendas, las multinacionales y el consumismo. Este enfoque se puede describir como una fabricación personal para el mercado de una persona donde hay un menor coste y una mayor innovación. Por otra parte, los makers comparten abiertamente sus invenciones para inspirar nuevas innovaciones.

Cada vez son más las personas que coinciden con la filosofía de esta cultura. En este contexto, el diseño modular tiene una gran cabida debido principalmente al creciente interés del usuario tipo de poder crear sus propios productos e interferir en el proceso productivo de éstos. Las plataformas de producto permiten a los usuarios crear su propio producto personalizado, hecho por ellos mismos. Aunque el nivel de artesanía en este caso no es muy alto, ya que la plataforma la aportaría una empresa, si que se le permite al usuario construir el resto del producto e incluso implementar cambios a través de nuevos módulos.

Por otra parte, el diseño modular da lugar también a productos sostenibles y ecológicos, igual que los producidos por las comunidades makers, y su uso conllevaría una menor producción masiva y menos consumismo a causa del alargamiento del ciclo de vida del producto, de cuyo mantenimiento y reparación se encargaría directamente el usuario. Es decir, el usuario sería productor, desarrollador y reparador al mismo tiempo, se trataría de un usuario autónomo que no requiere de otros especialistas o servicios.

Por todas estas razones, el diseño modular es una herramienta muy potencial en la posible implantación futura de la cultura maker (o tercera revolución industrial). Puede llevarse a cabo en diferentes niveles, como en el caso de una empresa que aporta la plataforma principal y los módulos y le permite al usuario personalizar su propio producto, o como en el caso de que sea la empresa la que aporte diferentes elementos modulares para que sea el usuario quien cree su propia plataforma y módulos (ver imagen inferior). En cualquier caso, es el usuario quien tiene la capacidad de “construir” su propio producto con sus manos y conocimientos, pudiendo efectuar todos los cambios y actualizaciones que deseé.

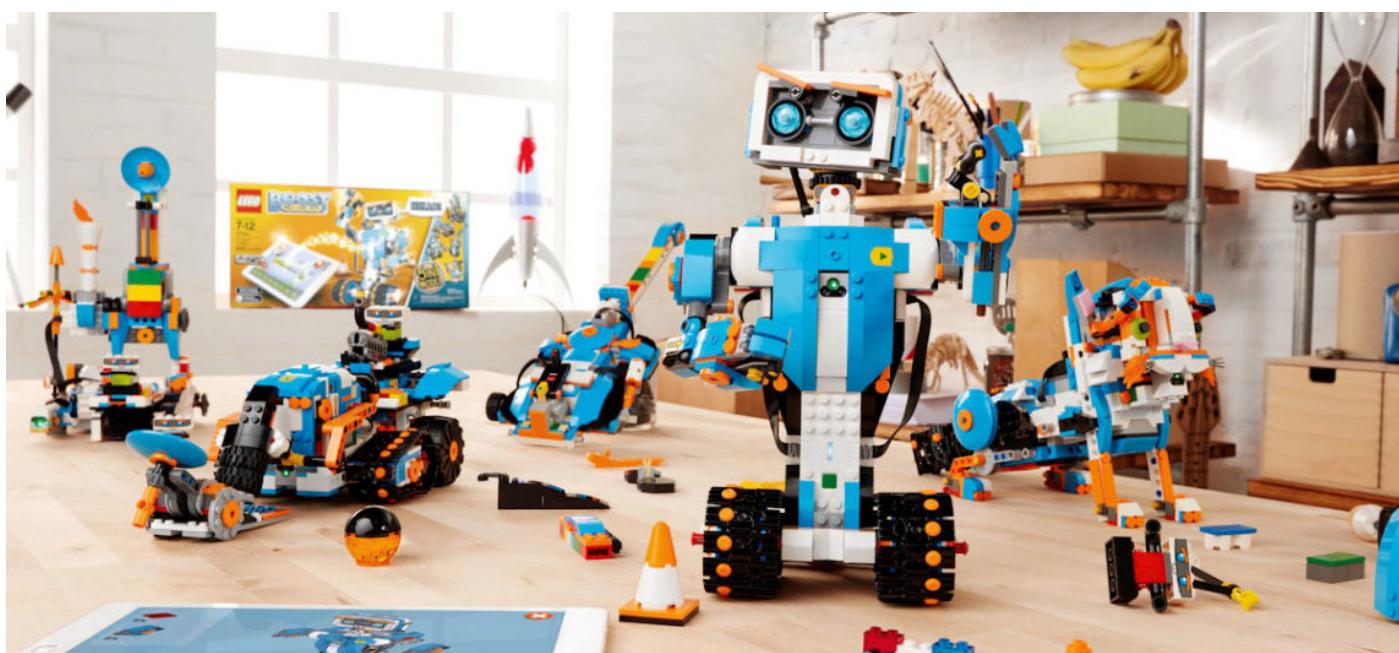


Figura 40. LEGO Mindstorms es un ejemplo de producto basado en la cultura maker que combina modularidad y programación.

### 3. ¿CÓMO SE APLICA?

#### Usuario prosumer

La palabra prosumer es un acrónimo formado por la fusión de las palabras en inglés *producer* (productor) y *consumer* (consumidor). Se trata un término que identifica al consumidor que se convierte también en productor, y se utiliza en ámbitos muy diferentes, desde la agricultura a la informática, la industria o el mundo de la afición. El comportamiento del prosumidor indica tendencias emergentes que las organizaciones deben gestionar adecuadamente dando a conocer sus prácticas asociadas a la sostenibilidad, y adaptándose a los nuevos códigos de servicio. Este desdibujamiento de los roles de consumidores y productores tiene su origen en los movimientos cooperativos de autoayuda que surgieron durante varias crisis económicas como la Gran Depresión en los años treinta.

El prosumo se puede definir como una actividad que agrega valor a un producto, material o servicio. Algunas de sus variantes implican una agregación de valor que se sustraen a los costos de producción de una empresa y que implica un ahorro monetario al cliente, al realizar este último un trabajo que antes era realizado por personas dependientes de la empresa (montaje y reparación, colaboración en el diseño de productos, publicidad, etc.) La aparición de herramientas complejas pero de fácil uso o de tecnologías amigables han incentivado el traspaso de actividades antes realizadas por terceros de forma remunerada, hacia la actividad prosumidora y el trabajo para uno mismo.

Se trata de una actividad voluntaria y que requiere compromiso, esfuerzo y tiempo. La aparición de internet ha dado un nuevo énfasis a la misma, potenciando el trabajo prosumidor a través de redes de colaboración, que incentivan la innovación y comparten conocimientos que aceleran los ciclos económicos y tecnológicos. Su aparición se liga con los cambios en las formas de producción de tipo fordista a las postfordistas, que producen cada vez más sobre la base de las demandas específicas de los usuarios.

Actualmente, existen en la red páginas de tutoriales que instruyen a los usuarios a realizar ciertas tareas con el fin de impulsar el desarrollo y producción desde la web. Existen numerosos proyectos centrados en la figura del prosumidor, como es el caso de Lego con Mindstorms. Compañías como Sony utilizan el término prosumidor para describir a usuarios de cámaras de vídeo que crean sus propios documentales con el fin de compartirlos. Esta tendencia de producir y consumir se debe al contexto digital en que vivimos, donde el desarrollo de la tecnología, aplicada a las redes de comunicación, permite tener mayor acceso a cualquier tipo de información, sin que las barreras geográficas sean un impedimento. A nivel mundial, en febrero de 2007 ya había nacido Red de Prosumidores que aglutina a consumidores que buscan pasar del sistema pasivo comprar-pagar a otro más activo como es el de comprar-pagar-promover-ganar.



Figura 41. Evento Maker Faire, creado por la revista Make para “celebrar las artes, la artesanía, ingeniería, proyectos de ciencia y el hágalo usted mismo (mentalidad DIY)”.

¿QUIÉN LO  
APLICA?

# ¿QUIÉN LO APLICA?

## Introducción

Este apartado se centra en el estudio de casos reales en los que se ha aplicado la modularidad en la fase de diseño del producto con el fin de conocer qué empresas y sectores han utilizado, utilizan o empiezan a utilizar el diseño modular y con qué finalidad. A su vez, este análisis sirve también para identificar sectores en los que no se utiliza el diseño modular pero en los que se podría llegar a utilizar de forma potencial.

Durante la investigación previa a esta fase se han encontrado numerosos casos reales de la aplicación del diseño modular en productos, estrategias y sistemas de plataformas (algunos de ellos se han citado ya en el apartado *Análisis del ciclo de vida*). Muchas tesis y artículos centraban alguno de sus apartados en la investigación de los primeros casos en los que se empezaba a incluir el diseño modular para evidenciar la necesidad de su aplicación y desarrollo en la actualidad debido a las numerosas ventajas que ofrecía en los casos estudiados.

Este apartado profundiza en los ejemplos más recientes de diferentes sectores de la industria, con el objetivo de mostrar las diferentes formas de aplicar diseño modular en el mercado actual según cada empresa. Sin embargo, primero se citan en forma de lista los casos ya documentados en otros proyectos así como su fuente y un breve resumen. Tanto los casos ya documentados como los más recientes que se analizan posteriormente, están segmentados según sus sectores para tener una idea más definida sobre dónde se utiliza el diseño modular con mayor frecuencia y dónde no.

De este modo, la metodología de trabajo es la siguiente:



La fase comienza con una búsqueda y recopilación en forma de lista de los casos ya documentados en otras investigaciones. A continuación, se procede a investigar nuevos casos más actuales o no documentados anteriormente de diferentes sectores. Finalmente, con todos los casos recopilados se analizan los sectores que mayor relación tienen con el diseño modular así como los que podrían tener una futura relación potencial si éste se desarrollara.

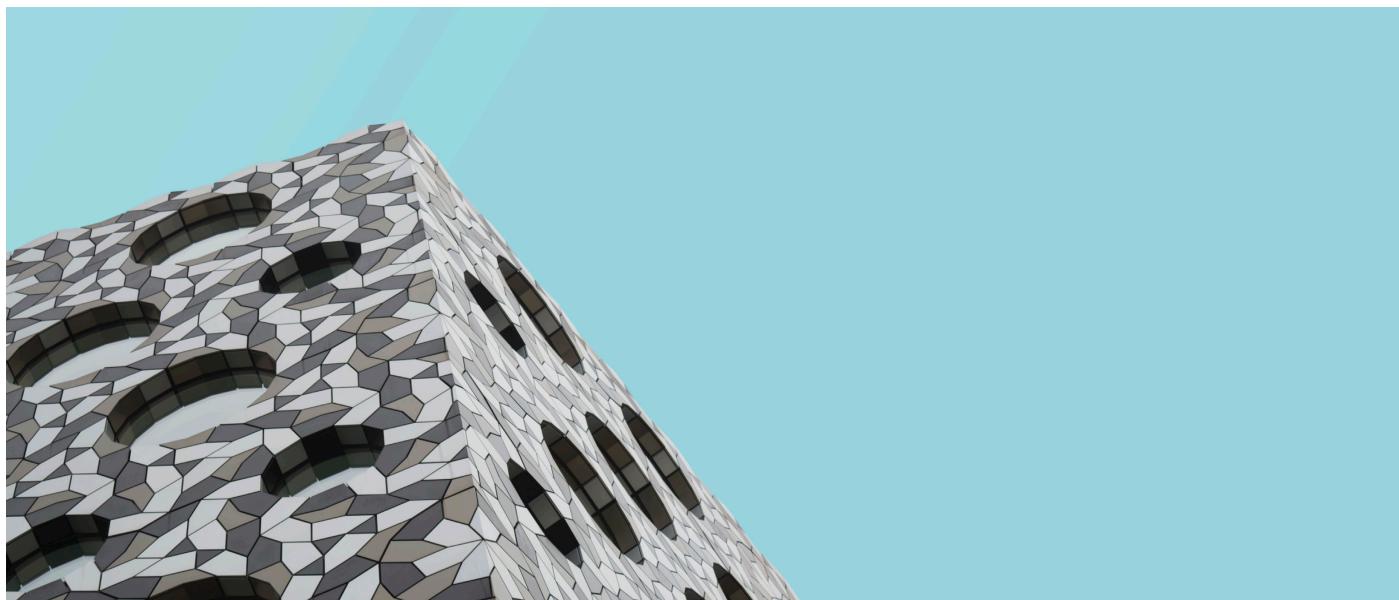


Figura 42. Ejemplo de edificio cuya fachada se basa en un patrón modular.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### Casos documentados

A continuación se hace una lista de algunos casos ya documentados en otros proyectos de investigación sobre empresas que han aplicado el diseño modular. Sobre cada uno de ellos se citan los datos más importantes (año, empresa, producto...) así como un breve resumen.

#### 1. Sperry-Sun Drilling Services, Cheltenham

**Fuente:** Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation.* (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.

**Producto / Empresa / Sector:** Sensores electrónicos / Sperry-Sun Drilling Services / Maquinaria

**Resumen del caso:** Se trata de una empresa que fabrica sensores electrónicos e instrumentación para su uso en la ingeniería civil y la industria petrolera. La empresa desarrolló una gama de productos que permitían incorporar nueva tecnología y a su vez eran compatibles y combinables con los productos ya existentes. Sin embargo, tuvieron diversas dificultades debido a las interfaces necesarias para asegurar la compatibilidad entre productos de diferentes "edades". Para solucionarlo, la empresa optó por una estrategia de desarrollo de productos basada en una filosofía de producto modular.

#### 2. Crosfield Electronics, Peterborough

**Fuente:** Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation.* (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.

**Producto / Empresa / Sector:** Escáner digital / Crosfield Electronics / Electrónico e impresión

**Resumen del caso:** Crosfield diseña y fabrica escáneres de imágenes para la industria de la impresión. Tenía una gama de productos que variaban en su capacidad para procesar diversas cantidades de material fotográfico, pero sus posibilidades de evolución futura se vieron limitadas por la complejidad de la arquitectura del producto. Para resolverlo, la empresa creó el *Proceso del Ciclo de Vida del Producto Crosfield* (CPLCP), un proceso modular de desarrollo de producto que se encargaba de definir módulos en las fases conceptuales e identificaba las interacciones que se producían entre ellos.

#### 3. Ford Motor Company, World-wide

**Fuente:** Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation.* (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.

**Producto / Empresa / Sector:** Motores de vehículos / Ford Motor Company / Automoción

**Resumen del caso:** Ford reestructuró su proceso empresarial a una escala mundial bajo el nombre de *Ford 2000*, que incluía el *Sistema de Desarrollo de Productos Ford* (FPDS). El objetivo era racionalizar el desarrollo de productos a escala mundial. Dicho proceso también permitía efectuar cambios fácilmente en el proceso a través de una manipulación flexible de la producción para cubrir demandas locales. Con ello, Ford pretendía satisfacer las necesidades de un nuevo cliente que se desviaba de las normas establecidas, haciéndose más exigente en su elección de producto.

#### 4. British United Shoe Machinery, Leicester

**Fuente:** Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation.* (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.

**Producto/Empresa/Sector:** Equipo de fabricación de calzado / British United Shoe Machinery / Maquinaria

**Resumen del caso:** BUSHM es un fabricante de máquinas y materiales de alto rendimiento para la industria mundial de calzado. Su gama de productos se componía de máquinas diseñadas para cada etapa del proceso de fabricación de calzado, totalizando unos 80 productos y variantes. Ante su expansión en el mercado global y, por lo tanto, en su demanda, la empresa pasó de fabricar complejas máquinas altamente funcionales a productos más simples y más baratos que requerían operadores menos capacitados.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### 5. The modular system in truck manufacturing: The SAAB-SCANIA.

**Fuente:** Sjöström, S. (1990). *The modular system in truck manufacturing: The SAAB-SCANIA Griffin*.

**Producto / Empresa / Sector:** Camión Scania / SAAB / Automoción

**Resumen del caso:** El caso de Scania se trata de uno de los primeros casos de diseño modular. Su desarrollo comenzó a finales de los años 60 con el objetivo de hacer camiones modulares. Todas las cabinas se podían producir en una sola línea a partir de un surtido estandarizado de módulos y componentes. Se desarrollaron ocho tipos de cabinas diferentes (ver *imagen*), con numerosas variantes dentro de cada tipo gracias al uso de módulos estandarizados que permitían realizar una nueva variante en un tiempo mínimo.

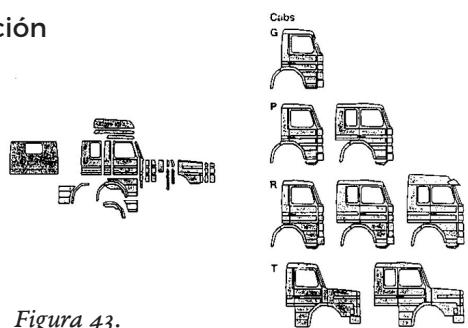


Figura 43.

### 6. The case of Sony Walkman

**Fuente:** Sanderson, S. & Uzumeri, M. (1995). *Managing product families: the case of Sony Walkman*. Research Policy. 24. pp. 761-782.

**Producto / Empresa / Sector:** Walkman / Sony / Electrónico

**Resumen del caso:** Este caso es un clásico ejemplo de éxito gracias al uso de plataformas modulares. El éxito en industrias de ciclo rápido (como la electrónica de consumo) puede depender tanto del reemplazo rápido del modelo como de la longevidad éste. Sony apostó por la primera opción y consiguió crear más variantes de producto mediante la adición de módulos a una plataforma de una forma mucho más rápida que sus competidores, lo que le aportó un gran éxito en el mercado.

### 7. Volkswagen platform strategy

**Fuente:** Rendell, J. (2001). *VW top, but others are catching up fast*. Automotive world. pp. 26-34.

**Producto / Empresa / Sector:** Turismo / Volkswagen / Automoción

**Resumen del caso:** Como se ha comentado en el apartado *Plataforma de producto* (pág. 22), el uso de las plataformas de producto permite desarrollar proyectos de innovación posteriores con una duración mucho menor que el proyecto inicial de desarrollo de la plataforma. Estas modificaciones permiten crear generaciones de productos a lo largo del tiempo que muchas veces forman una familia de productos. Las múltiples líneas de vehículos Volkswagen son buenos ejemplos de ello. En este aspecto, la empresa ha conseguido desarrollar una estrategia modular que ha evolucionado con el tiempo, respondiendo siempre a las necesidades del mercado (ver *imagen inferior*).

#### The evolution of the modular assembly toolkit

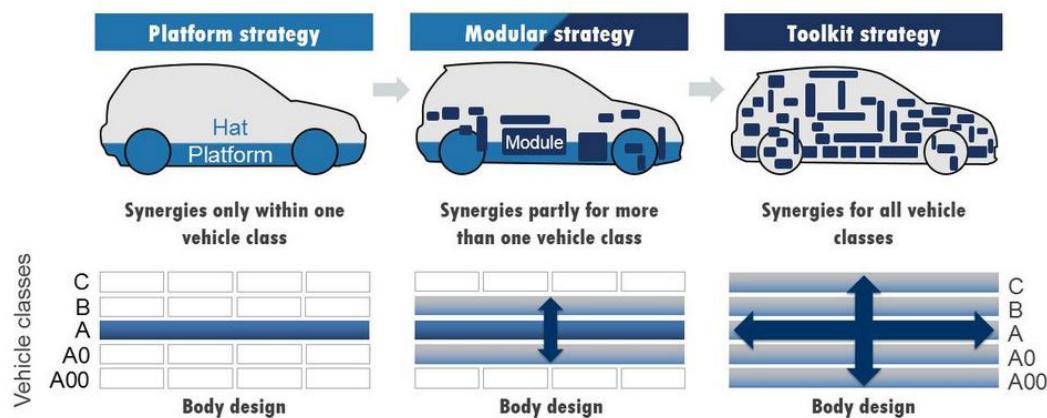


Figura 44. » Volkswagen has developed the modular toolkit strategy based on a platform strategy.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### 8. Modular German submarine

**Fuente:** Williamson, G. (2005). *Wolf Pack – The story of the U-Boat in World War II*. Osprey Publishing, Wellingborough (UK).

**Producto / Empresa / Sector:** Submarino / Ejército alemán / Transporte

**Resumen del caso:** Ver Análisis del ciclo de vida (pág. 46).

### 9. Locomotive Dash 2 Series

**Fuente:** Kerr, J. W. (2004). *Phenomenal SD40 series Diesel-Electric Locomotives*, Delta Publications.

**Producto / Empresa / Sector:** Locomotora / General Motors / Transporte

**Resumen del caso:** Ver Análisis del ciclo de vida (pág. 46).

### IO. Merima Ltd.

**Fuente:** Taneli, H. (2007). *Laivan matkustajatilojen suunnittelun uudelleenkäytön hyödyntäminen vakioinnin ja moduloinnin keinoin*. MSc-thesis, Tampere University of Technology, 2007.

**Producto / Empresa / Sector:** Organización logística / Merima Ltd. / Mobiliario

**Resumen del caso:** Ver Análisis del ciclo de vida (pág. 46).

### II. Tunnel drilling rig

**Fuente:** Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

**Producto / Empresa / Sector:** Plataforma de perforación para túneles / Tamrock y Jumbo / Maquinaria

**Resumen del caso:** Este tipo de maquinarias requieren del uso de plataformas debido a la alta complejidad de la arquitectura de producto. Cada máquina debe adaptarse al entorno de cada proyecto, por lo que deben poder variar sus características. En este proyecto de investigación, analizan el uso de plataformas para diferentes familias de producto de las marcas de perforadoras Tamrock y Jumbo, ofreciendo un análisis sobre cómo aplicar mayor modularización según sus funciones.

### I2. Diesel locomotive

**Fuente:** Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

**Producto / Empresa / Sector:** Locomotora diésel / Valmet (Transtech) / Transporte

**Resumen del caso:** La locomotora Valmet fue diseñada y fabricada como modular y constaba de aproximadamente 30 módulos. La imagen muestra los elementos de arriba a abajo. La empresa anunciaba la locomotora como una estructura modular, con tecnología moderna, modificable y con usos múltiples. En los ferrocarriles nacionales, el nombre de tipo de la locomotora era Dr16 (con motor diesel). La modularidad en la locomotora está principalmente basada en el montaje.

Se esperaba que la estructura modular facilitara el mantenimiento en general. En 1986, se informó que el ahorro en mantenimiento fue del 30%. Si comparamos la situación con el motor Dr12 de los años cincuenta en el que todas las máquinas están dentro de una carrocería independiente, la cifra parece completamente plausible. La estructura modular fue fuertemente utilizada en la comercialización - fue la primera característica que se cita como ventaja de esta locomotora.

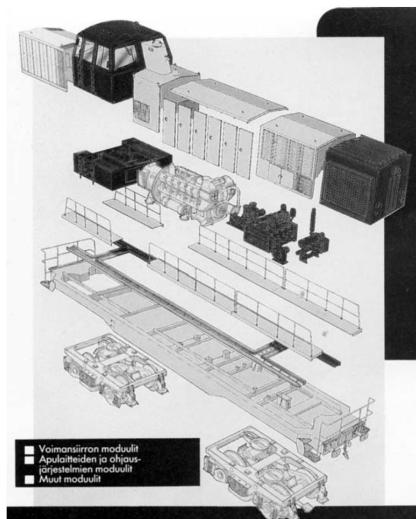


Figura 45.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### I3. Passenger ship

**Fuente:** Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development.* (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

**Producto / Empresa / Sector:** Barco de pasajeros / Agencia Finlandesa de Financiación para la Tecnología y la Innovación / Transporte

**Resumen del caso:** Entre 2004-2006 se realizó un proyecto con el título *Mejorar la eficiencia de una entrega de buques a través de la modularidad y la estandarización flexible* con el objetivo de descubrir en qué se debía basar la división en módulos para llevar a cabo el desarrollo de barcos modulares dentro de la industria marítima finlandesa. Como resultado, se presentó el *modelo herradura*, que propone que la estructura del producto se desarrolle de acuerdo a la secuencia de trabajo del proyecto, describiendo sus relaciones y los desplazamientos entre las fases.

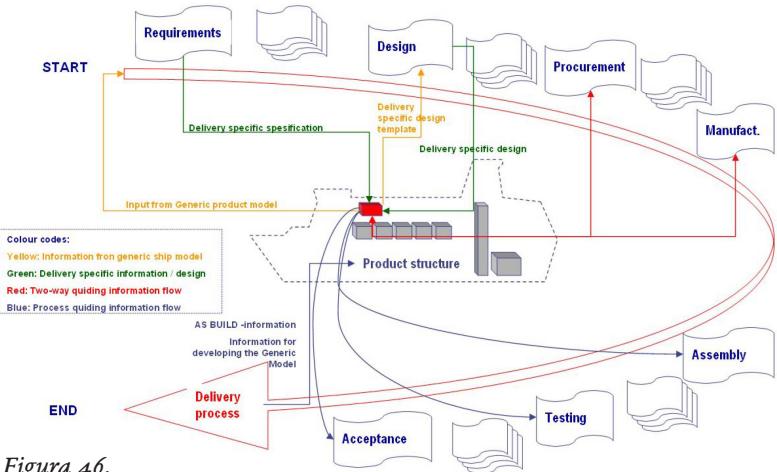


Figura 46.

### I4. Safe Box

**Fuente:** Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development.* (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

**Producto / Empresa / Sector:** Caja fuerte / Kaso Oy / Maquinaria

**Resumen del caso:** Se trata de un proyecto de desarrollo en el que se examinaron las familias de productos de cajas de seguridad contra robos y cajas contra incendios. El objetivo era descubrir las oportunidades para pasar de la producción de modelos estándar a la producción de productos configurables. Para ello, se tuvieron en cuenta cuatro líneas de trabajo: la gestión de los datos de configuración, las necesidades del cliente, los materiales de fabricación y, finalmente, la creación de una estructura modular para una caja anti-robo y una caja contra incendios. Gracias a la estructura modular se esperaba que la producción se racionalizara y que disminuyera el trabajo necesario, así como incrementar la capacidad de fabricar cajas fuertes a medida para el cliente.

### I5. Machine tool

**Fuente:** Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development.* (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

**Producto / Empresa / Sector:** Máquina herramienta (Twin-Mill) / Fastems Oy / Maquinaria

**Resumen del caso:** La empresa finlandesa llevó a cabo un proyecto de desarrollo modular cuyo objetivo era definir la estructura del producto para el centro de mecanizado. Se trabajó sobre la máquina herramienta de Twin-Mill, donde fue posible implementar una división de módulos basada en sus funciones de modo que los módulos eran también conjuntos racionales desde la perspectiva de diseño y fabricación. Así, se seleccionó una estructura modular funcional como base para formar la arquitectura del producto de una gama de productos configurables. La imagen de la derecha muestra un esquema funcional de la estructura del producto y su división en módulos.

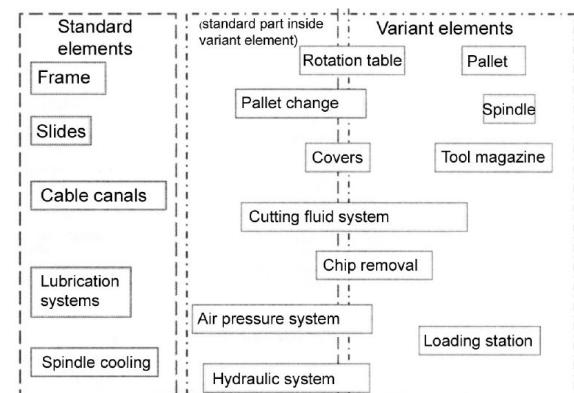


Figura 47.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### I6. Ambulance

**Fuente:** Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development.* (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

**Producto / Empresa / Sector:** Ambulancia / Profile Vehicles Oy / Transporte

**Resumen del caso:** El desarrollo de una ambulancia modular fue parte del proyecto *Mejora de la cooperación y competitividad de las empresas metalúrgicas en el norte de Savo*. Al igual que en los casos anteriores, esta modularidad se desarrolló dentro de una familia de productos. Se realizó y evaluó la estructura funcional del producto y se hicieron unos listados de las funciones principales de la ambulancia. Así pues, se examinaron las oportunidades de crear una estructura modular a partir de la estructura funcional.

### I7. Forestry machine

**Fuente:** Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development.* (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

**Producto / Empresa / Sector:** Máquina forestal / Ponsse Oy / Maquinaria

**Resumen del caso:** Las maquinarias forestales requieren de diversos complementos para llevar a cabo diferentes funciones de trabajo. Para ello, la empresa Ponsse creó unos módulos que no estaban centrados solamente en el montaje, si no que la funcionalidad. Varios de los módulos eran conjuntos de piezas situadas alrededor de la máquina que no podían montarse por separado. La estructura del producto de Ponsse en 1999 se asemejaba a un producto modular centrado en la función, sin que la empresa se hubiera centrado en crear un producto modular.

### I8. Volvo trucks

**Fuente:** Shamsuzzoha, A.H.M., & Helo, P.T. (2009). *Reconfiguring product development process in auto industries for mass customisation.* Int. J. Productivity and Quality Management, 4 (4).

**Producto / Empresa / Sector:** Camiones personalizables y configurables / Volvo / Automoción

**Resumen del caso:** Volvo desarrolló un sistema de configuración para su gama de camiones. Este sistema se desarrolló en el marco del proyecto CATER (2006), financiado por la UE, cuyo objetivo era la creación de redes de negocios y personalización masiva en la industria automovilística. Para personalizar un modelo de camión, Volvo ofrece un cuestionario donde el cliente elige los rasgos que quiere en su producto, con algunas restricciones predefinidas. Para que el sistema rentabilizara a niveles de producción, Volvo acumulaba todas las solicitudes de los clientes con el fin de crear ciertos productos preconcebidos que preveían futuras configuraciones.

### I9. Micro Compact Car (MCC)

**Fuente:** Stephan, M., Pfaffmann, E. and Sanchez, R. (2008). *Modularity in cooperative product development: the case of the MCC 'smart' car.* International Journal of Technology Management, 42 (4), 439–458.

**Producto / Empresa / Sector:** Coche compacto SMART / Micro Compact Car (Daimler) / Automoción

**Resumen del caso:** Se trata del caso de Micro Compact Car (MCC), la compañía que desarrolló y produjo el coche urbano SMART (inteligente) y que ahora es una división de Daimler. Para llevarlo a cabo, la compañía estableció diversas relaciones entre los procesos de desarrollo de las familias de producto, las arquitecturas de productos modulares y una organización modular multimarca. Con esto, la empresa aplicó un enfoque revolucionario en cuanto a la externalización y la participación de los proveedores mediante una organización de proyectos de desarrollo modular colaborativo.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### Casos recientes

Como se ha podido comprobar en el apartado anterior (*Casos documentados*), más de la mitad de los casos analizados corresponden al sector del transporte y la automoción, seguido del sector de desarrollo de maquinaria. Sin embargo, tal y como se estudió en el apartado Sectores (pág. 24) existen más sectores de la industria relacionados con el diseño modular. Por ello, a continuación se estudian casos más recientes correspondientes a dichos sectores. Estos casos son:

- 1. Automoción:** Grupo PSA (Peugeot-Citroën) y Renault Megane (kit car)
- 2. Arquitectura:** IKEA Boklok y Blokable de Amazon (kit house, arquitectura modular)
- 3. Mobiliario:** IKEA (BESTÅ, Estanterías y Mobiliario infantil) y CityHome
- 4. Juguetería:** Mind Storms de Lego, Meccano y GoldieBlox
- 5. Electrónico:** Proyecto Ara (móviles modulares)

Se han incluido dos casos representativos para cada sector que describen lo que se está desarrollando en la actualidad y cuál es el camino que está tomando el diseño modular de cara al futuro. Además, algunos ejemplos sirven para explicar términos propios del diseño modular aplicado en estos sectores.



Figura 48. Ejemplo arquitectónico del uso de diseño modular en un edificio de apartamentos.

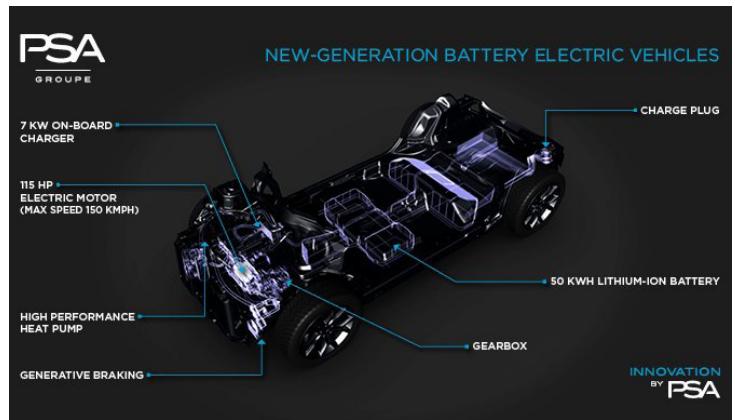
## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### I. AUTOMOCIÓN

Como se ha comprobado en el apartado anterior, probablemente el sector de la automoción y el transporte ha sido y sigue siendo el sector que más ha aplicado el diseño modular. Es por esto que existen términos muy relacionados con éste, como el de *Kit Car* (coche equipado), que se refiere a los vehículos cuyos fabricantes venden como un conjunto de piezas para que sea el cliente quien los “monte”. En el mercado actual es muy sencillo aplicar un proceso de personalización a un coche, tanto antes como después de la venta por parte del fabricante. Esto se debe al desarrollo modular y la arquitectura de producto que estos productos poseen. Como se ha visto en el caso de Volkswagen, se trata de un sector basado en la plataforma de producto que ha evolucionado considerablemente durante el paso del tiempo. A continuación, se explican dos casos de este sector donde se están aplicando principios de diseño modular:

#### Grupo PSA (Peugeot-Citroën)

Grupo PSA es la empresa formada por la fusión de Peugeot y Citroën, que actualmente incluye también las firmas Opel y Vauxhall. Actualmente, PSA busca fabricar en la misma plataforma de producto los modelos más compactos de las cuatro marcas que controla. En mayo de 2016, la compañía presentó dos plataformas globales modulares y mundiales que son compatibles con los medios industriales puestos en marcha en el marco del programa *La Fábrica del Futuro*: la CMP (Common Modular Platform) y la EMP2.



De esta manera la nueva arquitectura CMP (Common Modular Platform) se destinará a vehículos urbanos, berlinas de elevado volumen de ventas y SUV compactos. Así, siluetas como las del Corsa, el C3, el 208 o el 2008 utilizarán esta nueva plataforma. Por otra parte, la plataforma modular EMP2 y el conjunto mecánico híbrido enchufable se verán en modelos del segmento C y D, tanto turismos como berlinas como todoterrenos.

Figura 49. Render realizado por el grupo PSA para presentar la plataforma de la nueva generación de vehículos eléctricos.

#### Renault Megane

El último modelo de Renault Mégane contiene un interior modular que lo ha situado como uno de los modelos actuales más espaciosos y adaptables de su segmento. Es la variante más familiar y práctica su gama y ofrece un interior con un amplio abanico de opciones que se adapta a las necesidades del usuario. Permite colocar los asientos posteriores en distintas posiciones para así adaptar el habitáculo a la carga transportada. Además, incluye un sistema llamado Easy Folding, con el que se pueden plegar los asientos de manera cómoda y rápida, una banqueta trasera abatible y un asiento del pasajero delantero abatible, pudiendo así transportar objetos de hasta 2,55 metros de largo.

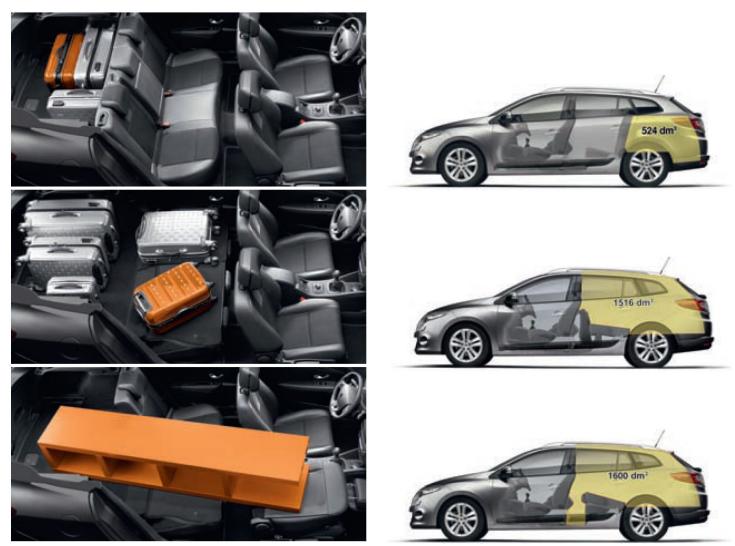


Figura 50. Ejemplo del uso del maletero modular del Renault Megane. Imagen extraída de: Fernández, A. (junio de 2017). Renault Mégane Estate 2016, la opción más familiar y dinámica. Recuperado de <https://www.motor.es/noticias/renault-megane-estate-2016-201628868.html>

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### 2. ARQUITECTURA

Aunque no se han encontrado casos documentados en otros proyectos de investigación, la arquitectura es uno de los ámbitos donde más se ha desarrollado el diseño modular. Tanto es así, que también posee términos propios como *casa modular* o *kit house*, este último se refiere a las viviendas llamadas popularmente *prefabricadas*, es decir, viviendas fabricadas por módulos y montadas en el lugar donde desea el cliente. La diferencia entre una *casa modular* y una *kit house*, es que la *casa modular* ya ha sido montada en la fábrica y luego colocada en la parcela, y la *kit house* se envía por piezas para que sea el cliente quien la monte con instrucciones donde desee. Este tipo de construcción fue muy popular a principios del siglo XX en EEUU y Canadá, y desde entonces se ha desarrollado en diferentes formatos. Al principio fueron concebidas como construcciones efímeras, pero más tarde evolucionaron con aplicaciones permanentes en ámbitos tan diversos como la industria, construcciones públicas y bloques de viviendas particulares.

#### IKEA Boklok

BoKlok es un concepto de vivienda nacido en 1996 y desarrollado por IKEA y Skanska cuyo objetivo es construir bloques de pisos y casas adosadas para que personas con una baja economía puedan tener una casa propia. La compañía describe sus construcciones como "inteligentes y versátiles". Para ello, desarrollan casas modulares de escasos metros cuadrados desarrolladas por arquitectos y diseñadores de interiores para encontrar el equilibrio, haciendo que sean espaciosas y asequibles al mismo tiempo. Dentro de su gama de construcciones, la empresa ofrece: bloques de pisos multifamiliares, casas adosadas con plantas comunes y privadas y, finalmente, bloques de pisos "flexibles" que adaptan sus espacios a las necesidades de los usuarios y en los que más se utiliza la modularidad como característica de la construcción.



Figura 51. Ejemplo real de la aplicación de IKEA Boklok.

#### Blokable (Amazon)

Blokable es una empresa de Amazon que desarrolla módulos de construcción prefabricados, llamados Bloks, en una variada gama de tamaños y configuraciones con el objetivo de proporcionar espacios de vida, zonas comunes y servicios que cubran las necesidades específicas de cada tipo de proyecto. Sus construcciones se basan en planos sencillos y abiertos, destinados en su mayoría a viviendas multifamiliares, y en un desarrollo pensando en el impacto. La compañía resalta tres características de estas viviendas: deseables -hogares atractivos, seguros y cómodos-, adaptables -por su versatilidad en función del entorno y la población- y valiosos -debido a su capacidad de desmontar, mover y reutilizar unidades Blokable. Además, posee sistemas pensados para aumentar la eficiencia desde el punto de vista energético.



Figura 52. Representación virtual de Blokable en su entorno de uso.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### 3. MOBILIARIO

Igual que sucedía con el ámbito de la arquitectura, en el ámbito del mobiliario a pesar de no haber muchos casos documentados se trata de uno de los sectores que más utilizan el diseño modular. La modularidad, igual que en la arquitectura, se provecha en este ámbito por ofrecer una gran versatilidad y adaptabilidad en el espacio, por lo que su uso es muy común en el diseño de interiores. Existen numerosos proyectos y productos en el mercado que se distinguen por ser modulares y adaptarse a las necesidades de almacenamiento, uso y decoración de cada hogar. A continuación se citan algunos ejemplos actuales:

#### IKEA (BESTÅ, estanterías y mobiliario infantil)

IKEA es reconocida por la versatilidad de sus productos a la hora de amueblar una casa, pero, sobre todo, cabe destacar su ingenio en almacenamiento y organización de espacios que hace que éstos lugares sean mucho más aprovechados y espaciosos para sus clientes. Existen diversos ejemplos de la aplicación de diseño modular en sus productos, sobre todo en los de almacenaje, de los que se destacan tres: el mueble de televisión BESTÅ, un conjunto de módulos con medidas estandarizadas que permiten amueblar el salón teniendo en cuenta las medidas de otros elementos como la televisión u otros productos IKEA que se pueden incorporar dentro del mismo mueble; las estanterías, generalmente en forma de prisma de diferentes medidas y colores para distribuirlas según cada espacio; y, finalmente, el mobiliario infantil que, aprovechando la necesidad de almacenamiento en este nicho de mercado, IKEA ofrece una variedad de módulos que lo resuelven.



Figura 53. Ejemplos de productos modulares de IKEA.

#### Ori Systems

Se trata de un proyecto desarrollado originalmente por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y consiste en un mueble modular escalable que cambia de forma a través de un botón, un comando de voz o un reconocimiento de gestos, creando espacios más eficientes para la vida actual de los habitantes urbanos. Su objetivo es hacer la vida más asequible, productiva y agradable para sus usuarios. Este versátil mueble da lugar a distintas estancias, que se encuentran en su interior, permitiendo por ejemplo esconder la cama durante el día o crear una zona de estudio de forma efímera. De este modo, Ori Systems puede ser a la vez un estudio, un salón, un dormitorio y una cocina, a la vez que varía el espacio utilizado en su entorno. El producto posee unas ruedas en su base que le permiten que su estructura sea fácil de configurar, tanto de forma automática como manual.



Figura 54. Fotografía real de Ori Systems en su entorno de uso.

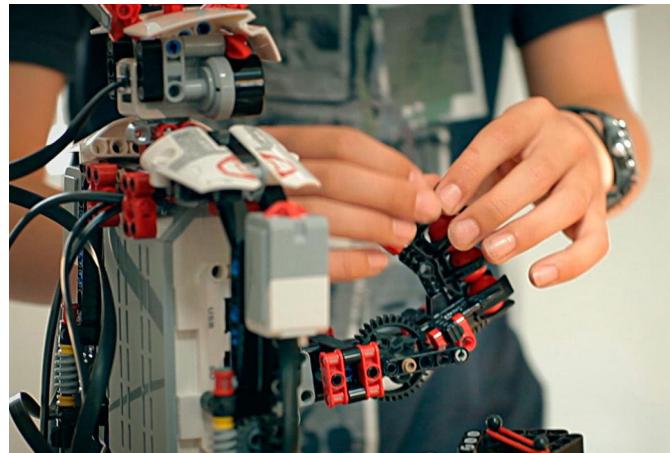
## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### 4. JUGUETERÍA

Como ya se ha comentado en el apartado Sectores (pág. 25) la finalidad principal de muchos juguetes es la de ser didácticos y potenciar la creatividad mediante la búsqueda de soluciones, por lo que la modularidad está muy presente en este sector con el fin de dar la oportunidad a los usuarios construir conjuntos sin restricciones. Es por esto que existe numerosos ejemplos de proyectos centrados en la figura del prosumidor, de los que se destacan específicamente tres:

#### Mind Storms (LEGO)

Comercializado por primera vez en 1998, Lego Mindstorms es una línea de juguetes de robótica que posee elementos básicos de las teorías robóticas, como la unión de piezas modulares y la programación de acciones en forma interactiva. Su uso se basa en la construcción de modelos integrados con partes electromecánicas controladas por ordenador. La compañía permite a los usuarios descargar software desde la página web de Lego para que los usuarios puedan editar y actualizar el software como deseen. También se vende como herramienta educacional que se llama Lego Mindstorms for Schools.



#### Meccano

Meccano es un sistema de construcción de modelos a través del ensamblaje de tiras metálicas reutilizables, de diversos tamaños, formas y colores, con filas de barrenos para realizar las conexiones por medio de tornillos. Para el ensamblaje también se utilizan otras piezas modulares como placas, vigas de ángulo, ruedas, ejes y engranajes, y piezas de plástico que se conectan entre sí mediante tuercas, pernos y tornillos de fijación. Permite la construcción de modelos de trabajo y dispositivos mecánicos y según el modelo puede contener motores eléctricos, ruedas, poleas, etc.



#### GoldieBlox

Fundada en 2012, GoldieBlox es una compañía de juguetes que busca fomentar la ingeniería de forma interactiva entre las niñas de 4 a 12 años. Para ello, sus juguetes se venden en forma de kit incorporando piezas modulares de construcción así como un libro de cuentos. Así, estos juguetes introducen conceptos de ingeniería a las niñas a través de la narración y la construcción. Cada juguete introduce nuevos personajes y conceptos, y actualmente hay seis series. También incorpora contenido digital a través de una aplicación móvil que muestra videos de nuevas ideas de diseño para que los niños puedan ver y construir en casa.



## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### 5. ELECTRÓNICA (*modular smartphone*)

Dentro de los casos documentados ya se ha visto alguno relacionado con el sector de la electrónica. Existen diversos productos electrónicos que utilizan el diseño modular. Uno de ellos es el ordenador. Como se ha visto anteriormente, el desarrollo de hardware fue uno de los ámbitos pioneros en el uso de diseño modular dentro de la estructura de funciones.

Actualmente, otro producto en el que se está empezando a utilizar el diseño modular es el teléfono móvil. Se trata probablemente de uno de los productos más utilizados en la vida diaria de muchas personas ya que reúne en un mismo dispositivo las utilidades de otros dispositivos electrónicos (cámara, GPS, teléfono, ordenador, etc.). Esto ha conducido en los últimos años a su masificación en el mercado y por lo tanto a un deshecho excesivo de residuos electrónicos. Para combatirlo, muchas empresas han apostado por la modularidad como vía sostenible para alargar el ciclo de vida del producto y reducir estos desechos a la vez que se fideliza a los clientes a través del mantenimiento constante de sus módulos.

Así nace el concepto de *modular smartphone*, un teléfono inteligente fabricado con diferentes módulos que se pueden actualizar o reemplazar con el fin de reducir los residuos electrónicos y los costos de reparación a la vez que se aumenta la comodidad del usuario. El componente más importante es la placa principal, a la que se conectan los módulos. Dichos módulos pueden ser: procesador, almacenamiento, antena, altavoz, batería, bluetooth, cámara, GPS, giroscopio, HDMI, Wifi, etc.

Existen los siguientes proyectos de móviles modulares, según su estado de desarrollo:

#### **En venta**

Moto Z de Motorola Mobility

#### **Agotado**

Fairphone 2 de Fairphone

#### **Ya no está disponible**

LG G5 de LG

#### **En desarrollo**

PuzzlePhone

#### **Interrumpido**

Proyecto Ara de Google

Vsenn de Vsenn

Phonebloks de Phonebloks

Fonkraft de Fonkraft

Eco-Mobius de ZTE



Figura 55. Ejemplo visual del proyecto ARA de Google.

En este punto, existen diversos retos para seguir desarrollando móviles modulares. En primer lugar, las conexiones deben ser lo suficientemente resistentes para que el dispositivo no se desmonte cuando se caiga o transporte. Por otra parte, puede suceder que cierto rango de consumidores se vea abrumado por tantas opciones y prefiera los teléfonos pre-empaquetados. Otro riesgo, es que se desconoce la viabilidad de los recambios hasta que éstos estén realmente disponibles en el mercado. Además, algunos profesionales muestran preocupación por la posible pérdida de control sobre la plataforma completa del hardware y la posible erosión de la marca. En cuanto al precio, todavía no se sabe con certeza si los componentes adquiridos por separado podrían llegar a costar más que un teléfono pre-empaquetado o si los teléfonos modulares serían más propensos a la rotura y, por lo tanto, seguirían creando más residuos. Ante todo esto, se espera que los desafíos técnicos puedan ser superados y que un ecosistema de mercado viable permita una competencia más sana que beneficie a los consumidores con unas opciones mejores y más baratas. Finalmente, se prevé derivar este de *modular smartphone* a otros dispositivos electrónicos como por ejemplo los smartwatches.

## 4. ¿QUIÉN LO APLICA?

### Análisis de los sectores

A continuación, con un total de 29 casos analizados en diversos sectores (19 casos documentados y 10 casos nuevos), se realiza un análisis de la relación entre los sectores de la industria y el diseño modular. De este modo, a través de unas tablas de colores se indican de acuerdo a los casos estudiados qué sectores tienen una mayor relación con el diseño modular (verde), cuáles tienen una relación potencial (amarillo) y cuáles no pueden tener relación debido a su naturaleza (rojo).

Para ilustrar este grado de relación se ha partido de la técnica PNI (positivo, negativo, interesante), que muestra los puntos positivos, negativos e interesantes de una idea o concepto para su posterior evaluación. En este caso, se hace lo propio pero con en nivel de relación del diseño modular con los sectores de la industria. En cuanto a los sectores, se ha tomado la división de sectores e industrias que hace la OIT (Organización Internacional del Trabajo) y el minetad (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital del Gobierno de España), y se han añadido aquellos sectores que se han analizado en los casos y no aparecían en estas divisiones, tales como juguetería y mobiliario.

De este modo, las tablas resultantes que muestran la relación entre el diseño modular y los diversos sectores de la industria son las siguientes:

TIENEN (MUCHA) RELACIÓN DIRECTA	RELACIÓN POTENCIAL	NO PUEDEN TENER RELACIÓN
<ul style="list-style-type: none"><li>• Arquitectura y construcción</li><li>• Automoción y transporte</li><li>• Electrónica y telecomunicaciones</li><li>• Ingeniería mecánica y eléctrica</li><li>• Juguetería</li><li>• Mobiliario</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alimentación (packaging)</li><li>• Salud</li><li>• Textil-confección</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comercio</li><li>• Medios de comunicación y gráficos</li><li>• Función pública</li><li>• Hostelería y turismo</li><li>• Industrias químicas</li><li>• Servicios financieros</li></ul>
<b>TIENEN RELACIÓN DIRECTA (MENOS)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bienes de equipo y electrodomésticos</li><li>• Energético</li><li>• Servicios informáticos (apps..)</li></ul>	<b>RELACIÓN A TRAVÉS DE OTROS SECTORES</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Agricultura (maquinaria)</li><li>• Educación (juguetería)</li><li>• Metalurgia (maquinaria)</li><li>• Minería (maquinaria)</li><li>• Petroleo y gas (maquinaria)</li><li>• Silvicultura (maquinaria)</li></ul>	<p>NOTA: Se ha considerado que los sectores aquí citados no pueden guardar relación alguna, ni si quiera de forma potencial a través de otros sectores, con el diseño modular debido a su naturaleza.</p>

Así pues, mediante estas tablas se puede conocer con certeza, gracias a los 29 casos analizados en este apartado, qué sectores industriales tienen actualmente una relación directa con el diseño modular, distinguiendo entre aquellos que tienen una relación mayor. También se conocen qué sectores podrían tener una relación potencial bien mediante el desarrollo del diseño modular dentro del propio sector o bien a través de otros sectores relacionados. Y, finalmente, se conoce qué sectores de la industria no pueden tener una relación con el diseño modular debido a su diferente naturaleza que no permite integrarlo en su actividad. De este modo, estas tablas sirven como conclusión y cierre de este apartado, aportando una valiosa información de cara a las conclusiones finales de este proyecto y a la descripción de las posibles futuras líneas de investigación.



# CONCLUSIONES

# CONCLUSIONES

## Conclusiones de otras tesis y artículos

*"Las conclusiones muestran la importancia de la modularidad y el marco en el que se sitúa el pensamiento sistemático, que responde a las grandes necesidades industriales para hacer frente a las necesidades de los clientes, las nuevas tecnologías, la complejidad y la fabricación ágil. La investigación realizada demuestra la conveniencia y oportunidad del enfoque modular a través de ejemplos de casos industriales reales."*

**Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation.* (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.**

*"En investigaciones relacionadas con el desarrollo metodológico de productos, es difícil conocer el número apropiado de casos de prueba necesarios para llevarlo a cabo. Por lo tanto, existe la necesidad de realizar futuras investigaciones que realicen ensayos adicionales del método MFD (Modular Function Deployment) y de las posibles mejoras a implementar sobre las pruebas ya realizadas."*

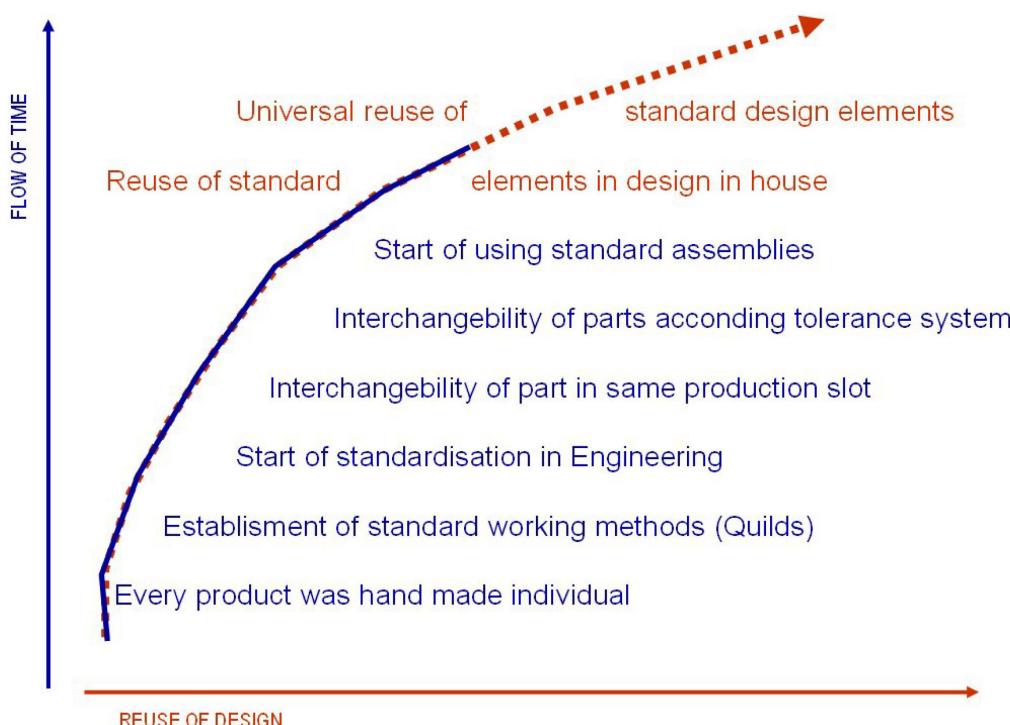
**Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation.* (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.**

*"Mediante la investigación de los métodos existentes se observó que los métodos de diseño modular se destinan a productos individuales y, por tanto, no permiten la variedad a través de una familia de productos. Además, los métodos actuales identifican sólo los núcleos del módulo dejando la definición final de los módulos y conexiones al diseñador, y utilizan un conjunto limitado de criterios de evaluación. Por otra parte, se identificaron dos vacíos más: la falta de herramientas para el diseño de la interfaz y la falta de reglas de diseño para elegir los componentes comunes de la plataforma."*

**Hölttä-Otto, Katja (2005). *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN.* (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.**

*"En esta tesis se mejora el proceso de desarrollo de la plataforma modular, pero sigue siendo necesario realizar un trabajo futuro. El siguiente paso es continuar aplicando los métodos desarrollados en un contexto industrial. Actualmente, se ha comprobado la aplicación de cada método en unas pocas empresas, pero es necesaria una mayor validación de la usabilidad y la eficacia para avanzar hacia el diseño de una nueva metodología de investigación."*

**Hölttä-Otto, Katja (2005). *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN.* (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.**



*Figura 56. Esquema aproximado de la historia de la producción industrial. Extraido de: Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development.* (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology, Tampere, Finland.*

## 5. CONCLUSIONES

“Surgieron cuestiones interesantes durante la investigación que quedaron fuera del alcance de la tesis, como ¿cuánto se puede generalizar la métrica de interfaz entre empresas del mismo y diferentes sectores? (...) Otras preguntas son, ¿hay más métricas que deben ser consideradas? ¿cuál es la mejor manera de sopesarlas? (...) En conjunto, esta tesis sugiere un proceso modular de desarrollo de plataforma de productos más avanzado que los métodos actuales, pero el área de diseño modular de plataforma de producto puede ser explorada y mejorada.”

Hölttä-Otto, Katja (2005). *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN*. (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.

“La modularidad, a menudo considerada exacta y estrictamente definida, cambia en un entorno empresarial real en función de la meta. Por lo tanto, se debe tener en cuenta esta dependencia, considerando las metas como criterios dentro de la metodología de diseño utilizada.”

Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

“Aunque se pueden desarrollar sistemas basados en componentes, su mantenimiento es excesivamente exigente. Esta observación no se evidencia en esta tesis, ya que su alcance como tal está sujeto a una disertación completa.”

Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

“Tal y como se muestra en la figura, si la modularidad se entiende como la estandarización de entidades de diseño, podemos establecer su desarrollo como un hito en la historia de la producción industrial. (...) Como siguiente paso, podríamos pensar que un cierto tipo de arquitectura de producto podría establecerse para ciertos productos, lo que daría lugar a nuevas oportunidades para utilizar la modularidad dentro de la industria.”

Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

“En el futuro la importancia de la modularidad se elevará a un nivel de terreno evidente (...). Se han detectado signos de esto, por ejemplo, en la producción de computadoras. El dominio de la modularidad será el gran desafío para el futuro cercano de la Ciencia del Diseño.”

Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.

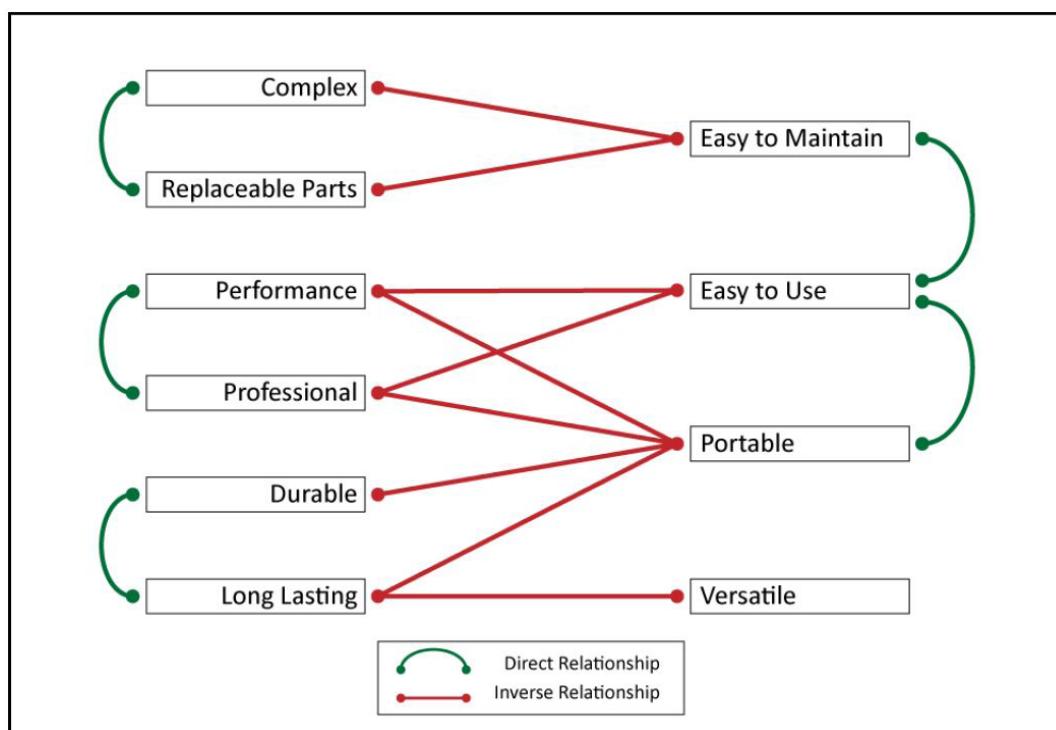


Figura 57. Relaciones de rasgos que afectan al diseño modular y al usuario. Extraído de: Smith, Robert Joseph (2009). *THE IMPACT OF MODULAR DESIGN ON PRODUCT USE AND MAINTENANCE*. (Doctoral Thesis). Georgia Institute of Technology. Atlanta, EE.UU.

## 5. CONCLUSIONES

*"Hemos observado que las empresas están rezagadas en términos como la modularidad y la plataforma de producto, que son los requisitos básicos para mejorar la productividad y la satisfacción del cliente. (...) En la literatura hay pocas reglas específicas o métodos disponibles para formular una estrategia modular de desarrollo de productos. Las empresas se enfrentan a retos comunes como: ¿Qué componente se debe estandarizar? ¿Qué sección del producto se debe modularizar? ¿Cuáles son las formas de modularizar?"*

**Shamsuzzoha, AHM (2010). Modular Product Development for Mass Customization. (Selection of Articles). University of Vaasa. Vaasa, Finland.**

*"Otra cuestión para futuras investigaciones podría ser integrar el proceso de configuración no sólo con el diseño y desarrollo del producto, sino también con un área mayor de este campo. Esta colaboración podría ser con marketing o publicidad, logística y sistemas de distribución, etc. Sería una buena práctica comercial evaluar las estrategias de producción de las empresas basadas en el proceso de configuración. El desarrollo de un proceso de configuración multi-propósito podría ser una buena solución para mejorar el éxito de una empresa."*

**Shamsuzzoha, AHM (2010). Modular Product Development for Mass Customization. (Selection of Articles). University of Vaasa. Vaasa, Finland.**

*"De acuerdo con los trabajos de investigación de reciente publicación que se han consultado para el estado del arte de la tesis, las consultas en las diferentes bases de datos de grupos de investigación sobre el tema y en base al conocimiento de las necesidades actuales de la industria automotriz en el desarrollo de productos, se identifica la necesidad de explorar la fase conceptual de diseño desde un punto de vista estandarizado y modular."*

**Echevarría-Quintana, Marcos (2015). METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA DE SELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES. (Tesis Doctoral). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB). Barcelona, España.**

*"Una vez terminado el trabajo de investigación quedará pendiente un estudio de los espacios físicos en el volumen de los vehículos para poder cerrar con el diseño conceptual modular y que será fácilmente aplicable y manejable por las diferentes firmas automotrices."*

**Echevarría-Quintana, Marcos (2015). METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA DE SELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES. (Tesis Doctoral). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB). Barcelona, España.**

*"El tener productos modulares contempla mejoras en los tiempos de desarrollo y validación, calidad de los componentes y subsistemas, menores costes de producción, intercambiabilidad y personalización que son requerimientos del mercado actual para la industria automotriz."*

**Echevarría-Quintana, Marcos (2015). METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA DE SELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES. (Tesis Doctoral). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB). Barcelona, España.**

*"La creciente demanda de productos personalizados está empujando a las empresas manufactureras a la adopción del principio de modularización en el diseño y desarrollo de productos. (...) Al aceptar este enfoque, las empresas pueden aprovechar la ventaja de construir productos o servicios personalizados de manera más fácil y económica que con productos no estandarizados."*

**Shamsuzzoha, A., Helo, P. T., & Kekäle, T. (2010). Application of modularity in world automotive industries: a literature analysis. Int. J. Automotive Technology and Management, 10 (4), 361-377.**

*"La adopción del principio de modularización es un requisito esencial para satisfacer la flexibilidad de personalizar productos o servicios. Se refiere a una nueva estrategia de desarrollo de productos en la que diferentes interfaces comparten entre los componentes para desarrollar un producto final. Es un concepto de diseño y desarrolla sub-sistemas más pequeños independientemente que son capaces de funcionar correctamente después de ensamblados y probados con un producto final."*

**Shamsuzzoha, A., Helo, P. T., & Kekäle, T. (2010). Application of modularity in world automotive industries: a literature analysis. Int. J. Automotive Technology and Management, 10 (4), 361-377.**

*"La investigación futura consideraría no sólo la interacción espacial sino también múltiples formas de interacción entre componentes tales como la existencia de conexión eléctrica entre dos componentes que no son necesariamente físicamente adyacentes. También se considerará la información cuantitativa, como la fuerza o la importancia de la interacción entre los componentes. Además, se deben explorar métodos para aumentar la capacidad del modelo de programación matemática presentado para manejar problemas de gran tamaño (productos con decenas de componentes)."*

**Kashkoush, M., & ElMaraghy, H. (2016). Optimum Overall Product Modularity. 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), 55-60.**

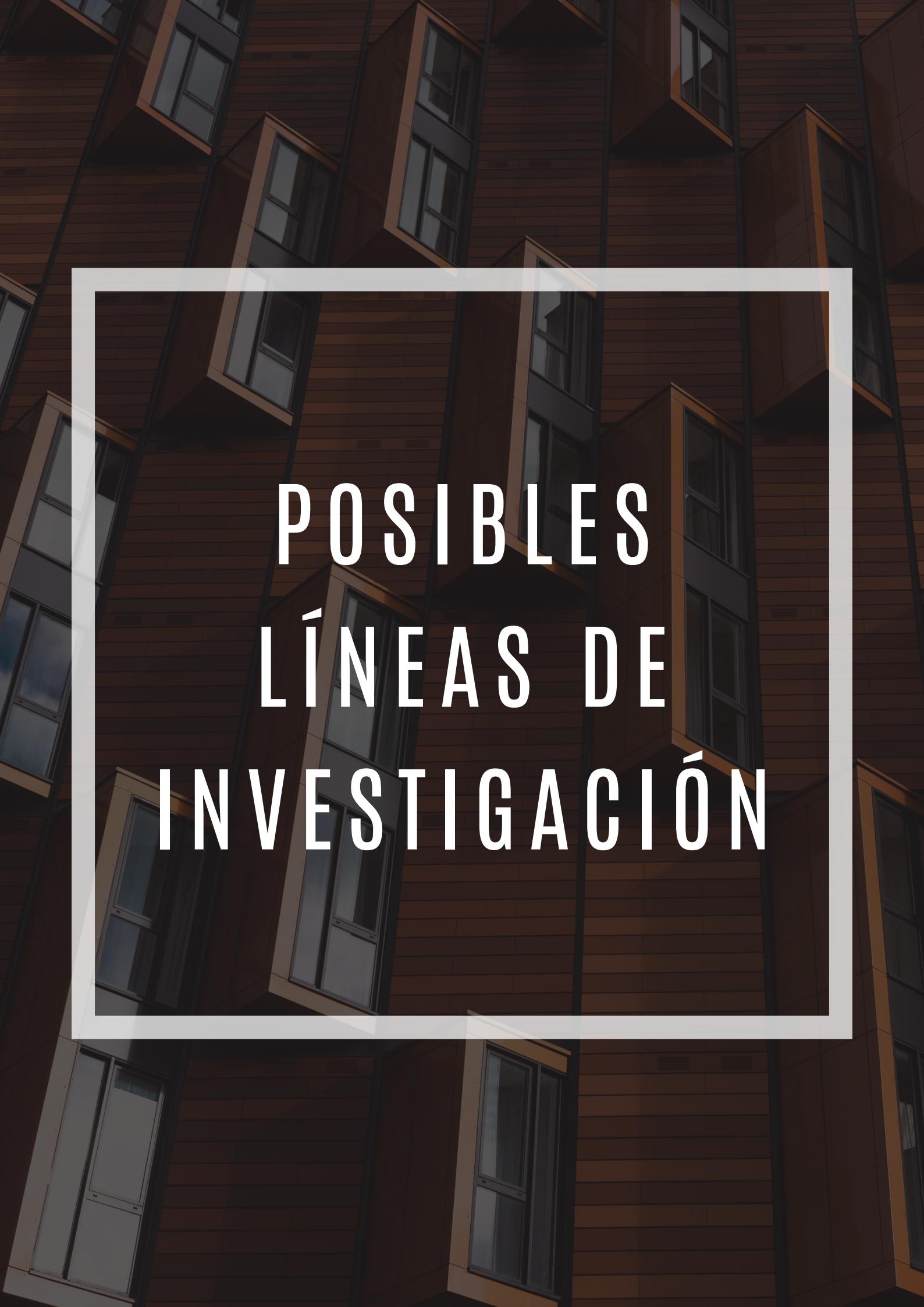
## 5. CONCLUSIONES

### Conclusiones del TFM

- Dividir el tema en tres preguntas clave (*¿Qué es el diseño modular?, ¿Cómo se aplica? y ¿Quién lo aplica?*) ha permitido abordar el estado del arte de una forma global y completa con la que se han conseguido alcanzar los objetivos establecidos al comienzo de la investigación.
- Encontrar un review del tema a través de diversas tesis y artículos, así como noticias actuales, ha permitido conocer la importancia del tema a día de hoy y el estado actual de su evolución. Esto ha establecido el punto de partida de la futura línea de investigación a desarrollar.
- Los estudios encontradas coinciden en las ventajas que supone el uso del diseño modular y en la necesidad de aplicarlo en el mercado actual. Además, inciden en la importancia de su desarrollo debido al contexto en el que se sitúa, con variables como un mercado competitivo, menos recursos, más exigencias de clientes y empresas, y la necesidad de personalización del producto, entre otras.
- Actualmente, empresas de diversos sectores han decidido apostar por la modularidad debido a todos los beneficios que ello conlleva en el mercado actual ante los competidores.
- En la revisión realizada a artículos y tesis no se ha encontrado ninguna definición precisa sobre el diseño modular. En su lugar, todas las investigaciones se centran en definir el concepto de modularidad y lo que ésta supone en el diseño. Otras investigaciones incluyen también la definición de arquitectura de producto y plataforma para explicar con mayor detalle el contexto del diseño modular.
- Una de las definiciones más globales del diseño modular la ofrece el espacio de registro y documentación de la escuela de Arquitectura y Diseño PUCV, Casiopea, que lo define como: *"Se trata de un intento de combinar las ventajas de la estandarización con la personalización. El diseño modular se basa en la colocación de módulos funcionales y universales, que unidos, forman estructuras mayores que pueden ser ensambladas de diferentes maneras o disposiciones."*
- Se ha podido comprobar a través de la lectura de fragmentos no académicos que popularmente se tiende a confundir el diseño modular por productos que se basan en la repetición de piezas iguales o incluso por familias de productos que ni siquiera tienen piezas intercambiables. Es necesario recordar que el diseño modular se basa en adaptar, personificar y reemplazar piezas diferentes (módulos), permitiendo a un mismo producto ser multifuncional.
- El diseño modular permite a los productos tener un ciclo de vida más largo gracias a una mayor capacidad de mantenimiento a través de la realización de recambios y actualizaciones.
- En cuanto a la definición de modularidad, la mayoría de autores definen un módulo como un *fragmento de un producto con una función identificable*.
- Las definiciones de arquitectura de producto guardan relación con la estructura física del producto, la representación abstracta de sus componentes y la correlación entre ambos. Hay diversas formas de representarla a través de la descomposición física (componentes o subsistemas) o funcional (funciones del producto). Las más utilizadas son: estructura jerárquica de árbol, diagrama de funciones, diagrama IDEF0, estructura de diseño modular (DSM), diagrama objeto-proceso (OPD) y lenguaje de modelado unificado (UML).
- Las definiciones más generales incluyen la plataforma de producto ("conjunto común de módulos físicos o no físicos de los cuales se pueden derivar múltiples productos", según la definición de Katja Hölttä-Otto) en el diseño, la fabricación, el ensamblaje y las fases posteriores del producto terminado. Los proyectos de plataformas dan lugar a proyectos derivados mucho más cortos en duración, ya que desarrollar un producto derivado basado en una plataforma es más rápido que desarrollar un producto completamente nuevo. Una buena plataforma puede permitir un conjunto de exitosas variantes de producto.
- Se establecieron una serie de características propias del diseño modular, que son: adaptable, personalizable, evolutivo, reemplazable, multifuncional, espacialidad, desmontable y reutilizable.
- Las empresas utilizan la modularidad para superar las cambiantes demandas de los clientes y para hacer que el proceso de fabricación sea más adaptable al cambio. Los sectores en los que más se ha desarrollado y está evolucionando en la actualidad son: la automoción, la arquitectura, el mobiliario, el electrodoméstico, el electrónico, la juguetería, el energético y el informático.

## 5. CONCLUSIONES

- En economía y empresa, la modularidad de los productos, servicios y procesos es un factor clave en el desarrollo tecnológico, económico y social. En específico, crear módulos de los servicios es un buen modelo de negocio que ofrece ventajas como mejorar la calidad del servicio, conocer las necesidades del cliente o ganar dinero con los usuarios que no pagarían por el servicio completo.
- La economía circular es un concepto económico basado en “reparar, reutilizar y reciclar” que se interrelaciona con la sostenibilidad, y que considera que la modularidad, la versatilidad y la adaptabilidad son características muy apreciadas a las que debe darse prioridad en un mundo en rápida evolución.
- Las principales ventajas del diseño modular son: adaptabilidad, estandarización, calidad, sostenibilidad, costes/tiempo, duración del ciclo de vida, asequibilidad, multifuncionalidad, personalizable y escalabilidad.
- Por otra parte, las principales desventajas del diseño modular son: el desarrollo inicial, rendimiento, reutilización de ciertas piezas, conectividad, usabilidad y análisis.
- Los métodos existentes de diseño modular se pueden dividir tres tipos: métodos actuales, en desarrollo y teorías. De los métodos actuales se diferencian los métodos basados en matrices (Design Structure Matrix, diseño para fabricación/ensamblaje y Modular Function Deployment) y los métodos basados en funciones (método FAST, Function Structure Heuristics y método OPM). Por otra parte, dentro de los métodos actuales también se incluye el ecodiseño basado en modularidad y el análisis del ciclo de vida. En cuanto a los métodos en desarrollo, destacan: Brand modularity matrix, método FAS y Quantitative functional model. Finalmente, las teorías incluyen la teoría de los policubos (utilizada sobre todo en arquitectura) y el estudio de la fabricación del futuro como contexto en el que desarrollar el diseño modular desde la perspectiva de Industria 4.0, Cultura Maker (DIY) y usuario prosumer.
- De las metodologías estudiadas, pocas sirven para ser utilizadas en fases conceptuales, por lo que existe una carencia de metodologías de diseño modular enfocadas a la fase conceptual del producto. Actualmente, la mayoría de métodos están enfocados a hacer un análisis funcional del producto enfocado directamente al estudio de las causas finales (teleología).
- El estudio de casos documentados de aplicación del diseño modular ha permitido conocer los motivos por los que éste se comenzó a utilizar en la industria, comprendiendo así las bases que lo asentaron y su posterior desarrollo en industrias de diversos sectores. A su vez, este estudio ha servido también para identificar sectores en los que no se utiliza pero en los que se podría llegar a utilizar.
- Por otra parte, el estudio de casos recientes de diferentes sectores ha mostrado las diversas formas y finalidades de aplicar diseño modular en el mercado actual, así como el camino está tomando de cara al futuro. Con ello se ha logrado evidenciar la necesidad de su aplicación y desarrollo en la actualidad.
- El uso del diseño modular en ciertos sectores ha dado lugar a nuevos conceptos de diseño como *kit car* -en automoción-, *kit house* -en arquitectura- o *modular smartphone* -en electrónica-.
- Los sectores de la industria que tienen una relación más directa con el diseño modular son: arquitectura y construcción, automoción y transporte, electrónica y telecomunicaciones, ingeniería mecánica y eléctrica, juguetería, mobiliario, electrodomésticos, energético y servicios informáticos. Los sectores que tienen una relación potencial son (muchos de ellos a través de la maquinaria utilizada): alimentación (packaging), salud, textil-confección, agricultura, educación, metalurgia, minería, petrolífero y silvicultura.
- A través del estudio del ecodiseño basado en la modularidad y del análisis del ciclo de vida, se detecta una potente relación con la sostenibilidad como hito para poder desarrollar en el futuro debido a sus ventajas en aspectos como el mantenimiento, la reparabilidad, el desmontaje, la reutilización y la eliminación de residuos. Todo esto, pudiéndolo estudiar desde tres enfoques: las 3 R's (reducir, reutilizar, reciclar), Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y Economía Circular.
- Teniendo en cuenta el estado actual del desarrollo de nuevas metodologías y la carencia de éstas en las fases conceptuales, se identifica un nuevo hito de investigación futura que continúe con el desarrollo metodológico actual con la finalidad de validar un nuevo método de diseño modular en dichas fases.
- Mediante el estudio de la fabricación 4.0 como teoría y todo el contexto en el que se puede llegar a desarrollar (Industria 4.0, Cultura maker y usuario prosumer) se detecta la necesidad de llevar a cabo una evolución del diseño modular centrado en este ámbito por el interés que supone trabajar el ámbito de diseño y fabricación de manera conjunta teniendo en cuenta los usuarios futuros, la sociedad, la industria y el nivel de personificación del producto a través del diseño.



# POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

# POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

## Introducción

Durante el análisis de las investigaciones realizadas sobre el diseño modular en este proyecto se han encontrado diversas referencias que hacen hincapié en la importancia de éste tanto en la actualidad como en el futuro desarrollo de la industria. Un ejemplo de ello es la afirmación que hace Timo Lehtonen en su tesis *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development* (2005) que dice: “En el futuro la importancia de la modularidad se elevará a un nivel de terreno evidente (...). El dominio de la modularidad será el gran desafío para el futuro cercano de la Ciencia del Diseño”. Por ello, es evidente la necesidad de seguir desarrollando líneas de investigación en este ámbito.

Tras definir el estado del arte con este Trabajo Fin de Máster (TFM) titulado “Estudio de los métodos de diseño modular y sus aplicaciones” a través de las tres preguntas planteadas (¿Qué es el diseño modular?, ¿Cómo se aplica? y ¿Quién lo aplica?), y con todas las conclusiones extraídas en el anterior apartado tanto de otros proyectos de investigación como de este mismo, se puede proceder a la definición de las posibles líneas de investigación futuras que se pueden desarrollar.

Por su inminente interés tanto en el ámbito del diseño modular como en el contexto actual y futuro en el que éste se desarrolla o puede llegar a desarrollarse, se han detectado tres líneas principales de investigación. Éstas son las siguientes:

1. Sostenibilidad. Desarrollo del diseño modular enfocado en el ecodiseño debido a sus ventajas en aspectos como el mantenimiento, la reparabilidad, el desmontaje, la reutilización y la eliminación de residuos.
2. Evolución de los métodos actuales. Continuación del desarrollo metodológico realizado hasta el momento con la finalidad de desarrollar o validar un nuevo método o modelo de diseño modular.
3. Industria 4.0. Evolución del diseño modular centrado en la fabricación 4.0 teniendo en cuenta los usuarios futuros (prosumer) y el nivel de personalización del producto a través del diseño.

A continuación, se realizará una breve descripción de cada una de estas líneas, justificando su importancia como posibles futuras líneas de investigación a través de diversas referencias bibliográficas que las citan y argumentando su potencial desarrollo en un contexto actual y futuro.

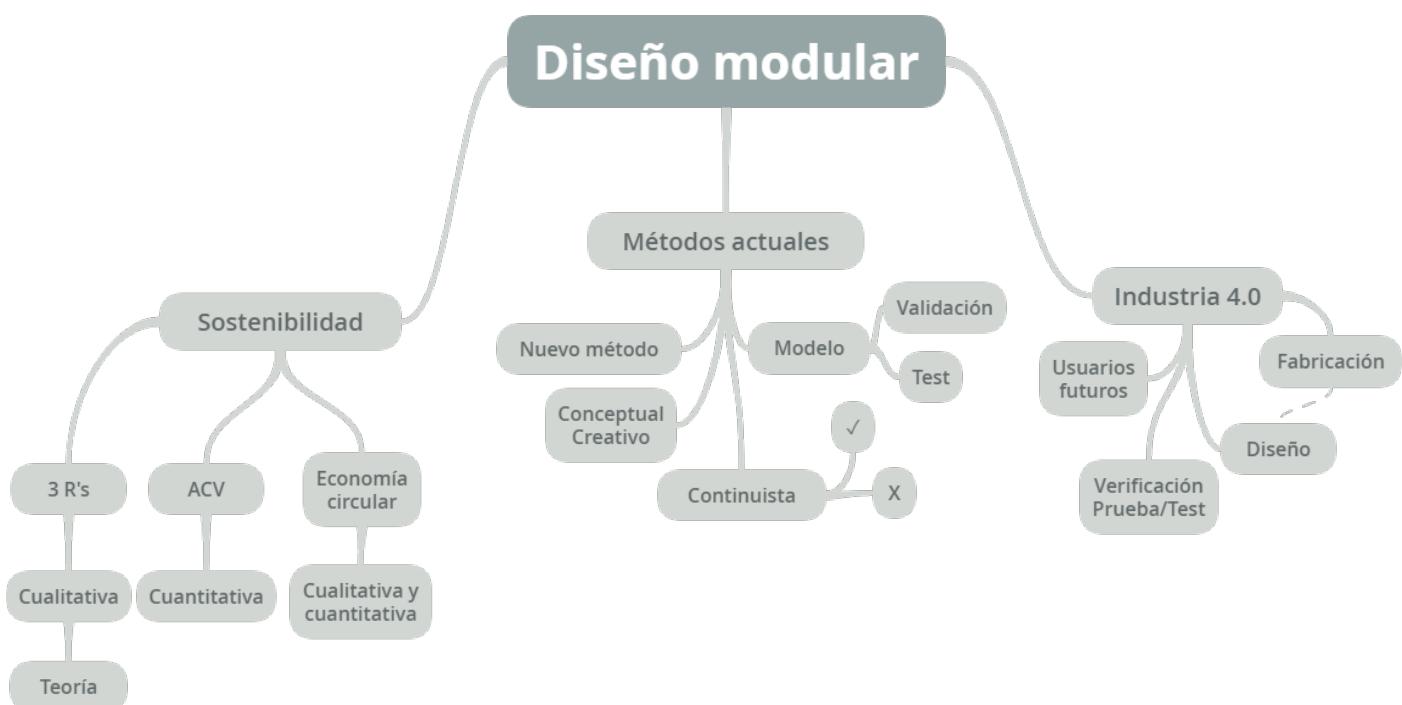


Figura 58. Esquema representativo de las posibles futuras líneas de investigación a desarrollar.

## 6. POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### Sostenibilidad

Debido al creciente interés y necesidad de desarrollar productos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, es imprescindible llevar a cabo nuevas investigaciones que faciliten el diseño y desarrollo de productos basados en principios de ecodiseño, como por ejemplo la modularidad. Tal y como se ha podido comprobar en el apartado *Ecodiseño basado en modularidad* (pág. 39), el diseño modular tiene una estrecha relación con la sostenibilidad y el ecodiseño. Por otro lado, numerosas ventajas que presenta el diseño modular (ver página 29) están vinculadas al desarrollo de productos más sostenibles dentro del contexto de la *Economía Circular* (ver páginas 27 y 28). El diseño de productos modulares ofrece numerosas ventajas en aspectos tales como el mantenimiento, la reparabilidad, el desmontaje, la reutilización de componentes (incluso para otros productos) y la eliminación de residuos, entre otros. Según la Rueda de la Estrategia del Ecodiseño de Van Hemel (pág. 39), “el uso de una estructura modular para dar lugar a un producto adaptable hace posible que se alargue el ciclo de vida de un producto que, aparentemente, ya no es óptimo desde el punto de vista técnico o estético, permitiendo así satisfacer las cambiantes necesidades del usuario. Esto da lugar a una serie de mejoras en cuanto a nuevas funcionalidades, recambios, estandarización y reciclabilidad”. Otros estudios han destacado también las ventajas del diseño modular que pueden contribuir a la mejora de la sostenibilidad de los productos, como es el caso de Marcos Echevarría, que en su tesis *METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA SELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES* (2015), donde afirma que “tener productos modulables contempla mejoras en los tiempos de desarrollo y validación, calidad de los componentes y subsistemas, menores costes de producción, intercambiabilidad y personalización que son requerimientos del mercado actual”. Por todos estos motivos, se podría trabajar la sostenibilidad a través del diseño modular desde tres enfoques: las 3 R's (Reducir, Reutilizar, Reciclar), Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y, como ya se ha dicho anteriormente, Economía Circular.



Figura 59. La silla Knit Chair diseñada por Emiliano Godoy, un diseñador industrial que realiza proyectos basándose en la protección y responsabilidad con el medio ambiente, utiliza la modularidad para dar lugar a su estructura final.

## 6. POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### Evolución de los métodos actuales

Actualmente existen numerosas metodologías para aplicar el diseño modular (ver apartado *¿Cómo se aplica?*), muchas de ellas ya están consolidadas y validadas desde hace décadas (ver *Métodos actuales*, págs. 32-41) y otras todavía están en desarrollo (ver *Métodos en desarrollo*, págs. 42-45). Numerosas investigaciones hacen referencia a la necesaria continuación del desarrollo de sus metodologías estudiadas, como por ejemplo el caso de Timo Lehtonen, que afirma en su tesis *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development* (2005) que “(...) sigue siendo necesario realizar un trabajo futuro. El siguiente paso es continuar aplicando los métodos desarrollados en un contexto industrial. Actualmente, se ha comprobado la aplicación de cada método en unas pocas empresas, pero es necesaria una mayor validación de la usabilidad y la eficacia para avanzar hacia el diseño de una nueva metodología de investigación.” o el caso de Marcos Echevarría, que en su tesis *METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA SELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES* (2015) afirma que “De acuerdo con los trabajos de investigación de reciente publicación que se han consultado para el estado del arte de la tesis, las consultas en las diferentes bases de datos de grupos de investigación sobre el tema y en base al conocimiento de las necesidades actuales de la industria automotriz en el desarrollo de productos, se identifica la necesidad de explorar la fase conceptual de diseño desde un punto de vista estandarizado y modular.” En el punto de evolución en el que se encuentran actualmente dichas metodologías, se ha identificado la necesidad de desarrollar y seguir evolucionando los métodos actuales en dos vertientes: la primera, continuista, donde habría un especial interés en el *Modelo Funcional Cuantitativo*, y la segunda, enfocada a desarrollar una metodología completamente nueva. Durante el estudio del estado del arte de los actuales métodos de diseño modular, se ha detectado que su uso en las fases conceptuales del diseño de producto es muy carente en todos los métodos (ver apartado *Conclusiones del TFM*, pág 71), por lo que existe una gran oportunidad en este aspecto de desarrollar un nuevo método con su modelo apoyado en la fase conceptual.

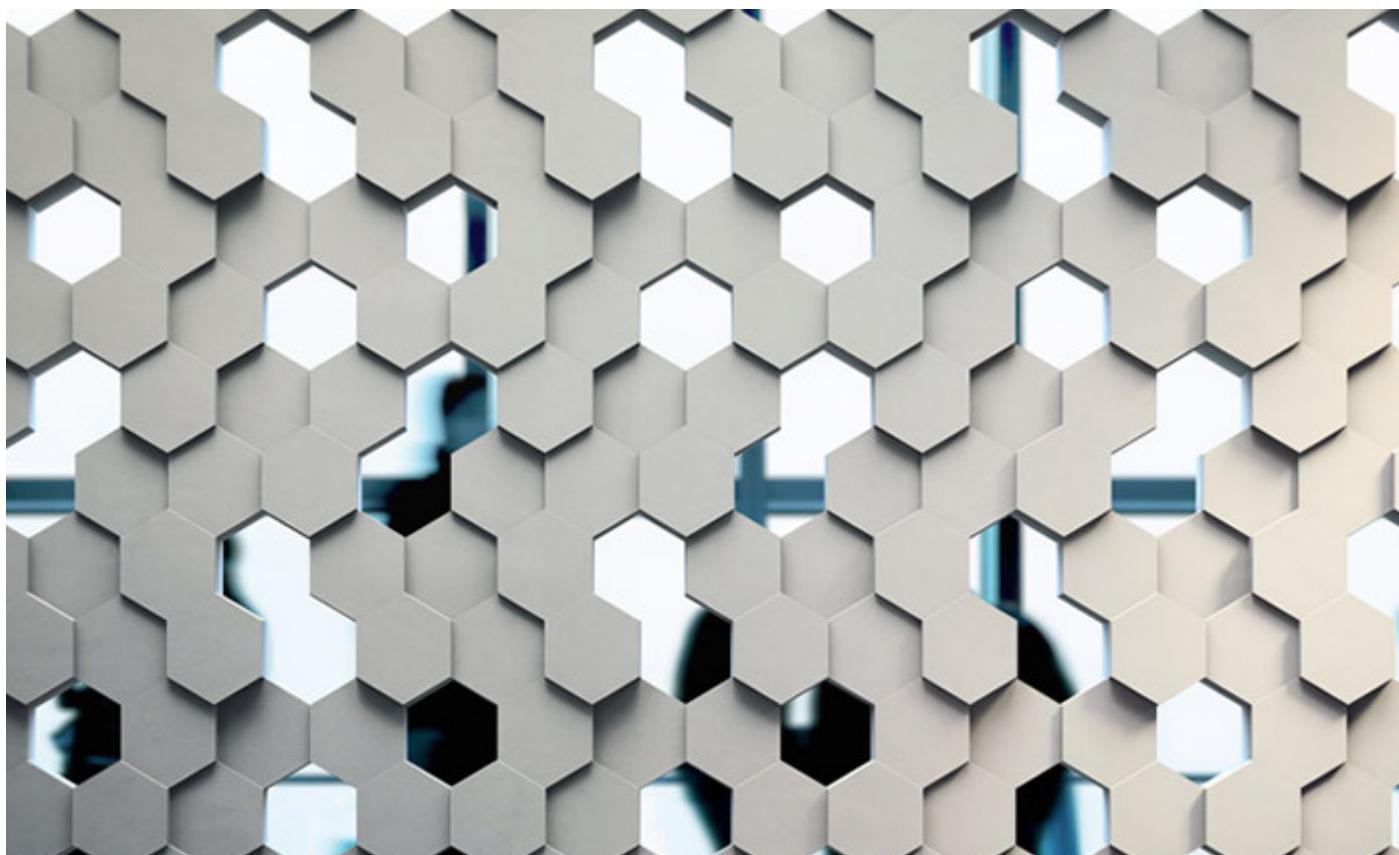


Figura 60. *Modular Arts*, de InterlockingRock, es una colección de productos que crean formas arquitectónicas modulares con componentes de yeso.

## 6. POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### Industria 4.0

El concepto de Industria 4.0, también llamado cuarta revolución industrial, corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción cuyas bases tecnológicas son: Internet de las cosas, Sistemas ciberfísicos, Cultura maker (DIY) y Fábrica 4.0 (ver *Industria 4.0*, pág. 49). En este campo, el diseño modular podría tener una fuerte connotación en el desarrollo de las dos últimas bases tecnológicas citadas al permitir trabajar el ámbito del diseño y la fabricación de manera conjunta. En 1998, Russell Marshall ya notificó la importancia de la modularidad dentro de la producción industrial en su tesis *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation* a través de la siguiente afirmación: “*Las conclusiones muestran la importancia de la modularidad y el marco en el que se sitúa el pensamiento sistémico, que responde a las grandes necesidades industriales para hacer frente a las necesidades de los clientes, las nuevas tecnologías, la complejidad y la fabricación ágil.*” Por otra parte, Timo Lehtonen, en su tesis *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development* (2005), manifestaba que “*si la modularidad se entiende como la estandarización de entidades de diseño, podemos establecer su desarrollo como un hito en la historia de la producción industrial.*” Sin embargo, el diseño modular no sólo tendría cabida en la fabricación desde el punto de vista de la industria, sino también desde el del usuario. Las características de la modularidad permiten que los productos sean personalizables, adaptables y evolutivos (ver *Características del diseño modular*, pág. 23), lo que hace que el diseño modular sea un gran hito en la cultura maker (DIY) (ver *Cultura Maker (DIY)*, pág. 50) y, especialmente, para los usuarios prosumer (ver *Usuario prosumer*, pág. 51), que pueden ser los usuarios del futuro. En este aspecto, Shamsuzzoha afirmaba en su artículo *Application of modularity in world automotive industries: a literature analysis* (2010) que “*La creciente demanda de productos personalizados está empujando a las empresas manufactureras a la adopción del principio de modularización en el diseño y desarrollo de productos.*”, dentro del mismo artículo también manifestaba que “*La adopción del principio de modularización es un requisito esencial para satisfacer la flexibilidad de personalizar productos o servicios. Se refiere a una nueva estrategia de desarrollo de productos en la que diferentes interfaces comparten entre los componentes para desarrollar un producto final.*” En general, esta línea de investigación alberga un enfoque más prospectivo que tiene en cuenta la actual evolución de la industria así como del contexto en el que se desarrolla (sociedad y consumidores).



Figura 61. Interior de la factoría de Hyundai en Asan. Fuente de la imagen: Hyundai.



# BIBLIOGRAFÍA

# BIBLIOGRAFÍA

- ABC. (abril de 2017). *Essential Phone: así es el teléfono modular del creador de Android*. ABC. Recuperado de [http://www.abc.es/tecnologia/moviles/telefonia/abci-essential-phone-telefono-modular-creador-android-201705301805\\_noticia.html](http://www.abc.es/tecnologia/moviles/telefonia/abci-essential-phone-telefono-modular-creador-android-201705301805_noticia.html)
- Amazon. (junio de 2017). Web oficial de blokable. Recuperado de <http://www.blokable.com/>
- Asión Suñer, L. (2016). *Trabajo de asignatura: Diseño para el ensamblaje (DFA)*. (Trabajo de asignatura). Desarrollo Avanzado de Producto, Máster en Ingeniería de Diseño de Producto. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.
- Baldwin, C. Y., & Clark, K.B. (1997). *Managing in an Age of Modularity*. Harvard Business Review, 83-94.
- Baldwin, C. Y., & Clark, K.B. (2000). *Design Rules: The Power of Modularity*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Bytheway, C. W. (1992). *FAST - AN INTUITIVE THINKING TECHNIQUE*. SAVE Annual Proceedings.
- Cabestany, J., Rojas, I., & Joya, G. (2011), *Advances in Computacional Intelligence*, Málaga (Spain), Springer.
- Carlos Bravo. (abril de 2017). *Lo que te aporta crear productos y servicios modulares si quieres llegar a más clientes*. Recuperado de <http://www.marketingguerrilla.es/lo-que-te-aporta-crear-productos-y-servicios-modulares-si-quieres-llegar-a-mas-clientes/>
- Casiopea. (abril de 2017). *Estructuras modulares*. Recuperado de [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Estructuras\\_Modulares](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Estructuras_Modulares)
- Casiopea. (marzo de 2017). *Diseño modular*. Recuperado de [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Dise%C3%B3n\\_Modular](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Dise%C3%B3n_Modular)
- Crawley, E., de Weck, O., Eppinger, S., Magee, C., Moses, J., Seering, W., Schindall, J., Wallace, D., & Whitney, D. (2004). *The influence of architecture in engineering sysstems*. Paper presented at the MIT Engineering Systems Symposium..
- Dahmus, J. B., Gonzalez-Zugasti, J. P., & Otto, K. N. (2000). *MODULAR PRODUCT ARCHITECTURE*. ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.
- Dahmus, J. B., Gonzalez-Zugasti, J. P., & Otto, K. N. (2001). *Modular product architecture*. Design Studies, 22, 409-424.
- Davies, R. (2015). *Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth*. European Parliamentary Research Service (EPRS).
- Domer, P. (1993), *Design since 1945 (World of Art)*, New York (EEUU), Thames and Hudson Ltd.
- Dori, D. (2001). *Object-Process Methodology Applied to Modeling Credit Card Transactions*. Advanced topics in database research, 1, 87-105.
- Echevarría-Quintana, Marcos (2015). *METODOLOGÍA DE DISEÑO CONCEPTUAL MODULAR PARA LA DESELECCIÓN DE VARIABLES MODULARES*. (Tesis Doctoral). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB). Barcelona, España.
- Ecoinventos. (abril de 2017). *Australia usa el movimiento del océano para generar energía renovable y desalinizar agua simultáneamente*. Ecoinventos. Recuperado de <http://ecoinventos.com/movimiento-del-oceano-para-generar-energia-renovable/>

# BIBLIOGRAFÍA

- Erixon, G. (1996). *Design For Modularity*. Huang, G Q, Chapman & Hall, ISBN. *Design for X* (pp. 356-379).
- Erixon, Gunnar (1998). *Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation*. (Doctoral Thesis). The Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.
- Fernández, A. (junio de 2017). *Renault Mégane Estate 2016, la opción más familiar y dinámica*. Recuperado de <https://www.motor.es/noticias/renault-megane-estate-2016-201628868.html>
- Fundación de la Economía circular. (abril de 2017). *Economía circular*. Recuperado de <http://economiacircular.org/>
- Fundación Ellen MacArthur. (abril de 2017). *Economía circular*. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular>
- Gabarrell Durany, X., García Lozano, R., Martínez Gasol, C., Oliver Solà, J., & Rieradevall Pons, J. (2010). *Ecodiseño: Aplicaciones, metodología y estudio de casos en envases*. Institute of Environmental Science and Technology (ICTA).
- García, F. (junio de 2017). *Los eléctricos del Grupo PSA tendrán 450 kilómetros de autonomía*. El Mundo. Recuperado de <http://www.elmundo.es/motor/2016/05/27/57483d7e22601d94338b4643.html>
- Gershenson, J. K., & Prasad, G. J. (2001). *Product Modularity and its effect on Service and Maintenance*. Maintenance and Reliability Conference.
- Gershenson, J. K., Prasad, G. J., & Allamneni, S. (1999). *Modular Product Design: A Life-cycle View*. Journal of Integrated Design and Process Science, Volume 3, Number 4.
- Gershenson, J. K., Prasad, G. J., & Zhang, Y. (2004). *Product modularity: measures and design methods*. Journal of Engineering Design, 15 (1), 33-51.
- González, A. (abril de 2017). *La revolución industrial que viene*. El País. Recuperado de [https://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/23/actualidad/1498247974\\_567939.html](https://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/23/actualidad/1498247974_567939.html)
- Goldie Blox. (junio de 2017). *Web oficial de Goldie Blox*. Recuperado de <https://www.goldieblox.com/>
- Google ATAP. (marzo de 2017). *Project Ara*. Recuperado de <https://atap.google.com/ara/>
- Gu, P., Hashemian, M., & Nee, A.Y.C. (2009). *Adaptable design: Concepts, methods, and applications*. Volume: 223 issue: 11, page(s): 1367-1387.
- Hubka, V. & Eder, E. W. (1988). *Theory of technical systems*. 2nd ed. Springer-Verlag.
- Hölttä-Otto, Katja (2005). *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN*. (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.
- IKEA. (junio de 2017). *Web oficial de Boklok*. Recuperado de <https://www.boklok.com>
- IKEA. (junio de 2017). *Web oficial de IKEA*. Recuperado de <http://www.ikea.com/es/es/>
- Interempresas. (marzo de 2017). *Algeco explica cómo optimizar el espacio con la construcción modular*. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Construcción/Artículos/186854-Algeco-explica-como-optimizar-el-espacio-con-la-construcción-modular.html>
- Kashkoush, M., & ElMaraghy, H. (2016). *Optimum Overall Product Modularity*. 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), 55-60.

# BIBLIOGRAFÍA

- Kerr, J. W. (2004). *Phenomenical SD40 series Diesel-Electric Locomotives*, Delta Publications.
- Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.
- LEGO MindStorms. (junio de 2017). Web oficial de LEGO. Recuperado de <https://www.lego.com/es-es/mindstorms>
- Maier, M. W. & Rechtin, E. (2000). *The art of systems architecting*. 2nd ed. CRC Press.
- Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation*. (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.
- Martín, O. (abril de 2017). *Es circular, pero sobre todo es economía*. El País. Recuperado de [https://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/25/actualidad/1498402409\\_830985.html](https://internacional.elpais.com/internacional/2017/06/25/actualidad/1498402409_830985.html)
- McGrath M. E. (1995). *Product Strategy for High-Technology Companies*. New York: Irwin Professional Publishing.
- Mendiola Zuriarrain, J. (abril de 2017). *El MIT crea la casa transformer*. El País. Recuperado de [https://elpais.com/tecnologia/2017/06/08/actualidad/1496921383\\_099021.html](https://elpais.com/tecnologia/2017/06/08/actualidad/1496921383_099021.html)
- Meyer, M. H. & Lehnerd, A. P. (2000). *The power of product platforms*. The Free Press. New York.
- Muffato, M. (1999). *Introducing a platform strategy in product development*. International Journal of Production Economics. 60-61. pp. 145-153.
- Newcomb, P. J., Bras, B., & Rosen, D. W. (1998). *Implications of modularity on product design for the life cycle*. ASME Journal of Mechanical Design, 120, 483-490.
- Ori Systems. (junio de 2017). Web oficial de Ori Systems. Recuperado de <https://www.orisystems.com/>
- Otto, K. & Wood K. (2001). *Product Design: techniques in reverse engineering and new product development*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- O'Grady, P. (1999). *The age of modularity*. Adams and Steele Publishers.
- Quezada Feijoó, Edmundo Daniel (2012). *Arquitectura modular basada en la teoría de los policubos*. (Trabajo de Fin de Titulación). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.
- Ramos, P. (abril de 2017). *Uno de los impulsores de Amazon Go vende casas modulares 'a domicilio'*. El Mundo. Recuperadode<http://www.elmundo.es/economia/vivienda/2017/04/13/58ecea4f22601db13b8b45a7.html>
- Renault. (2010). *MEGANE SPORT TOURER: DRIVE THE CHANGE*. Publicis VERBE.
- Rendell, J. (2001). *VW top, but others are catching up fast*. Automotive world. pp. 26-34.
- Royo, E. J. (2016). *Diseño para fabricación (DFM)*. (Apuntes de asignatura). Desarrollo Avanzado de Producto, Máster en Ingeniería de Diseño de Producto. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.
- Salhieh, S. M. & Kamrani, A. K. (1999). Macro level product development using design for modularity. *Robotics and Computer integrated manufacturing*, 15, 319-329.

# BIBLIOGRAFÍA

- Sanderson, S. & Uzumeri, M. (1995). *Managing product families: the case of Sony Walkman*. Research Policy, 24, pp. 761-782.
- Serrentino, R. H., & Molina, H. (abril de 2017). Arquitectura modular basada en la teoría de los policubos. Recuperado de <http://textos-y-contextos.blogspot.com.es/2008/01/arquitectura-modular-basada-en-la-teoria.html>
- Shamsuzzoha, A.H.M., & Helo, P.T. (2009). *Reconfiguring product development process in auto industries for mass customisation*. Int. J. Productivity and Quality Management, 4 (4).
- Shamsuzzoha, A., Helo, P. T., & Kekäle, T. (2010). *Application of modularity in world automotive industries: a literature analysis*. Int. J. Automotive Technology and Management, 10 (4), 361-377.
- Shamsuzzoha, AHM (2010). *Modular Product Development for Mass Customization*. (Selection of Articles). University of Vaasa. Vaasa, Finland.
- Simpson, T. W., Maier, J. R. A., & Mistree, F. (1999). *A Product Platform Concept Exploration Method for Product Family Design*. ASME Design Engineering Technical Conferences.
- Simpson, T. W., Maier, J. R. A., & Mistree, F. (2001). *Product platform design: method and application*. Res Eng Design, 13, 2-22.
- Sivaloganathan, S., Ebuomwan, N. F. O., Jebb, A., & Wynn, H.P. (1995). *Design function deployment- a design system for the future*. Design Studies, 16, 447-47.
- Sjöström, S. (1990). *The modular system in truck manufacturing: The SAAB-SCANIA Griffin*.
- Smith, Robert Joseph (2009). *THE IMPACT OF MODULAR DESIGN ON PRODUCT USE AND MAINTENANCE*. (Doctoral Thesis). Georgia Institute of Technology. Atlanta, EE.UU.
- Stephan, M., Pfaffmann, E. and Sanchez, R. (2008). *Modularity in cooperative product development: the case of the MCC 'smart' car*. International Journal of Technology Management, 42 (4), 439-458.
- Stone, R. B., Wood, K. L., & Crawford, R. H. (2000). *A heuristic method for identifying modules for product architectures*. Design Studies, Volume 21, Number 1.
- Stone, R. B., Wood, K. L., & Crawford, R. H. (2000). *Using quantitative functional models to develop product architectures*. Design Studies, 21 (3), 239-260.
- Sudjianto, A., & Otto, K. (2001). *MODULARIZATION TO SUPPORT MULTIPLE BRAND PLATFORMS*. ASME Design Engineering Technical Conferences.
- Terrrasa, D. (abril de 2017). *Camal Edit, el revolucionario coche autónomo y modular*. Bolsamanía. Recuperado de <http://www.bolsamania.com/kmph/camal-edit-el-revolucionario-coche-italiano-autonomo-y-modular/>
- Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, Ch., & Kimura, F. (2009). *Design methodologies: Industrial and educational applications*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 58, 543-565.
- Ulrich, K., & Tung, K. (1991). *Fundamentals of Product Modularity*. Management of Design, 219-231.
- Universidad Nacional de La Plata (UNLP). (2005). *Estrategias de Ecodiseño (Artículos traducidos)*, La Plata (Argentina), UNLP.

# BIBLIOGRAFÍA

- Van Hemel, C., & Cramer, J. (2002). *Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs*. Journal of Cleaner Production (10), 5, 439-453.
- Wasley, N. S., Lewis, P. K., Mattson, C. A., & Ottosson, H. J. (2016). *Experimenting with concepts from modular product design and multi-objective optimization to benefit people living in poverty*. Development Engineering, 2, 29-37.
- Wikipedia. (junio de 2017). *Cultura maker*. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Cultura\\_Maker](https://es.wikipedia.org/wiki/Cultura_Maker)
- Wikipedia. (junio de 2017). *Do It Yourself (DIY)*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Do\\_it\\_yourself](https://en.wikipedia.org/wiki/Do_it_yourself)
- Wikipedia. (junio de 2017). *Prosumer*. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Prosumer>
- Wikipedia. (marzo de 2017). *Diseño modular*. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o\\_modular](https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_modular)
- Wikipedia. (marzo de 2017). *Modularidad*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Modularidad>
- Wikipedia. (mayo de 2017). *Design for manufacturability (DFM)*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_for\\_manufacturability](https://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_manufacturability)
- Wikipedia. (mayo de 2017). *Design Structure Matrix (DSM)*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_structure\\_matrix](https://en.wikipedia.org/wiki/Design_structure_matrix)
- Wikipedia. (mayo de 2017). *Diseño para ensamblaje (DFA)*. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o\\_para\\_ensamble](https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_para_ensamble)
- Wikipedia. (mayo de 2017). *Object Process Methodology (OPM)*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Object\\_Process\\_Methodology](https://en.wikipedia.org/wiki/Object_Process_Methodology)
- Wikipedia. (junio de 2017). *Kit car*. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Kit\\_car](https://es.wikipedia.org/wiki/Kit_car)
- Wikipedia. (junio de 2017). *Kit house*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Kit\\_house](https://en.wikipedia.org/wiki/Kit_house)
- Wikipedia. (junio de 2017). *Modular building*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Modular\\_building](https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_building)
- Wikipedia. (junio de 2017). *Meccano*. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Meccano>
- Wikipedia. (junio de 2017). *Modular smartphone*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Modular\\_smartphone](https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_smartphone)
- Williamson, G. (2005). *Wolf Pack - The story of the U-Boat in World War II*. Osprey Publishing, Wellingborough (UK).
- Wixson, J. R. (1999). *Function Analysis and Decomposition using Function Analysis Systems Technique*. INCOSE International Symposium. 9.