



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

Estudio de los métodos de diseño modular y sus  
aplicaciones

Autor

Laura Asión Suñer

Director

Ignacio López Forniés

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza (EINA)  
2017

# TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. Laura Asión Suñer,

con nº de DNI 73003261L en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
Máster en Ingeniería de Diseño de Producto, (Título del Trabajo)  
Estudio de los métodos de diseño modular y sus aplicaciones

---

---

---

---

---

, es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 27 de agosto de 2017

Fdo: Laura Asión Suñer

# Estudio de los métodos de diseño modular y sus aplicaciones

## RESUMEN

El proyecto comienza con el planteamiento del tema a estudiar, lo que supone marcar los objetivos del TFM y establecer una metodología que permita alcanzarlos con una serie de resultados finales de calidad. Con la planificación ya definida, se procede a realizar una búsqueda bibliográfica que permita hacer un *review* del tema y conocer cuál ha sido su evolución en el tiempo y cuál es su estado actual. Esta revisión comienza con un resumen esquemático de lo que se quiere encontrar y termina con una serie de tesis, artículos y noticias actuales de interés global sobre el tema. Esta serie de documentos encontrados serán la base sobre la que se definirá el estado del arte del diseño modular en las fases posteriores, las cuales se centran en tres preguntas claves: *¿Qué es el diseño modular?*, *¿Cómo se aplica?* y *¿Quién lo aplica?*. La primera fase (*¿Qué es el diseño modular?*) empieza aportando una definición de *diseño modular* a través de las definiciones de varios autores. Además, con estas definiciones y la lectura realizada se decide redactar también una serie de características que lo definen. Luego, se hace lo propio con términos estrechamente relacionados como *modularidad, arquitectura de producto y plataforma de producto*, recopilando también una serie de definiciones de cada uno según diversos autores. En esta fase también se decide estudiar el contexto en el que se sitúa actualmente el diseño modular, hablando así de los sectores en los que se aplica y el modelo económico hacia el que se está evolucionando actualmente: la *Economía Circular*. Para concluir esta fase, se redactan una serie de ventajas y debilidades sobre el diseño modular. La siguiente fase (*¿Cómo se aplica?*) tiene como finalidad hacer un estudio de los métodos que existen actualmente sobre diseño modular, por lo que esta fase se divide en tres apartados: métodos actuales, métodos en desarrollo y teorías, este último correspondería al estudio de ámbitos que podrían dar lugar a nuevas metodologías en el futuro. De cada uno se citan las correspondientes metodologías, sus autores, fecha de creación y descripción de su funcionamiento. La última fase que describe el estado del arte (*¿Quién lo aplica?*) se centra en el estudio de casos reales en los que se ha aplicado el diseño modular en alguna de sus fases del ciclo de vida. Esta fase hace un recuento tanto de los casos documentados como de casos recientes con el fin de conocer cómo se ha aplicado el diseño modular en un contexto real. Finalmente, se hace un análisis de los sectores de aplicación para conocer en cuáles se ha aplicado con mayor y menor frecuencia y en cuáles se podría llegar a aplicar potencialmente. Con esto, se da por concluido el estado del arte, dando lugar así a la obtención de una serie de conclusiones tanto de otros autores como propias de este proyecto. El TFM finaliza con la descripción de tres posibles líneas de investigación futuras centradas en: *la sostenibilidad, la evolución de los métodos actuales y la industria 4.0*.



# TABLA DE CONTENIDOS

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	5
<b>1.1. Metodología.....</b>	5
<b>2. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN .....</b>	7
<b>3. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?.....</b>	9
<b>3.1. Definición y características.....</b>	9
<b>3.2. Otros términos relacionados.....</b>	10
<b>3.3. Contexto.....</b>	11
<b>3.4. Ventajas.....</b>	12
<b>3.5. Debilidades.....</b>	13
<b>4. ¿CÓMO SE APLICA?.....</b>	14
<b>4.1. Métodos actuales .....</b>	14
<b>4.2. Métodos en desarrollo .....</b>	15
<b>4.3. Teorías .....</b>	16
<b>5. ¿QUIÉN LO APLICA? .....</b>	17
<b>5.1. Casos documentados .....</b>	17
<b>5.2. Casos recientes .....</b>	18
<b>5.3. Análisis de los sectores .....</b>	19
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	20
<b>6.1. Conclusiones de otros autores .....</b>	20
<b>6.2. Conclusiones del proyecto.....</b>	21
<b>7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	22
<b>7.1. Sostenibilidad.....</b>	22
<b>7.2. Evolución de los métodos actuales .....</b>	22
<b>7.3. Industria 4.0 .....</b>	23
<b>8. VALORACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	24
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	24
<b>ANEXO A.....</b>	29

# 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es analizar y definir el estado actual de los métodos de diseño modular y sus aplicaciones con el fin de establecer el punto de partida para el desarrollo de una futura línea de investigación centrada en dicho tema. Para ello se revisa el estado del arte en cuanto a estudios, investigaciones, casos y metodologías desarrolladas sobre diseño modular. Como resultado se obtienen una serie de conclusiones que dan lugar a varias propuestas de futuras líneas de investigación centradas en el posterior desarrollo de un método de diseño modular.

El alcance del proyecto incluye una revisión bibliográfica completa de otros proyectos de investigación (tesis, artículos, libros, publicaciones, etc.) que establecen las bases y definen la evolución del diseño modular y sus diversos métodos. A su vez, se realiza una investigación de campo que permite conocer casos reales de la aplicación del diseño modular en la industria, así como un estudio de aspectos y términos con los que se pueda relacionar con la finalidad de conocer cuál es el estado actual de tema y la importancia de su desarrollo en la actualidad teniendo en cuenta el contexto en el que se desarrolla. Esto permite tener la suficiente información como para establecer una serie de propuestas de líneas de investigación de interés actual.

Se trata de un proyecto nuevo que no se apoya específicamente en ningún otro trabajo o proyecto de investigación enfocado en este tema. No obstante, al tratarse de un proyecto de investigación cuyo objetivo es establecer el estado del arte actual sobre el diseño modular, incluye una revisión de referencias bibliográficas que, estudiadas en conjunto, permiten cumplir con el objetivo de este proyecto.

El proyecto se realiza por iniciativa propia, por lo que no existe colaboración alguna con ninguna empresa, departamento o grupo de investigación. Sin embargo, este Trabajo Fin de Máster (TFM) realizado dentro del plan de estudios del Máster de Ingeniería de Diseño de Producto tiene por objeto ser el punto de partida de una futura línea de investigación que se desarrolle en el marco de una Tesis Doctoral en el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza.

## 1.1. Metodología

La metodología de trabajo es la propia de un proyecto de investigación, por lo que no es análoga a la empleada anteriormente en proyectos de diseño que se dividen en investigación, conceptualización y desarrollo. En este caso, la metodología se centra en la investigación y análisis del tema a tratar. Por ello, el método de trabajo se ha dividido en tres fases principales: planificación y búsqueda de información inicial (fase 1), definición del estado del arte (fase 2) y conclusiones del proyecto y definición de las futuras líneas de investigación (fase 3).

Para comenzar se realiza una fase de planificación donde se definen los puntos a estudiar y se buscan referencias bibliográficas. Tras esto, se realiza la investigación y análisis de la situación actual del diseño modular a través de su definición, análisis de sus aplicaciones metodológicas e investigación de los sectores que lo utilizan a través del estudio de productos, sistemas modulares y sistemas de fabricación basados en diseño modular. Finalmente, se extraen una serie de conclusiones que dan lugar a la definición de varias propuestas de futuras líneas de investigación.



El cronograma final del proyecto es el siguiente:

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. Sectores y empresas que lo aplican (ejemplos y casos) (*1 junio - 16 junio*)
6. Extracción de conclusiones y definición de futuras líneas (*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*)

Las herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto incluyen recursos informáticos relativos a la búsqueda de información, herramientas online para organizar la información y programas de presentación y maquetación.

Las secciones que se incluyen en esta memoria corresponden con cada una de las fases en las que se ha dividido el proyecto. La fase 2 se muestra dividida en tres secciones (*¿Qué es el diseño modular?*, *¿Cómo se aplica?* y *¿Quién lo aplica?*) y fase 3 en dos (*Conclusiones* y *Futuras líneas de investigación*). Algunas de estas secciones cuentan con sub-secciones que sirven de ayuda para mejorar la comprensión del proyecto.

La primera fase comienza con una búsqueda bibliográfica que evidencie la importancia del tema en la actualidad, muestre su evolución, su estado actual y sea el punto de partida desde el que se estudia y analiza el estado del arte en la siguiente fase. Dicha búsqueda se abarca desde tres puntos diferentes: tesis doctorales, que se centran en la definición del tema y su evolución; artículos, que proponen nuevas metodologías; y noticias, que muestran el estado actual del diseño modular y su aplicación en empresas y sectores concretos.

La segunda fase realiza el análisis de la situación actual del tema, organizando la información mediante tres preguntas: *¿Qué es el diseño modular?* (definición), *¿Cómo se aplica?* (análisis de sus aplicaciones metodológicas) y *¿Quién lo aplica?* (estudio de casos y ejemplos de sectores y empresas que lo utilizan). En la primera sección (*¿Qué es el diseño modular?*), se incluye la definición de *diseño modular* y se enumeran sus características principales, se estudian otros términos relacionados (*modularidad, arquitectura de producto y plataforma de producto*), se analiza el contexto en el que se sitúa actualmente (*Economía circular y sectores donde se aplica*) y se citan sus ventajas y debilidades. En la siguiente sección (*¿Cómo se aplica?*), se realiza un estudio de las metodologías a través del análisis de métodos actuales, métodos en desarrollo y teorías. Finalmente, la última sección (*¿Quién lo aplica?*) hace una recopilación de casos ya documentados, realiza una búsqueda de casos más recientes y analiza a modo de conclusión el uso del diseño modular en los diversos sectores de la industria.

Para concluir, en la tercera fase se extraen una serie de conclusiones, tanto de otros autores a través de las referencias bibliográficas encontradas como conclusiones propias del proyecto, que son el punto de partida de la futura investigación. Con estas conclusiones, se procede a definir las futuras líneas de investigación (*sostenibilidad, continuación e industria 4.0*) con las que se da por concluido el proyecto.

En esta memoria, también se incluye una sección final donde se realiza la valoración crítica del conjunto del trabajo realizado. En ella se resumen las aportaciones del TFM y se valora el cumplimiento de los objetivos y las posibilidades de continuación del trabajo desarrollado. También se indican las incidencias del desarrollo del trabajo (tiempo, problemas encontrados, opiniones personales, experiencia conseguida, etc.).

Como anexo a esta memoria, se incluye el Dossier (*Anexo A*) donde se recoge de forma exhaustiva y con detalle todo el trabajo realizado durante este proyecto. Antes del anexo, se incluye una sección con la bibliografía utilizada en el desarrollo del proyecto.

## 2. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Para comenzar con el proyecto es importante encontrar un *review* del tema, es decir, una serie de artículos o tesis que hagan una revisión de lo que hay hasta ahora. Es por esto que se ha realizado una búsqueda de otras investigaciones que suponen un punto de partida desde el que comenzar la 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 ya que permiten ver la evolución del tema. Con esta búsqueda se pretende evidenciar el interés del tema y la importancia de desarrollarlo en el contexto actual. Para ello, se ha realizado un esquema (*Figura 1*) que organiza la información sobre cada aspecto que se quiere estudiar, dividiéndose en: *definición, quién lo aplica y cómo se aplica*.

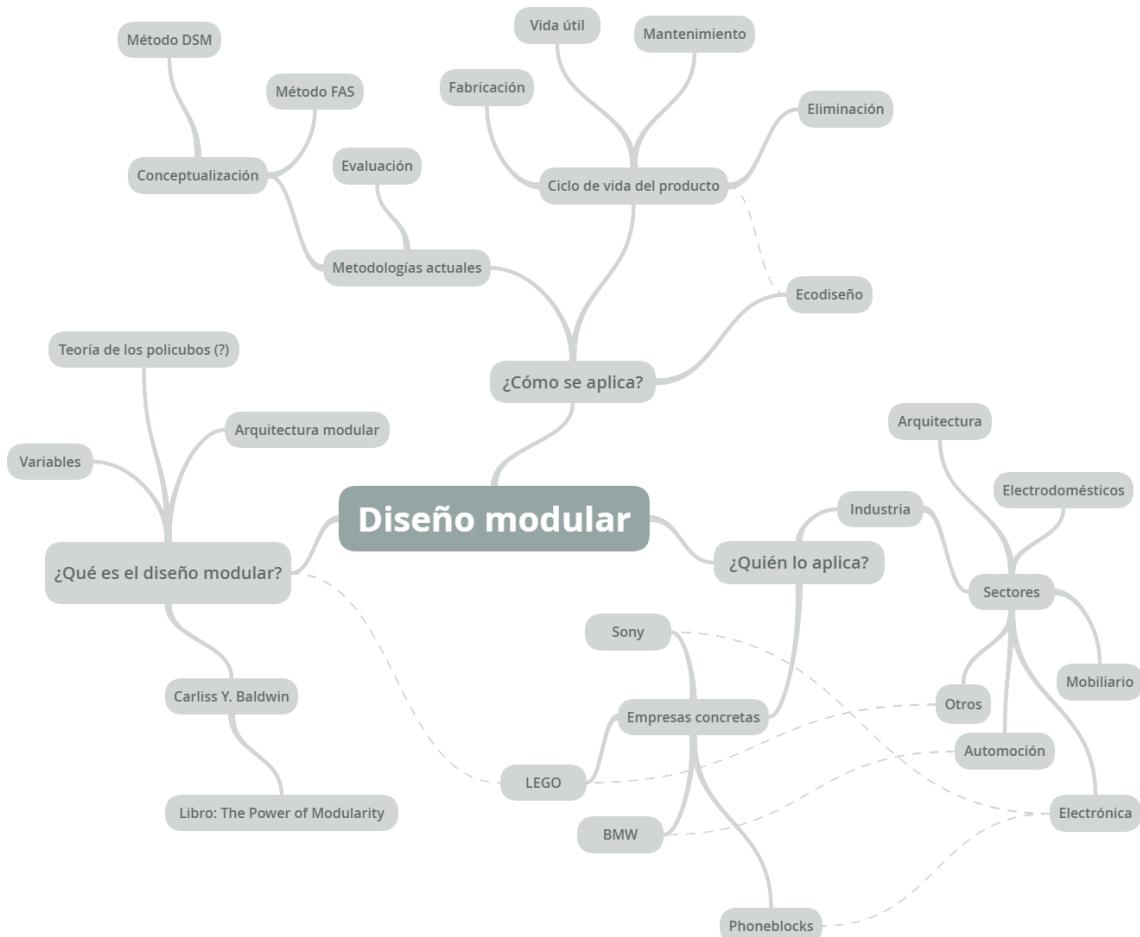


Figura 1



En la siguiente tabla (*Tabla 1*) se citan las referencias que se han encontrado en esta búsqueda bibliográfica y que se han considerado de mayor importancia e interés para el desarrollo de la investigación. Estas referencias permiten conocer su situación actual, evolución y aplicación en productos, demostrando que el diseño modular no sólo se desarrolla de forma teórica, sino que es una realidad en el mercado actual.

Título	Traducción	Autor	Año	Tipo
Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation <sup>[1]</sup>	Modularización del diseño: una metodología basada en la ingeniería de sistemas para la mejora de la realización del producto	Marshall, Russell	1998	Tesis
Modular Function Deployment (MFD)- A Method for Product Modularisation <sup>[2]</sup>	Despliegue de funciones modulares - Un método para la modularización de productos	Gunnar Erixon	1998	Tesis
Modular product platform design <sup>[3]</sup>	Diseño de plataformas de productos modulares	Katja Hölttä-Otto	2005	Tesis
Designing modular product architecture in the new product development <sup>[4]</sup>	Diseño de una arquitectura de producto modular en el desarrollo de nuevos productos	Timo Lehtonen	2007	Tesis
The impact of modular designo n product use and maintenance <sup>[5]</sup>	El impacto del diseño modular sobre el uso y mantenimiento del producto	Robert J. Smith	2009	Tesis
Modular Product Development for Mass Customization <sup>[6]</sup>	Desarrollo modular de productos para personalización masiva	AHM Shamsuzzoha	2010	Tesis
Metodología de diseño conceptual modular para la selección de variables modulares <sup>[7]</sup>	-	Marcos Echevarría	2015	Tesis
Modular product architecture <sup>[8]</sup>	Arquitectura de producto modular	Kevin N. Otto	2000	Artículo
Using quantitative functional models to develop product architectures <sup>[9]</sup>	Uso de modelos cuantitativos funcionales para desarrollar arquitecturas de productos	Robert B. Stone et al.	2000	Artículo
Modularization to support multiple Brand platforms <sup>[10]</sup>	Modularización para apoyar múltiples plataformas de marca	Robert B. Stone	2001	Artículo
Application of modularity in world automotive industries <sup>[11]</sup>	Aplicación de la modularidad en las industrias automovilísticas mundiales	Ahm Shamsuzzoha	2010	Artículo
Optimum Overall Product Modularity <sup>[12]</sup>	Optimización general de la modularidad del producto	Mohamed Kashkoush	2016	Artículo
Uno de los impulsores de Amazon Go vende casas modulares a domicilio <sup>[13]</sup>	-	El Mundo	2017	Noticia
El MIT crea la casa transformer <sup>[14]</sup>	-	El País	2017	Noticia
Lenovo Moto Z, un móvil modular con picoproyector <sup>[15]</sup>	-	20minutos	2017	Noticia
Camal Edit, el revolucionario coche autónomo y modular <sup>[16]</sup>	-	Bolsamanía	2017	Noticia
Swidget, el sistema modular que añade inteligencia a los enchufes de casa <sup>[17]</sup>	-	Xataka	2017	Noticia

Tabla 1

Estas referencias 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 de clientes y empresas, necesidad de personalización del producto, etc. Además, suponen un buen punto de partida para la investigación, pues muchas de ellas definen el estado del arte de este tema. Todas las referencias coinciden en las ventajas que supone el uso del diseño modular en la actualidad y en la necesidad de aplicarlo en el mercado actual, así como la necesidad de encontrar nuevas metodologías y técnicas que mejoren dicha aplicación. Por otra parte, se han encontrado referencias cruzadas entre las referencias, lo que supone una base sólida para continuar con la investigación.

## 3. ¿QUÉ ES EL DISEÑO MODULAR?

### 3.1. Definición y características

En el análisis realizado a otras tesis y artículos, donde hacen una revisión del tema, no se han encontrado definiciones precisas sobre el diseño modular. Por lo general, estas investigaciones se centran en definir conceptos relacionados como *modularidad* o *plataforma de producto*, como se ve en el siguiente apartado. Sin embargo, diversos autores que han trabajado en el ámbito del diseño modular durante años como Baldwin y Clark,<sup>[18]</sup> Newcomb<sup>[19]</sup> o Ulrich y Tung,<sup>[20]</sup> ofrecen sus propias definiciones.

Una de las definiciones más generales la ofrece Lonnie R. Morris<sup>[21]</sup> 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.*”

Por otra parte, el espacio de registro y documentación de la escuela de Arquitectura y Diseño PUCV, Casiopea,<sup>[22]</sup> 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.*”

Gunnar Erixon<sup>[23]</sup> hace la siguiente puntuación que muestra una de las ventajas del diseño modular: “*El diseño modular es una excelente base para la renovación continua del producto y así como de un concurrente desarrollo del sistema de producción.*”

Con todas estas definiciones y la información encontrada, se hizo un trabajo de análisis y síntesis que pudiera establecer las características principales del diseño modular:

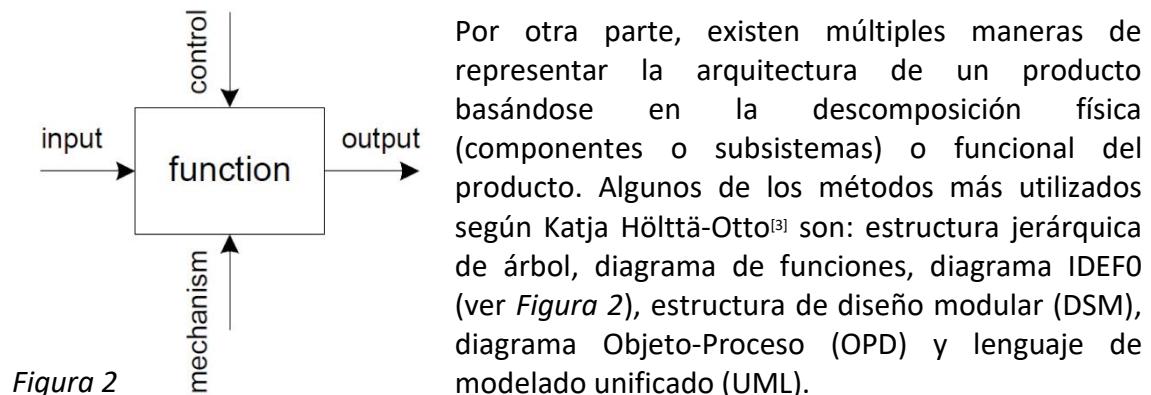
- **Adaptable:** Los módulos permiten crear productos adaptados a las necesidades del consumidor, pudiendo variar su diseño y disposición en diferentes ocasiones.
- **Personalizable:** Es posible personalizar cada producto gracias a la gran variedad de módulos que se pueden diseñar en diversas formas, materiales, colores o tamaños.
- **Evolutivo:** La modularidad permite mejorar un producto a partir de una pieza base mediante la adición de nuevos módulos que aporten 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 puede integrar una o varias funciones, el producto final adquirirá tantas funciones y subfunciones como módulos tenga.
- **Espacialidad:** La geometría y estructura de cada módulo, así como sus conexiones, permite al sistema jugar con el espacio, pudiendo ser plegable, apilable, enrollable...
- **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 permiten que sus módulos se puedan reutilizar en otros sistemas gracias a la estructura de sus conexiones.

### 3.2. Otros términos relacionados

En este apartado, se incluyen las definiciones que dan algunos autores de otros términos directamente relacionados con el diseño modular como son la *modularidad*, la *arquitectura de producto* y la *plataforma de producto*.

Para hablar de *modularidad*, autores como Carliss Y. Baldwin<sup>[24]</sup> o Hubka & Eder<sup>[25]</sup> se refieren directamente a la definición y clasificación del concepto *módulo*. Salhieh y Kamrani<sup>[26]</sup> definen el módulo como “*Un bloque de construcción que se puede agrupar con otros bloques de construcción para formar una variedad de productos*”. En general, todos coinciden en que un módulo es un fragmento de un producto con una función identificable. Los autores O’Grady,<sup>[27]</sup> Mattson & Magleby<sup>[28]</sup> y Gershenson,<sup>[29]</sup> ofrecen también diversas clasificaciones de módulo, en concreto O’Grady<sup>[27]</sup> afirma que “*Los módulos «duros» son módulos físicos ensamblables y los módulos «blandos» tienen una presencia física limitada (software, servicio, productos financieros, seguros, etc.)*”.

En cuanto a la *arquitectura de producto*, Ulrich<sup>[20]</sup> la define como “*el esquema mediante el cual las funciones de un producto se asignan a componentes físicos*.” Por otra parte, Maier y Rechtin<sup>[30]</sup> tienen un enfoque donde incluyen el proceso completo y que definen como “*la estructura (en términos de componentes, conexiones y restricciones) de un producto, proceso o elemento*.” Crawley<sup>[31]</sup> da una definición similar, pero en lugar de componentes físicos se refiere a entidades no físicas como, por ejemplo, las funciones. Todas las definiciones tienen relación con la estructura física del producto, la representación abstracta de sus componentes y la correlación entre ambos. Su principal punto en común es la disposición de elementos de un producto.



Finalmente, autores como Meyer y Lehnerd,<sup>[32]</sup> Muffato,<sup>[33]</sup> McGrath<sup>[34]</sup> y Otto y Wood<sup>[35]</sup> ofrecen sus propias definiciones para *arquitectura de producto*. Simpson<sup>[36]</sup> la define como “*Conjunto de parámetros comunes, características y/o componentes que permanecen constantes de producto a producto, dentro de una familia de productos*”. 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 la aporta Katja Hölttä-Otto,<sup>[3]</sup> quien 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*”. Los beneficios de las plataformas son similares a los de la modularidad, ya que los módulos se utilizan para crear variantes de producto mediante su adición a una plataforma. Por otra parte, existen varios métodos para diseñar una plataforma, entre los que destacan los métodos basados en escala y los métodos basados en módulos.

### 3.3. Contexto

El diseño modular es una realidad en la industria desde hace décadas, y se pueden encontrar numerosos ejemplos de sistemas modulares en sectores muy diversos del mercado actual. 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. Algunos de los sectores en los que el diseño modular más se ha desarrollado y está evolucionando en la actualidad son: automoción, arquitectura, mobiliario, electrodoméstico, electrónico, juguetero, energético e informático. También es importante encontrar sectores en los que el diseño modular pueda seguir desarrollándose en el futuro. Un ejemplo es el diseño de servicios, donde ofrecer servicios en módulos separados ofrece ventajas como: ganar dinero con los usuarios que no pagarían por el servicio completo, mejorar la calidad del servicio, conocer lo que el cliente necesita y llegar a diferentes tipos de clientes, entre otros.

En cuanto al contexto industrial y medioambiental, el presente modelo económico lineal de “producir, usar y tirar” está llegando ya al límite de su capacidad física. La economía circular es una alternativa viable que ya han empezado a explorar distintas empresas. Se trata de un concepto 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 se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible. Se basa, por tanto, en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos. A su vez, este concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos, tal y como se ve en la *Figura 3*. Una de las características fundamentales de la Economía Circular consiste en aumentar la resiliencia por medio de la diversidad. En este aspecto, la modularidad, la versatilidad y la adaptabilidad son características muy apreciadas a las que debe darse prioridad en un mundo en rápida evolución. El diseño modular puede aportar grandes mejoras a la economía puesto que permite el desarrollo de productos reutilizables, reparables y actualizables, consiguiendo así alargar su ciclo de vida útil.

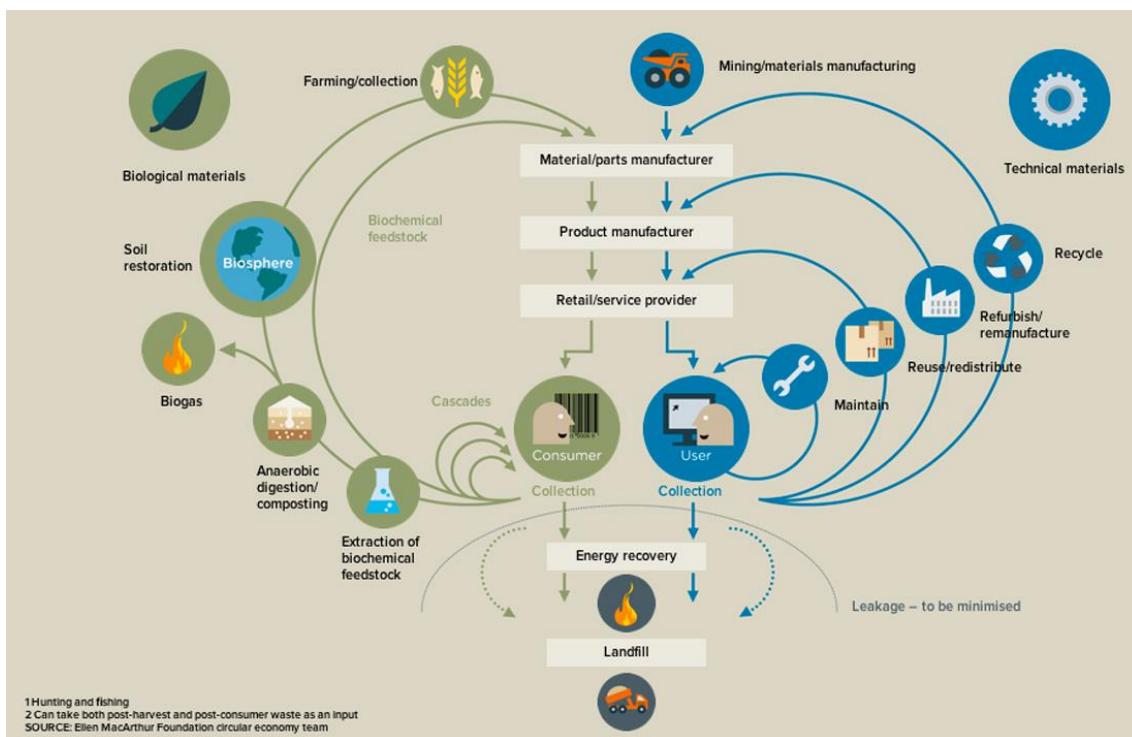


Figura 3

### 3.4. Ventajas

- **Adaptabilidad.** Mediante el cambio o adición de módulos se adapta el producto a las necesidades del usuario. Esta adición puede responder a dos gamas de construcción modular: de uso temporal, que responde a una necesidad momentánea, o de larga duración, que responde a una necesidad definitiva. Además, una buena arquitectura de producto ayuda 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, sino también entre diferentes compañías, por ejemplo, en el caso de una empresa fabricante de motores para coches. Se trata de un requisito obligatorio, sobre todo en lo que a sus conexiones respecta.
- **Calidad.** El diseño modular hace que la calidad del producto final aumente. Su implementación supone mejoras durante todo el proceso de fabricación, ya que se optimiza la producción y el ensamblaje, lo que reduce los costes y tiempos finales. Por otra parte, permite al usuario ser él mismo quien “fabrique” y personalice el producto, 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 deshechos 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 pagaría 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. La geometría y estructura de cada uno, así como sus conexiones, permite al sistema completo jugar con el espacio.

En general, muchas ventajas están ligadas a las características del diseño modular. Todo esto pone en alza la importancia de aplicar el diseño modular en un contexto actual donde cada vez los mercados son más competitivos, existen menos recursos y los clientes buscan un producto único con un ciclo de vida prolongado, que se pueda adaptar a sus necesidades presentes y futuras.

### 3.5. Debilidades

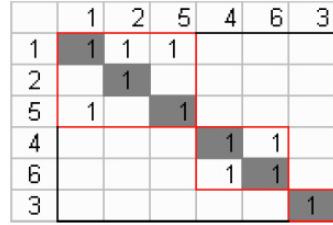
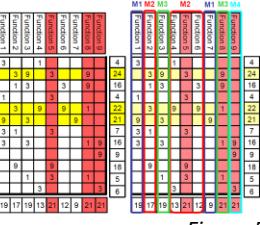
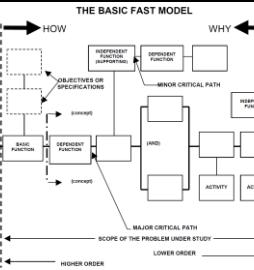
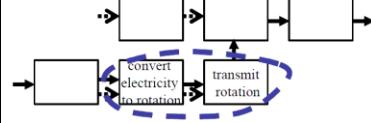
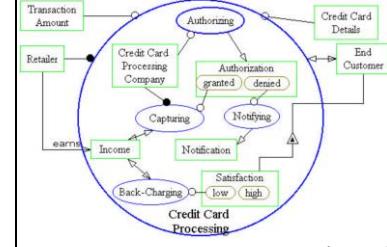
- **Desarrollo inicial.** Un producto modular requiere una fase de diseño y desarrollo mucho más amplia que la de un producto tradicional. Los requisitos del diseño modular obligan a desarrollar otros aspectos esenciales como la jerarquización de funciones (matrices), la organización del sistema, la 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.

## 4. ¿CÓMO SE APLICA?

### 4.1. Métodos actuales

En este apartado se presentan los métodos actuales más implantados para la creación de diseño modular. Dichas metodologías han tenido una gran aplicabilidad durante décadas en diferentes sectores, lo que les ha permitido ser aplicadas, analizadas y mejoradas por diversos investigadores. La *Tabla 2* muestra en detalle estos métodos.

Método y tipo (Autor, año)	Breve descripción	Figura
Matriz de diseño estructural – Design Structure Matrix (DSM). <i>Método basado en matrices.</i> (Tyson R. Browning y Karl T. Ulrich, 1995)	Se colocan los componentes o funciones en los encabezados de fila y columna de la matriz. Éstos se correlacionan entre sí y sus interacciones se marcan tal y como se ve en la <i>Figura 4</i> . Dichas interacciones pueden representar términos espaciales, energéticos, etc. Finalmente, se puede aplicar un algoritmo de agrupación, formando así grupos que son posibles candidatos de módulo del producto final.	 <p>Figura 4</p>
Diseño para fabricación/ensamblaje (DFM / DFA) <i>Método basado en matrices.</i> (Geoffrey Boothroyd, 1983)	Es un enfoque para el diseño de productos cuyo objetivo es disminuir el coste total del producto teniendo en cuenta los tiempos y procesos mediante la valoración de ciertas características como el número de piezas, la dificultad de manipulación e inserción o el tiempo de ensamblaje.	-
Implementación de funciones modulares – Modular Function Deployment (MFD) <i>Método basado en matrices.</i> (Gunnar Erixon, 1998)	MFD se basa en la descomposición funcional y consta de doce controladores de modularidad ( <i>Figura 5</i> ). Se identifican posibles módulos examinando las interrelaciones y el agrupamiento se inicia por las funciones dominantes. También se analizan las oportunidades de integrar múltiples funciones en módulos individuales y se evalúan los conceptos.	 <p>Figura 5</p>
Function Analysis Systems Technique (FAST) <i>Método basado en funciones.</i> (Charles W. Bytheway, 1992)	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 <i>Figura 6</i> ). El proceso se hace en grupo y comienza con unas preguntas para identificar el alcance, la función objetivo y las funciones básicas. La estructura de FAST es similar a un diagrama de flujo, pero en este caso los bloques representan funciones y no pasos de proceso.	 <p>Figura 6</p>
Estructura heurística de funciones – Function Structure Heuristics <i>Método basado en funciones.</i> (Stone, R. B., Wood, K. L. & Crawford, R. H., 2000)	Se basa en una estructura de funciones y su objetivo es separar los módulos de la estructura de una función de un solo producto mediante tres tipos de flujos: los flujos dominantes, los flujos ramificados o los pares de funciones de conversión-transmisión (ver <i>Figura 7</i> ).	 <p>Figura 7</p>
Método OPM (Diagrama Objeto-Proceso) <i>Método basado en funciones.</i> (Dov Dori, 1998)	OPM se basa en un conjunto de objetos y procesos. El diagrama ( <i>Figura 8</i> ) 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, y el comportamiento está representado por los procesos y con cómo éstos transforman a los objetos.	 <p>Figura 8</p>

<p>Ecodiseño basado en modularidad <i>Otro.</i> (Van Hemel, 2002)</p>	<p>La Rueda de la Estrategia del Ecodiseño (<i>Figura 9</i>), de Van Hemel<sup>[37]</sup>, incluye la modularidad como medio de optimización de la vida útil del producto. 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, permitiendo así satisfacer las cambiantes necesidades del usuario.</p>	<p><b>NIVEL DELISTADO PRODUCTO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Optimización del sistema de producción</li> <li>Reducción de impacto ambiental</li> <li>Integración de funciones</li> <li>Optimización de los componentes del producto</li> <li>Optimización de vida útil</li> <li>Flexibilidad y durabilidad</li> <li>Recuperación y reutilización</li> <li>Producción de subcomponentes</li> </ol> <p><b>NIVEL ESTRUCTURA DE PRODUCTO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Reducción del impacto durante el uso</li> <li>Reducción de consumo de energía</li> <li>Fuente de energía más limpia</li> <li>Consumo de agua más eficiente</li> <li>Consumo de materiales más eficiente</li> <li>Consumo de energía más eficiente</li> <li>Consumo de recursos más eficiente</li> <li>Consumo de energía más eficiente</li> </ol> <p><b>NOTA:</b> Se recomienda evaluar que las estrategias de optimización de vida útil y de producción de subcomponentes no se contradicen.</p> <p><b>Figura 9</b></p>
<p>Análisis del ciclo de vida <i>Otro.</i> (Diversos autores y fechas)</p>	<p>Muchos autores inciden en las ventajas del diseño modular en el ciclo de vida del producto. Marcos Echevarría<sup>[7]</sup> lo ilustra en un gráfico (<i>Figura 10</i>) y afirma que cuando se renueva el producto, los módulos son introducidos de manera más rápida y fácil en el mercado. Por otra parte, Timo Lehtonen<sup>[4]</sup> sostiene que se pueden diferenciar tres categorías de la modularidad: basada en la fabricación, en el mantenimiento o en la logística.</p>	<p><b>CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO</b></p> <p>Incubación Crecimiento Madurez Envejecimiento Fin</p> <p>Ganancias → Pérdidas → Tiempo</p> <p><b>Maximizar</b></p> <p><b>Minimizar</b></p> <p>Ahorros de Coste</p> <p>● Asegurar la rápida introducción del producto para aventajar en el mercado</p> <p>● Responder rápidamente al mercado acelerando la curva de crecimiento</p> <p>● Mantener el valor del cliente final con un producto de calidad y desempeño consistente</p> <p>● Expander en nuevos mercados introduciendo mejoras en la mitad de la vida del producto</p> <p><b>Figura 10</b></p>

Tabla 2

## 4.2. Métodos en desarrollo

A continuación, se citan las metodologías que se han considerado que están actualmente en periodo de desarrollo. Algunas se han planteado por primera vez hace años, pero todavía no están instauradas en el desarrollo de productos modulares por lo que siguen siendo estudiadas y analizadas por diversos investigadores mediante su aplicación en nuevos sectores y productos. Otras han sido propuestas recientemente por un autor en concreto de forma teórica y todavía requieren de un desarrollo posterior. La *Tabla 3* muestra en detalle estos métodos.

Método (Autor, año)	Breve descripción	Figura
<p>Matriz de modularización de la marca – Brand modularity matrix (Kevin Otto, 2001)</p>	<p>Los elementos críticos para la identidad de marca deben hacerse comunes en todos los productos de una marca. Para ello, 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 la <i>Figura 11</i>. Las especificaciones técnicas se indican en la parte inferior y las estéticas en la superior. Como resultado, los módulos de cada producto se muestran por colores en cada fila.</p>	<p><b>Figura 11</b></p>
<p>Método FAS (Función-Ensamblaje-Espacio) (Marcos Echevarría Quintana, 2009)</p>	<p>FAS parte de una matriz de relaciones DSM en la que a través de algoritmos matriciales busca el resultado óptimo en la selección de los sistemas. FAS incluye unas fases previas y posteriores al DSM, es decir, a la búsqueda de los módulos.</p>	<p>-</p>
<p>Modelo funcional cuantitativo – Quantitative functional model (Stone, R. B., Wood, K. L., &amp; Crawford, R. H., 2000)</p>	<p>Este método 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 (<i>Figura 12</i>): la primera produce una base de datos, la segunda identifica grupos y la tercera valora los grupos.</p>	<p><b>1-3 Product Database</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Customer Needs Rating</li> <li>Create product vector</li> <li>Form product function matrix</li> <li>Form product function matrix</li> <li>User –&gt; Create a new product design based on complex numerical items and their relationships between needs and complexity between products</li> </ul> <p><b>4 Product Families</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identify families</li> <li>Compare product families</li> <li>Identify families</li> <li>Identify families</li> <li>User –&gt; Identify families based on product needs rating for a module</li> </ul> <p><b>5 Conglomerate Customer Needs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identify families</li> <li>Identify families</li> <li>Identify families</li> <li>Identify families</li> <li>User –&gt; Create customer needs rating for a group of sub-functions defining a new product architecture based on module product architecture</li> </ul> <p><b>Figura 12</b></p>

Tabla 3

## 4.3. Teorías

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 identifican dos teorías: la teoría de los policubos y la fabricación 4.0. No obstante, la primera se centra en el ámbito de la arquitectura y no se ha considerado de tanto interés como la segunda, en la que se ha decidido profundizar más.

La *Teoría de los policubos* es una rama de las matemáticas que estudia el comportamiento de unidades modulares cúbicas, tal que unidas por sus caras configuran formas en el espacio tridimensional. Esta teoría ya ha sido estudiada en diversas investigaciones por su potencial aplicabilidad en el ámbito de la arquitectura, pero su desarrollo en la aplicación todavía no ha dado lugar a la existencia de una metodología basada en ella.

Ignacio Rojas y Gonzalo Joya<sup>[38]</sup> establecen algunos puntos sobre la *fabricación* del futuro que pueden llegar a estar íntimamente relacionados con el diseño modular, como la integración de la información del ciclo de vida, 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, el análisis de los prosumidores y el diseño para la industria 4.0.

Dada la importancia de la *fabricación* en la producción de un producto y su evidente relación con la modularidad se decide estudiar cuál es la evolución de la fabricación 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 estudian los siguientes conceptos: *industria 4.0*, *cultura maker* y *usuario prosumer*. Con esto, 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.

La *Industria 4.0* es una nueva forma de organizar los medios de producción y puede suponer la cuarta revolución industrial. 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. Una de las bases tecnológicas en las que se apoya esta orientación es la *Cultura maker (DIY)*, un movimiento actual basado en que el principio de “hazlo tú mismo” (*Do It Yourself*) que incita al usuario a tomar parte de la producción y promueve la idea de que todo el mundo es capaz de desarrollar cualquier tarea en vez de contratarla. Se trata de un movimiento en el que los métodos de fabricación digital se hacen accesibles a escala personal. El término creció hasta llegar a ser una industria basada en el creciente número de *usuarios prosumer* que querían construir algo en lugar de comprarlo, agregando así un mayor valor al producto, material o servicio. Estos usuarios son a la vez productores y consumidores, llegando así a fabricar parcialmente los productos que consumen. 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.

## 5. ¿QUIÉN LO APLICA?

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. La fase comienza con una búsqueda y recopilación 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, se analizan los sectores que mayor relación tienen con el diseño modular, así como los que podrían tener una futura relación potencial.

### 5.1. Casos documentados

La *Tabla 4* muestra una lista de 19 casos documentados en otras investigaciones. De cada caso se citan los datos más importantes y un breve resumen.

Caso (Producto, empresa y sector)	Resumen
Sperry-Sun Drilling Services [1] (Sensores electrónicos, Sperry-Sun Drilling Services, Maquinaria)	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. Para ello optó por una estrategia basada en una filosofía de producto modular.
Crosfield Electronics [1] (Escáner digital, Crosfield Electronics, Electrónico e impresión)	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.
Ford Motor Company [1] (Motores de vehículos, Ford Motor Company, Automoción)	Ford reestructuró su proceso empresarial a escala mundial bajo el nombre de Ford 2000, que incluía el Sistema de Desarrollo de Productos Ford (FPDS), que permitía efectuar cambios fácilmente en el proceso a través de la manipulación flexible de la producción.
British United Shoe Machinery [1] (Equipo de fabricación de calzado, British Shoe Machinery, Maquinaria)	Ante su expansión en el mercado global la empresa BUSM pasó de fabricar complejas máquinas altamente funcionales a productos más simples y baratos que requerían operadores menos capacitados.
The modular system in truck manufacturing: The SAAB-SCANIA [39] (Camión Scania, SAAB, Automoción)	El caso de Scania es uno primeros casos de diseño modular y su objetivo era hacer camiones modulares. Se desarrollaron ocho tipos de cabinas gracias al uso de módulos estandarizados que permitían realizar una nueva variante en un tiempo mínimo.
The case of Sony Walkman [40] (Walkman, Sony, Electrónico)	Este caso es un clásico ejemplo de éxito gracias al uso de plataformas modulares. Sony consiguió crear más variantes de producto mediante la adición de módulos a una plataforma, lo que le aportó un gran éxito en el mercado.
Volkswagen platform strategy [41] (Turismo, Volkswagen, Automoción)	Las múltiples líneas de vehículos Volkswagen usan plataformas de producto para crear familias de productos. La empresa ha conseguido desarrollar una estrategia modular que ha evolucionado con el tiempo, respondiendo siempre a las necesidades del mercado.
Modular German submarine [42] (Submarino, Ejército alemán, Transporte)	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.
Locomotive Dash 2 Series [43] (Locomotora, General Motors, Transporte)	Las locomotoras Dash 2 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.
Merima Ltd [44] (Organización logística, Merima Ltd., Mobiliario)	Merima Ltd aplicó la modularidad en el diseño y logística de un restaurante destinado a ser instalado en un barco. Para ello, se montaba el restaurante en las instalaciones, se desmontaba, era transportado en módulos y entregado con instrucciones de montaje.
Tunnel drilling rig [4] (Plataforma de perforación para túneles, Tamrock y Jumbo, Maquinaria)	Se trata de un proyecto de investigación en el que 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.
Diesel locomotive [4] (Locomotora, Valmet, Transporte)	La locomotora Valmet fue diseñada y fabricada con una estructura modular, que le permitía ser modificable y tener usos múltiples. Esta modularidad está basada en el montaje y facilitaba el mantenimiento en general, con un ahorro del 30%.
Passenger ship [4] (Barco de pasajeros, Agencia Finlandesa de Financiación para la Tecnología, Transporte)	Es un proyecto que busca mejorar la eficiencia de la 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.
Safe box [4] (Caja fuerte, Kaso Oy, Maquinaria)	Se trata de un proyecto en el que se examinaron las familias de productos de cajas de seguridad con el objetivo de descubrir las oportunidades para pasar de la producción de modelos estándar a la producción de productos configurables.
Machine tool [4] (Máquina herramienta (Twin-Mill), Fastems Oy, Maquinaria)	La empresa llevó a cabo un proyecto de desarrollo modular cuyo objetivo era definir la estructura de la máquina herramienta de Twin-Mill, donde fue posible implementar una división de módulos basada sus funciones y crear una gama de productos configurables.

Ambulance [4] (Ambulancia, Profile Vehicles Oy, Transporte)	Es un proyecto en el que se realizó y evaluó la estructura funcional de la ambulancia y se hicieron unos listados de sus funciones principales. Así pues, se examinaron las oportunidades de crear una estructura modular a partir de la estructura funcional.
Forestry machine [4] (Máquina forestal, Ponsse Oy, Maquinaria)	La empresa Ponsse creó unos módulos que no estaban centrados solamente en el montaje, sino también en la funcionalidad. Varios de los módulos eran conjuntos de piezas situadas alrededor de la máquina que no podían montarse por separado.
Volvo trucks [6] (Camiones configurables, Volvo, Automoción)	Volvo desarrolló un sistema de configuración para su gama de camiones en el marco del proyecto CATER (2006) cuyo objetivo era la creación de redes de negocios y personalización masiva en la industria automovilística.
Micro Compact Car (MCC) [45] (Coche compacto SMART, Micro Compact Car (Daimler), Automoción)	MCC estableció diversas relaciones entre los procesos de desarrollo de las familias de producto, las arquitecturas de productos y una organización modular multimarca para dar lugar a una organización de proyectos de desarrollo modular colaborativo.

Tabla 4

## 5.2. Casos recientes

Como se ha podido comprobar en el apartado anterior, 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, existen más sectores de la industria relacionados con el diseño modular. Por ello, la *Tabla 5* muestra 10 casos recientes correspondientes a dichos sectores. Se han incluido dos casos representativos para cada sector (automoción, arquitectura, mobiliario, juguetería y electrónico) 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.

Caso (Producto, empresa y sector)	Resumen
Grupo PSA (Peugeot-Citroën) [46] (Plataforma para varios modelos compactos, Grupo PSA, Automoción)	PSA busca fabricar en la misma plataforma de producto los modelos más compactos de las cuatro marcas que controla. La compañía ha presentado dos plataformas globales modulares que son compatibles con los medios industriales puestos en marcha en el programa <i>La Fábrica del Futuro</i> : la CMP (Common Modular Platform) y la EMP2.
Renault Mégane [47] (Renault Mégane, Renault, Automoción)	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. Ofrece un interior con un abanico de opciones que se adaptan a las necesidades del usuario.
BoKlok [48] (BoKlok, IKEA, Arquitectura)	BoKlok es un concepto de vivienda cuyo objetivo es construir bloques de pisos y casas para personas con una baja economía. Para ello, desarrollan casas modulares de escasos metros cuadrados haciendo que sean espaciosas y asequibles al mismo tiempo.
Blokable [49] (Blokable, Amazon, Arquitectura)	Blokable desarrolla módulos de construcción prefabricados (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.
Productos IKEA (BESTÅ, estanterías y mobiliario infantil) [50] (Productos IKEA, IKEA, Mobiliario)	IKEA tiene varios ejemplos de aplicación de diseño modular en sus productos: el mueble BESTÅ, un conjunto de módulos con medidas estandarizadas; las estanterías, de diferentes medidas y colores; y el mobiliario de almacenamiento infantil, son algunos.
Ori Systems [51] (Ori Systems, MIT, Mobiliario)	Es un mueble modular escalable que cambia de forma, creando espacios más eficientes. Su objetivo es hacer la vida más asequible, productiva y agradable para sus usuarios. Este versátil mueble da lugar a distintas estancias, como una habitación o un estudio.
Mind Storms [52] (Mind Storms, LEGO, Juguetería)	Es una línea de juguetes de robótica que funciona con 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.
Meccano [53] (Meccano, Meccano, Juguetería)	Meccano es un sistema de construcción de modelos a través del ensamblaje de 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.
GoldieBlox [54] (GoldieBlox, GoldieBlox, Juguetería)	GoldieBlox ofrece juguetes que se venden en forma de kit y que incorporan piezas modulares de construcción de estructuras. Así, estos juguetes introducen conceptos de ingeniería a través de la narración y la construcción.
Modular Smartphone [55] (Varios productos, varias empresas, electrónica)	Es un teléfono inteligente fabricado con diferentes módulos que se pueden actualizar o reemplazar con el fin de reducir los residuos electrónicos, los costos de reparación y aumentar la comodidad del usuario. El componente más importante es la placa principal, a la que se conectan los módulos (procesador, batería, cámara, GPS, etc.). Algunas marcas como Motorola, LG o Google ya han trabajado en este ámbito.

Tabla 5

### 5.3. 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 el 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). De este modo, la *Figura 13* muestra la relación entre el diseño modular y los diversos sectores de la industria.

<b>TIENEN (MUCHA) RELACIÓN DIRECTA</b>	<b>RELACIÓN POTENCIAL</b>	<b>NO PUEDEN TENER RELACIÓN</b>
<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>	<b>RELACIÓN A TRAVÉS DE OTROS SECTORES</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bienes de equipo y electrodomésticos</li> <li>· Energético</li> <li>· Servicios informáticos (apps..)</li> </ul>	<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>

*Figura 13*

Así pues, mediante estas tablas se puede saber orientativamente qué sectores industriales tienen en la actualidad 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 muestran los 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.

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. Conclusiones de otros autores

- Las conclusiones muestran la importancia de la modularidad y el marco en el que se sitúa, que responde a las grandes necesidades industriales para hacer frente a las necesidades de los clientes, las nuevas tecnologías y la fabricación ágil.<sup>[1]</sup>
- 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.<sup>[3]</sup>
- 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.<sup>[4]</sup>
- 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.<sup>[4]</sup>
- 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.<sup>[4]</sup>
- Se ha 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.<sup>[6]</sup>
- 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, logística, sistemas de distribución, etc. Sería una buena práctica comercial evaluar las estrategias de producción de las empresas basadas en el proceso de configuración.<sup>[6]</sup>
- De acuerdo con los trabajos de investigación de reciente publicación que se han consultado para el estado del arte (...) se identifica la necesidad de explorar la fase conceptual de diseño desde un punto de vista estandarizado y modular.<sup>[7]</sup>
- 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.<sup>[7]</sup>
- La creciente demanda de productos personalizados está empujando a las empresas 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.<sup>[56]</sup>
- 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.<sup>[56]</sup>

## 6.2. Conclusiones del proyecto

- Los estudios encontrados coinciden en la necesidad de aplicar el diseño modular en el contexto actual, con variables como un mercado competitivo, menos recursos, más exigencias de clientes y empresas, y el deseo de personalización del producto.
- En la revisión realizada no se ha encontrado ninguna definición precisa sobre el diseño modular. En su lugar, todas las investigaciones se centran en definir conceptos relacionados como modularidad, arquitectura y plataforma de producto.
- Popularmente se tiende a confundir el diseño modular por productos que se basan en la repetición de piezas o por familias de productos que ni siquiera tienen piezas intercambiables. 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. Es por ello que la modularidad de los productos, servicios y procesos es un factor clave en el desarrollo tecnológico, económico y social.
- 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 hacer que el proceso de fabricación más adaptable al cambio. Los sectores donde más se ha desarrollado y está evolucionando son: automoción, arquitectura, mobiliario, electrodoméstico, electrónico, juguetería, energético e informático. Además, su uso en algunos sectores ha dado lugar a nuevos conceptos como *kit car* –automoción–, *kit house* –en arquitectura– o *modular smartphone* –en electrónica–.
- 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. Sus desventajas radican en: el desarrollo inicial, el rendimiento, la reutilización de ciertas piezas, la dificultad de conectividad, la usabilidad y el análisis.
- Los métodos existentes se pueden dividir tres tipos: métodos actuales, en desarrollo y teorías. De los métodos actuales se diferencian los métodos basados en matrices y los métodos basados en funciones.
- Pocos métodos 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 dirigidos a hacer un análisis funcional del producto orientado al estudio de las causas finales (teleología).
- Se ha detectado una potente relación del diseño modular 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, pudiéndose 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 se detecta la necesidad de llevar a cabo una evolución del diseño modular centrado en este ámbito por el interés que supone trabajar el diseño y la fabricación de forma conjunta teniendo en cuenta los usuarios futuros, la sociedad, la industria y el nivel de personalización del producto.

## 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### 7.1. 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 comprobado en el estudio del ecodiseño basado en la modularidad, el diseño modular tiene una estrecha relación con la sostenibilidad y el ecodiseño. Por otro lado, numerosas ventajas que presenta el diseño modular están vinculadas al desarrollo de productos más sostenibles dentro del contexto de la economía circular. 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<sup>[37]</sup>, “*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)<sup>[7]</sup> afirma que “*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*”. 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.

### 7.2. Evolución de los métodos actuales

Actualmente existen numerosas metodologías para aplicar el diseño modular, muchas de ellas ya consolidadas y validadas desde hace décadas y otras todavía están en desarrollo. Numerosas investigaciones hacen referencia a la necesaria continuación del desarrollo de sus metodologías estudiadas, como por ejemplo el caso de Timo Lehtonen,<sup>[4]</sup> quien afirma en su tesis 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<sup>[7]</sup>, que mantiene 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 en el que se encuentran actualmente dichas metodologías, se ha identificado la necesidad de desarrollarlas y seguir evolucionándolas 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, por lo que existe una gran oportunidad en este aspecto de desarrollar un nuevo método con su modelo apoyado en la fase conceptual.

### 7.3. 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. 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<sup>[1]</sup> ya notificó la importancia de la modularidad dentro de la producción industrial afirmando que: “*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<sup>[4]</sup> 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, lo que hace que el diseño modular sea un gran hito en la cultura maker y, especialmente, para los usuarios *prosumer*, 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)<sup>[44]</sup> 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).

## 8. VALORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto ha incluido las fases necesarias para su resolución y el alcance de los objetivos. Dividir el tema en tres preguntas clave ha hecho posible abordar el estado del arte de una forma global y completa, lo que ha permitido conocer su importancia en la actualidad y el estado de su evolución, estableciendo así el punto de partida de la futura línea de investigación. Todas las fases se desarrollaron de manera satisfactoria, aunque la de definición y la de búsqueda metodológica requirieron más tiempo del estimado. En consecuencia, fue necesario modificar la planificación inicial. A excepción del tiempo, durante el desarrollo del proyecto no surgió ninguna otra incidencia.

Mediante este proyecto se ha conseguido detallar el estado del arte del diseño modular y, consecuentemente, se han obtenido unas conclusiones y planteado unas futuras líneas de investigación, cumpliendo así con los objetivos principales. La principal aportación de este TFM radica en el estado del arte, que incluye el estudio de las metodologías y aplicaciones. Por otra parte, este proyecto también aporta un estudio del contexto que se relaciona con el tema principal que ha permitido ultimar con unas conclusiones y unas líneas de investigación de gran interés para su posible futuro desarrollo, por lo que la posibilidad de continuación del proyecto es muy alta.

En definitiva, ha sido un proyecto muy instructivo a nivel personal por haber abordado de forma individual todo su proceso. El hecho de haber realizado el proyecto de manera independiente y con la necesidad de cumplir un plazo, ha requerido una estricta planificación. Definitivamente, se ha obtenido la suficiente experiencia como para poder desarrollar otros proyectos similares a nivel profesional.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS

- [<sup>1</sup>] Marshall, Russell (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation*. (Doctoral Thesis). Loughborough University, UK.
- [<sup>2</sup>] Erixon, Gunnar (1998). *Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation*. (Doctoral Thesis). The Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.
- [<sup>3</sup>] Hölttä-Otto, Katja (2005). *MODULAR PRODUCT PLATFORM DESIGN*. (Doctoral Dissertation). Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.
- [<sup>4</sup>] Lehtonen, Timo (2005). *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. (Doctoral Thesis). Tampere University of Technology. Tampere, Finland.
- [<sup>5</sup>] Smith, Robert Joseph (2009). *THE IMPACT OF MODULAR DESIGN ON PRODUCT USE AND MAINTENANCE*. (Doctoral Thesis). Georgia Institute of Technology. Atlanta, EE.UU.
- [<sup>6</sup>] Shamsuzzoha, AHM (2010). *Modular Product Development for Mass Customization*. (Selection of Articles). University of Vaasa. Vaasa, Finland.
- [<sup>7</sup>] 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.
- [<sup>8</sup>] 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.



- [9] Stone, R. B., Wood, K. L., & Crawford, R. H. (2000). *Using quantitative functional models to develop product architectures*. Design Studies, 21 (3), 239–260.
- [10] Sudjianto, A., & Otto, K. (2001). *MODULARIZATION TO SUPPORT MULTIPLE BRAND PLATFORMS*. ASME Design Engineering Technical Conferences.
- [11] 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.
- [12] Kashkoush, M., & ElMaraghy, H. (2016). *Optimum Overall Product Modularity*. 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), 55-60.
- [13] Ramos, P. (abril de 2017). *Uno de los impulsores de Amazon Go vende casas modulares 'a domicilio'*. El Mundo. Recuperado de <http://www.elmundo.es/economia/vivienda/2017/04/13/58ecea4f22601db13b8b45a7.html>
- [14] 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)
- [15] Clipset. (abril 2017). *Lenovo Moto Z, un móvil modular con picoproyector*. 20minutos. Recuperado de <http://www.20minutos.es/videos/tecnologia/prBVXY58-lenovo-moto-z-un-movil-modular-con-picoproyector/>
- [16] Terrasa, 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/>
- [17] Rodriguez, P. (abril de 2017). *Swidget, el sistema modular que añade inteligencia a los enchufes de casa*. Xataka. Recuperado de <https://www.xatakahome.com/domotica/swidget-el-sistema-modular-que-quiere-anadir-inteligencia-a-los-enchufes-de-la-casa>
- [18] Baldwin, C. Y., & Clark, K.B. (2000). *Design Rules: The Power of Modularity*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- [19] 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.
- [20] Ulrich, K., & Tung, K. (1991). *Fundamentals of Product Modularity*. Management of Design, 219-231.
- [21] Lonnie R. Morris (2015). *Handbook of Research on Instructional Systems and Educational Technology*. The Chicago School of Professional Psychology, USA.
- [22] 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)
- [23] Erixon, G. (1996). *Design For Modularity*. Huang, G Q, Chapman & Hall, ISBN. Design for X (pp. 356-379).
- [24] Baldwin, C. Y., & Clark, K.B. (1997). *Managing in an Age of Modularity*. Harvard Business Review, 83-94.
- [25] Hubka, V. & Eder, E. W. (1988). *Theory of technical systems*. 2nd ed. Springer-Verlag.
- [26] Salhieh, S. M. & Kamrani, A. K. (1999). Macro level product development using design for modularity. *Robotics and Computer integrated manufacturing*, 15, 319-329..
- [27] O'Grady, P. (1999). *The age of modularity*. Adams and Steele Publishers.
- [28] 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.



- [29] Gershenson, J. K., & Prasad, G. J. (2001). *Product Modularity and its effect on Service and Maintenance*. Maintenance and Reliability Conference.
- [30] Maier, M. W. & Rechtin, E. (2000). *The art of systems architecting*. 2nd ed. CRC Press.
- [31] 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.
- [32] Meyer, M. H. & Lehnerd, A. P. (2000). *The power of product platforms*. The Free Press. New York.
- [33] Muffato, M. (1999). *Introducing a platform strategy in product development*. International Journal of Production Economics. 60-61. pp. 145-153.
- [34] McGrath M. E. (1995). *Product Strategy for High-Technology Companies*. New York: Irwin Professional Publishing.
- [35] Otto, K. & Wood K. (2001). *Product Design: techniques in reverse engineering and new product development*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- [36] Simpson, T. W., Maier, J. R. A., & Mistree, F. (2001). *Product platform design: method and application*. Res Eng Design, 13, 2-22.
- [37] Van Hemel, C., & Cramer, J. (2002). *Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs*. Journal of Cleaner Production (10), 5, 439-453.
- [38] Rojas, I., & Joya, G. (2016). *Advances in Computational Intelligence*. 14th International Work-Conference on Artificial Neural Networks, IWANN 2017, Cadiz, Spain.
- [39] Sjöström, S. (1990). *The modular system in truck manufacturing: The SAAB-SCANIA Griffin*.
- [40] Sanderson, S. & Uzumeri, M. (1995). *Managing product families: the case of Sony Walkman*. Research Policy. 24. pp. 761-782.
- [41] Rendell, J. (2001). VW top, but others are catching up fast. Automotive world. pp. 26-34.
- [42] Williamson, G. (2005). *Wolf Pack – The story of the U-Boat in World War II*. Osprey Publishing, Wellingborough (UK).
- [43] Kerr, J. W. (2004). *Phenomenical SD40 series Diesel-Electric Locomotives*, Delta Publications.
- [44] Taneli, H. (2007). *Laivan matkustajatilojen suunnittelun uudelleenkäytön hyödyntäminen vakioinnin ja moduloinnin keinoin*. MSc-thesis, Tampere University of Technology, 2007.
- [45] 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.
- [46] 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>
- [47] 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>
- [48] IKEA. (junio de 2017). *Web oficial de Boklok*. Recuperado de <https://www.boklok.com>
- [49] Amazon. (junio de 2017). *Web oficial de blokable*. Recuperado de <http://www.blokable.com/>
- [50] IKEA. (junio de 2017). *Web oficial de IKEA*. Recuperado de <http://www.ikea.com/es/es/>
- [51] Ori Systems. (junio de 2017). *Web de Ori Systems*. Recuperado de <https://www.orisystems.com/>

- [52] LEGO MindStorms. (junio de 2017). *Web oficial de LEGO*. Recuperado de <https://www.lego.com/es-es/mindstorms>
- [53] Wikipedia. (junio de 2017). *Meccano*. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Meccano>
- [54] Goldie Blox. (junio de 2017). *Web de Goldie Blox*. Recuperado de <https://www.goldieblox.com/>
- [55] Wikipedia. (junio de 2017). *Modular smartphone*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Modular\\_smartphone](https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_smartphone)
- [56] 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).

## 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)
- 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.
- 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)
- 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.
- 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/>
- 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., Garcia Lozano, R., Martínez Gasol, C., Oliver Solà, J., & Riera de Vall Pons, J. (2010). *Ecodiseño: Aplicaciones, metodología y estudio de casos en envases*. Institute of Environmental Science and Technology (ICTA).
- 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)
- 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.
- Interempresas. (marzo de 2017). *Aleco 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>
- 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)
- 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.
- Renault. (2010). *MEGANE SPORT TOURER: DRIVE THE CHANGE*. Publicis VERBE.
- 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.
- 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-teora.html>
- 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.
- Sivaloganathan, S., Ebvumwan, N. F. O., Jebb, A., & Wynn, H.P. (1995). *Design function deployment- a design system for the future*. Design Studies, 16, 447-47.
- 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.
- 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.
- Universidad Nacional de La Plata (UNLP). (2005), *Estrategias de Ecodiseño* (Artículos traducidos), La Plata (Argentina), UNLP.
- 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). *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). *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)
- Wixson, J. R. (1999). *Function Analysis and Decomposition using Function Analysis Systems Technique*. INCOSE International Symposium. 9.