

03-004

THE PRINCIPLES OF CIRCULAR ECONOMY IN PRODUCT ENGINEERING

Fernandez Alcala, Jose
Maria Ihobe

Circular economy is defined as the one that aims to produce goods and services while reducing the consumption of raw materials, water and energy. It is therefore an economic concept which seeks to implement a new economy - not a linear one, based on the principle of "closing the life cycle" of products, services, waste, materials, water and energy. A circular economy has important implications for the management of product engineering, which is enriched with principles such as extended producer responsibility or ecodesign. New design strategies, such as design for reuse, recycling, remanufacturing or renovation and modernization of the product have to be taken into account from the early stages of design. This concept allows to extend the life cycle of the product, at the same time creating new jobs and businesses associated with the recovery of the product as a whole, component parts, materials and raw materials, inserting all new in circular concept of the activity associated with product engineering.

Keywords: *Circular economy; remanufacturing; reuse; design; product.*

LOS PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INGENIERÍA DE PRODUCTO

Se entiende por economía circular a aquella que tiene por objetivo la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo de materias primas, agua y energía. Es por tanto un concepto económico que persigue implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de "cerrar el ciclo de vida" de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía. Una economía circular presenta importantes implicaciones en la gestión de la ingeniería del producto, que se ve enriquecida con principios como la responsabilidad extendida del productor o el Ecodiseño. Nuevas estrategias de diseño, como el diseño para la reutilización, el reciclaje, la remanufactura o la renovación y modernización del producto han de ser tenidas en cuenta desde las tempranas fases de diseño. Este concepto permite alargar el ciclo de vida del producto, al mismo tiempo que crea nuevos empleos y negocios asociados a la recuperación del producto en su conjunto, las piezas que lo componen, los materiales y las materias primas básicas, insertando todos ellos de nuevo en un concepto circular de la actividad asociada a la ingeniería de producto.

Palabras clave: *Economía circular; remanufactura; reutilización; diseño; producto.*

Correspondencia: Jose María Fernandez Alcala jose_maria.fernandez@ihobe.net

1. INTRODUCCIÓN

Hay múltiples definiciones de lo que se entiende por una economía circular en la literatura. La Fundación Ellen MacArthur (2013) define la economía circular como un sistema vivo que crea valor asociado al uso de los productos, en vez de asociado al consumo de recursos y energía. Para ello, sostiene que la durabilidad de los productos y recursos es la clave. Principios básicos de la economía circular son utilizar recursos naturales y no tóxicos, el diseño para el desmontaje y emplear energías de origen renovable.

Para la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (2012) y el Gobierno de Holanda (2014), una economía circular es un sistema económico basado en la reutilización de productos y materiales, así como en la conservación de los recursos naturales. También se esfuerza por lograr la creación de valor para las personas, la naturaleza y la economía en cada parte del sistema.

De forma teórica, una economía es circular cuando los materiales circulan infinitamente. Esto significa que el sistema económico funciona a través de los principios ecológicos, según los cuales:

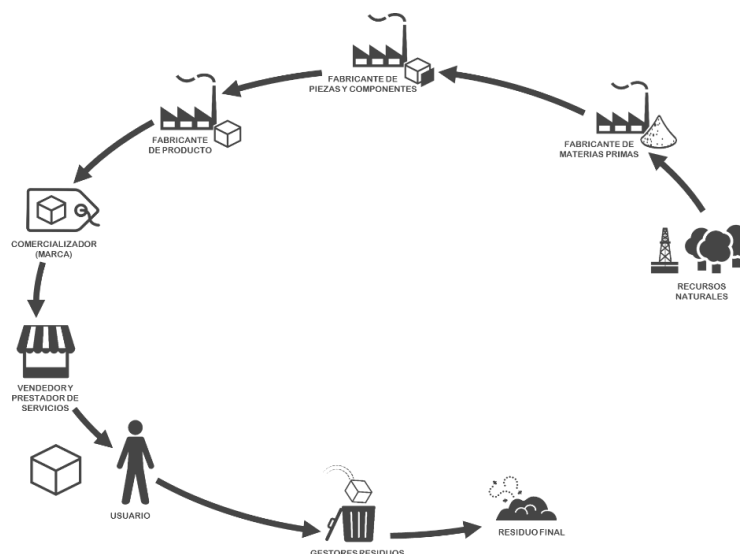
- Todos los recursos pueden ser utilizados en otras partes del sistema económico de forma sostenible (limpio, seguro y socialmente responsable) y todos los residuos se utilizan como recurso;
- Los recursos renovables y el uso más inteligente de los actuales procesos físicos se convierten en la base de la economía;
- La minería de los recursos biológicos y geológicos se realiza de forma sostenible;
- La energía consumida es de origen renovable; y
- Nuevos tipos de organizaciones y modelos de negocio surgen para hacer esto posible.

Fruto de todo ello, la Comisión Europea (2013) considera que la economía circular puede aportar oportunidades reales en la creación de empleo en Europa.

Economía circular aplicada a la ingeniería de producto

Los principios de la economía circular también son aplicables a la ingeniería de producto. Todo producto dispone de un Ciclo de Vida que comienza con la obtención de materias primas y componentes necesarios para su fabricación a partir de recursos naturales, pasando por su montaje, distribución, comercialización, uso por parte del cliente que adquiere dicho producto y fin de vida una vez que dicho producto es desechado y se convierte en un residuo que es necesario gestionar. Este ciclo de vida de producto queda esquematizado en la figura 1.

Figura 1.- Ciclo de Vida de un producto



Este ciclo de vida así definido constituye un sistema ineficiente que no es capaz de cerrar el ciclo de los materiales. Por lo tanto, en una economía circular, como punto de partida debiéramos asegurar que se produjera la reutilización de ese residuo final, convirtiéndolo en nuevas materias primas que reintegrar al proceso constructivo, reduciendo, e idílicamente eliminando por completo, la cantidad de recursos naturales a extraer. Este sería el primero de los anillos en la circularidad de ese nuevo modelo económico, el relativo a la gestión de los residuos.

Sin embargo, existen otros anillos que son posibles cerrar en este sistema de producto, asociados a un mayor uso del producto, asegurando su recirculación en el sistema antes de que el producto se haya convertido en un residuo. Todos ellos constituyen la aplicación de la economía circular aplicada a la ingeniería de producto.

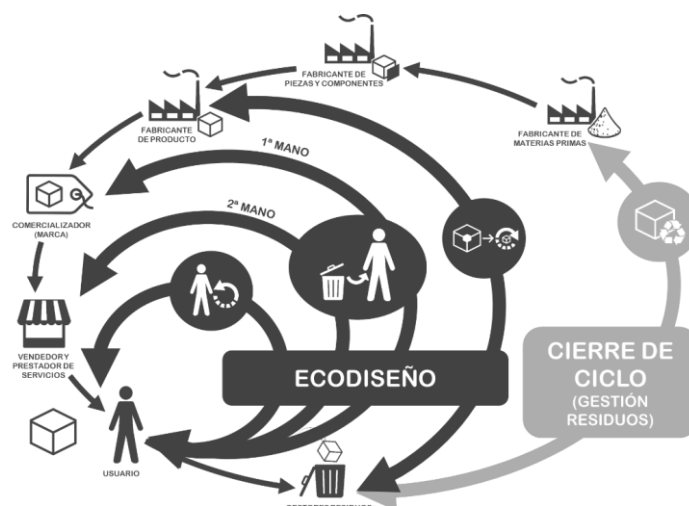
2. OBJETIVOS

El objetivo de la presente ponencia es identificar las estrategias de actuación que desde la ingeniería de producto pueden favorecer los principios de una economía circular. Tal y como se detalla en la figura 2, partiendo del concepto del ciclo de un producto, es posible trazar hasta cinco cierres de anillo entre las diferentes etapas identificadas para así poder asegurar la mayor circularidad posible de los recursos y por tanto de los conceptos económicos aplicados al producto. Esto se materializa en una serie de estrategias, que son:

- Aumentar la vida útil del producto (mismo usuario)
- Fomentar la reutilización del producto (nuevo usuario y a través de mercados de segunda mano).
- Asegurar la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado (nuevo usuario).
- Fomentar la recuperación parcial del producto (piezas y/o componentes)
- Asegurar el reciclaje de las materias primas del producto (gestión de residuos)

Todas ellas pueden verse reforzadas desde un adecuado diseño en la fase de ingeniería de producto. Las cuatro primeras están íntimamente relacionadas con el Ecodiseño, metodología de diseño de producto que, tomando en consideración el comportamiento ambiental del mismo a lo largo de todo su ciclo de vida, persigue el desarrollo de nuevos productos que minimicen su impacto ambiental. En el Ecodiseño, dos áreas prioritarias de actuación son las relativas al “diseño para prolongar la vida útil del producto”, así como el “diseño para un adecuado fin de vida”. La quinta estrategia, la relativa al cierre del ciclo asociada a la gestión de residuos, está principalmente en manos de las empresas dedicadas a la obtención de materias primas secundarias, gestores de fin de vida, recicladores y procesadores de materias primas de origen reciclado. Sin embargo, como podremos ver más adelante, también es posible facilitar su aplicación desde el diseño de producto.

Figura 2.- Anillos en la circularidad del Ciclo de Vida de un producto



3. METODOLOGÍA

A continuación, se analiza en mayor profundidad las diferentes estrategias de actuación que son aplicables desde el diseño del producto, en base a los diferentes anillos de circularidad en la economía asociada a un producto descritos en la figura 2.

3.1. ¿Cómo aumentar la vida útil del producto? (mismo usuario)

El punto de partida hacia la economía circular aplicada al producto comienza durante la fase de uso o utilización por parte del cliente que lo adquiere o bien simplemente accede al mismo. En la medida en que ese producto es retenido por parte de su usuario por más tiempo, aseguramos una mayor eficiencia en el uso de los recursos que han sido necesarios para su obtención.

Para poder aumentar la vida útil del producto se identifican a su vez tres subestrategias:

- **Diseño para la durabilidad**

Entendemos por vida técnica de un producto, la duración estimada de un producto en condiciones normales de uso y predefinida en la fase de diseño. El diseño para la durabilidad es la estrategia de diseño cuyo objetivo es alargar esta vida técnica del producto, asegurando un diseño robusto de los componentes que permita una mayor durabilidad del mismo.

El diseño para la durabilidad se plantea como estrategia contraria al concepto de “obsolescencia programada”, cuyo objetivo es reducir intencionadamente desde el diseño la vida técnica de un producto, para así poder incrementar sus ventas.

Para la aplicación del diseño para durabilidad, existen una serie de recomendaciones genéricas de diseño, recogidas en la tabla 1.

Tabla 1.- Pautas de actuación en el “diseño para el durabilidad”

 Diseño para la DURABILIDAD	
-	Establecer un diseño de producto robusto que asegure la durabilidad tanto del producto en su conjunto como de aquellos componentes críticos.
-	Asegurar largas disponibilidades de repuestos del producto.
-	Prescribir dispositivos de soporte de producto (conectores, sistemas operativos, suministros,...) unificados y no cambiantes en el tiempo.
-	Prescindir de cromados y otros acabados superficiales que con el uso puedan deteriorarse, dando lugar a una imagen poco atractiva del producto.
-	Si el producto dispone de iconografía sobre el mismo para su adecuado manejo (mando de instrucciones, accionamientos,...) es preferible grabar dichos elementos que utilizar sistema de impresión que con el uso y la limpieza puedan borrarse (haciendo más difícil el manejo por parte del usuario).

- **Diseño para la fidelización**

Estrategia de diseño cuyo objetivo es aumentar el grado de relación afectiva entre el usuario y el propio producto, para asegurar que el producto no sea desechado voluntariamente por el usuario del mismo antes de la vida técnica estimada. En muchas ocasiones y debido a presiones emocionales o de tendencias de mercado incitadas por los propios fabricantes, los productos son desechados antes de cumplir su vida técnica de forma voluntaria por su usuario. Un diseño clásico de producto (no afectado por las modas) que sea capaz de crear un lazo de afectividad con el usuario, permitirá que la vida real del producto sea próxima a su vida técnica.

El diseño para la fidelización se plantea como estrategia contraria al de la “obsolescencia percibida”, cuyo objetivo es que el producto sea desechado de forma voluntaria antes incluso del fallo técnico del producto.

La tabla 2 recoge algunas pautas de actuación en la fase de diseño para asegurar el diseño para la fidelización de un producto.

Tabla 2.- Pautas de actuación en el “diseño para la fidelización”

 Diseño para la FIDELIZACIÓN	
-	Establecer un diseño de producto clásico, no afectado por las modas cambiantes.
-	Si no se desea un diseño clásico, plantear un diseño que pueda ser fácilmente reconfigurado por el cliente a las nuevas tendencias (colores, acabados superficiales,...).
-	Establecer una fuerte relación de pertenencia entre el producto y cliente, de tal modo que se trabaje la idea del no rechazo a dependerse del mismo por parte del cliente.
-	Establecer un diseño de producto modular y ampliable/reducible en tamaño y prestaciones, de forma que pueda adaptarse a nuevos requerimientos de cliente.
-	Diseño de producto flexible, que sea capaz de dar adaptarse a necesidades cambiantes del cliente (en función de su evolución).

• Diseño para la reparabilidad

Estrategia de diseño orientada a facilitar el mantenimiento y reparabilidad del producto en caso de fallo o avería. Un mal uso del producto o el simple fallo accidental del mismo no es motivo para que un producto deba ser necesariamente desechado. La reparabilidad de un producto debe ser analizada desde la fase de diseño para asegurar que aquellos fallos más comunes puedan ser fácilmente resueltos. De igual modo, aquellos componentes que requieran un mantenimiento periódico, deberán estar fácilmente accesibles, lo cual redundará en una reducción de costes y un precio de reparación competitivo que evite su desecho.

Para poder aplicar mejor esta estrategia de diseño, conviene conocer a detalle el proceso habitual que se sigue para la reparación de un producto, esquematizado en la figura 3, y que supone:

- La entrega del producto averiado por parte del propietario del mismo, a través de la red de agentes de servicio técnico o similar.
- La diagnosis del producto, para conocer con exactitud el origen de la avería.
- El desmontaje de aquella parte del producto que sea necesaria para poder acceder al componente a reparar.
- La reparación propiamente dicha, bien sea mediante la intervención directa en el problema detectado, o mediante la sustitución de piezas defectuosas.
- El montaje del producto.
- Un test de verificación del correcto funcionamiento del producto una vez reparado.
- La devolución al cliente, a través del medio seleccionado.

Figura 3.- Procesos que sigue la reparabilidad de un producto



Un correcto “diseño para el reciclaje” deberá tener en cuenta estas etapas, para tratar de minimizar tiempos y costes en cada una de ellas. De ello dependerá en gran medida la competitividad en el mercado de la reparabilidad frente al desecho y sustitución por un nuevo producto. Algunas pautas de actuación para la aplicación de esta estrategia quedan recogidas en la tabla 3, en base a lo definido por Autodesk (2012) en su programa de apoyo a la reparabilidad de producto.

Tabla 3.- Pautas de actuación en el “diseño para la reparabilidad”

 Diseño para la REPARABILIDAD	
-	Utilice conjuntos modulares que permitan la sustitución de componentes críticos.
-	Garantizar un acceso fácil a las piezas que puedan necesitar mantenimiento periódico.
-	Utilice conectores robustos, que permitan fácil montaje-desmontaje.
-	Estandarizar entre líneas de productos y a través de las diferentes generaciones del mismo (ver más adelante “diseño para la estandarización”).
-	Establecer servicios de asistencia técnica así como recambios a precio competitivo.
-	Definir documentación técnica libremente accesible o de código abierto.
-	Incluir listados de piezas y referencias.
-	Crear interfaces de usuario y herramientas de solución de problemas para diagnosticar problemas.

3.2. ¿Cómo fomentar la reutilización del producto? (nuevo usuario)

Una vez que el producto ha sido desechado por su usuario, el objetivo es ser capaces de fomentar nuevos usos del mismo, y la forma más fácil es mediante la reutilización del producto en mercados secundarios y dirigidos a un cliente diferente al original.

La reutilización tiene una base tecnológica relativamente sencilla, ya que no implica procesos industriales complejos ni costosos.

Previo a la reutilización se asegura que el producto funciona correctamente, procediendo a su reparación si fuera necesario. Sin embargo, no se plantea ninguna modificación o mejora adicional. La figura 4 muestra el proceso habitual que se sigue para la reutilización de un producto. A diferencia de la reparación, en la reutilización toma especial relevancia la logística inversa para la recogida del producto y el acceso a nuevos canales de comercialización.

Figura 4.- Procesos necesarios para la reutilización de un producto



Por su sencillez, es una de las alternativas más ecoeficientes para la reducción de residuos industriales. De forma general, la reutilización es una estrategia medioambiental mucho más beneficiosa para el medio ambiente que el reciclaje, por lo que deberá ser priorizada, siempre que las características de los productos lo hagan posible y no se pongan en riesgos otros aspectos, como por ejemplo su seguridad y fiabilidad. Ahí radica la importancia de la diagnosis previa del producto.

3.3. ¿Cómo asegurar la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado? (nuevo usuario)

Más allá de la reutilización directa del producto en mercados secundarios, existen otras vías de recuperar el producto, con mayor nivel de intervención sobre el mismo, e incrementando así su valor en el mercado.

En este caso, a diferencia de lo que ocurría en los dos anillos anteriores, las estrategias no son complementarias sino que son excluyentes. Es necesario por tanto elegir la más adecuada para cada caso. La selección estará directamente relacionada con el valor de mercado del producto reutilizado, entendido éste como el importe neto que razonablemente podría esperar recibir un oferente por el intercambio de un bien o servicio en la fecha de valoración, mediante una comercialización adecuada, y suponiendo que existe al menos un demandante con potencial económico, correctamente informado de las características del producto, y que ambos, tanto la oferta como la demanda, actúan libremente y con un objetivo específico. Al final de la presente ponencia se dan unas pequeñas pautas a la hora de seleccionar la estrategia a implementar.

En este anillo de actuación podemos distinguir tres diferentes subestrategias:

- **La renovación del producto**

Estrategia que persigue no sólo la reutilización del producto sino su mejora estética, para que tenga una apariencia de nuevo, incrementando así su valor de mercado. La renovación incluye también la diagnosis y reparación del producto en caso de que fuera detectado algún problema. Puede incluir alguna mejora funcional menor, pero su destino sigue siendo principalmente mercados de segunda mano. Las etapas a seguir para la renovación del producto, descritas en la figura 5, son las mismas que para la reutilización, junto con una limpieza y adecuación estética del producto, previo a su comercialización.

Figura 5.- Procesos necesarios para la renovación de un producto



- **El reacondicionamiento del producto.**

Va más allá de la renovación del producto e incluye una inspección en profundidad que asegure su correcto funcionamiento, con garantía en el producto entero, pero sin tener un estatus de producto nuevo. Las etapas a seguir, descritas en la figura 6, incluyen tanto la inspección como la sustitución preventiva de aquellas piezas y componentes que, aun siendo operativas, pueden plantear un problema de integridad en el corto plazo. Su destino sigue siendo mercados de segunda mano, pero en este caso pueden competir con productos de altas prestaciones.

Figura 6.- Procesos necesarios para el reacondicionamiento de un producto



- **La remanufactura del producto**

De acuerdo con Hauser y Lund (2008), la remanufactura es la estrategia de recuperación de producto más avanzada. Para Steinhilper (1998), cubre no sólo los aspectos de la renovación y el reacondicionamiento de forma conjunta, sino que persigue la modernización e incorporación de nuevas funcionalidades en el producto. Estas nuevas funcionalidades pueden ir desde mejoras en el diseño original derivadas del aprendizaje de la puesta en el mercado del producto (fallos frecuentes, errores en el diseño original,...) hasta nuevas prestaciones y funcionalidades añadidas que son aplicables con la incorporación de nuevos componentes. Esta etapa adicional se suele aplicar en la fase final del proceso de recuperación, tal y como recoge la figura 7.

El resultado es un producto con iguales o mejores prestaciones que el original y las mismas garantías que un producto nuevo, pudiendo introducirse así en mercados de primera mano.

Figura 7.- Procesos necesarios para la reutilización de un producto



3.4. ¿Cómo Fomentar la recuperación parcial del producto (piezas y/o componentes)?

Una vez que ya no es viable la recuperación del producto en su conjunto, es necesario analizar la posibilidad de recuperación parcial de algunas piezas del mismo, principalmente aquellas

que tengan una durabilidad mayor que la del resto del producto en condiciones de fiabilidad y aquellas con suficiente valor en el mercado como para compensar los costes necesarios del proceso industrial asociado para su recuperación.

Existen diferentes estrategias de diseño que facilitan esta recuperación parcial del producto:

- **Diseño para el desmontaje**

Constituye uno de los procesos fundamentales en todas las estrategias de economía circular aplicada al producto. Como hemos podido ver, casi todas las estrategias incluyen en mayor o menor medida el desmontaje total o parcial del producto. Incluso para el reciclaje del producto es necesario algún tipo de desmontaje previo. Por tanto, la primera consideración a tener en cuenta es que, dependiendo de cuál sea el destino de las piezas, el desmontaje tendrá unas características u otras. Así, la reutilización obliga a un desmontaje mucho más cuidadoso que el reciclaje, pero en todo caso, es un proceso que consume recursos y tiempo y que condiciona la calidad final del producto.

Varios son los factores que condicionan el proceso de desmontaje, las más importantes:

- Número de piezas diferentes en el producto.
- Tipo de unión de las piezas a recuperar del resto del conjunto. Distintos tipos de unión, ordenados de mayor a menor facilidad de desmontaje serían: adherencia, velcro, pestañas o pinzas, encajado, atornillado, ajuste por apriete, soldadura con el mismo material, soldadura con otro material adicional, adhesivo o pegamento.
- Características de las piezas a desmontar: accesibilidad, volumen, peso, fragilidad, peligrosidad,...
- El destino de las piezas a desmontar, ya mencionado anteriormente.
- Las condiciones del proceso en su conjunto: número total de piezas, tiempo estimado de desmontaje, calidad exigida,...

Un parámetro importante y que cada vez está siendo mejor estudiado es el tiempo de desmontaje, un parámetro fácilmente medible y que da una clara orientación del coste económico de desmontaje de un producto.

Todo esto, permite definir una serie de pautas de actuación a tener en cuenta durante el proceso de diseño del producto que faciliten su desmontaje. Tomando como punto de partida lo desarrollado por Fernandez (2007), en la tabla 4 se indican algunas pautas genéticas de actuación.

Tabla 4.- Pautas de actuación en el “diseño para el desmontaje”

 Diseño para el DESMONTAJE	
-	Seleccionar tipos de uniones que faciliten el desmontaje, priorizando sistemas mecánicos frente a uniones permanentes.
-	En el caso de uniones atornilladas: ▪ Asegurar que estas uniones son visibles y fácilmente accesibles (facilitando el uso de la herramienta necesaria). ▪ No obligar a roscar más longitud de la estrictamente necesaria. ▪ Emplear tornillos con la cabeza lo más resistente posible, para evitar que se desgaste o deforme en el proceso de desmontaje. ▪ Unificar el tipo de cabeza de tornillo empleada en todo el producto (evitando tener que cambiar de herramienta en el proceso de desmontaje).
-	Realizar diseños modulares, con cierta autonomía entre la parte electrónica, mecánica, estética,...
-	Tener en cuenta la accesibilidad de todas las uniones para que se pueda operar de manera sencilla.
-	Reducir el número de operaciones necesarias para el desmontaje.
-	Introducir asas, muescas, acabados superficiales, indicaciones,... en el producto que faciliten las tareas de desmontaje.
-	Elaborar manuales de instrucciones para el desmontaje.

- **Diseño para la estandarización**

Estrategia de diseño de producto orientada al establecimiento de una serie de normas obligatorias a seguir, dentro del departamento de ingeniería de producto de una empresa, para asegurar que tanto los materiales empleados, como los componentes, sistemas de unión y en general aquellas piezas de uso común en diferentes modelos, cumplen una serie de requisitos comunes de homogeneidad. El objetivo es reducir las variaciones de sus tipos y grados, logrando unas características comunes de calidad y favoreciendo las tareas asociadas a la gestión de fin de vida de los productos y en especial, las estrategias de recuperación del producto.

El diseño para la estandarización, lejos de suponer un freno en el proceso de diseño de los ingenieros y diseñadores, facilita la toma de decisiones y es una fuente de reducción de costes económicos en la empresa, ya que al tener ciertos componentes normalizados, su aplicación será efectiva en diferentes modelos al mismo tiempo, reduciendo el número de stocks en la empresa, obteniendo un precio menor al requerir un mayor número de unidades y facilitando el servicio de los equipos técnicos de mantenimiento y reparación.

La tabla 5 recoge algunas pautas de actuación para la aplicación del diseño para la estandarización.

Tabla 5.- Pautas de actuación en el “diseño para la estandarización”

 Diseño para la ESTANDARIZACIÓN	
-	Analizar los componentes comunes o asimilables para distintas tipologías de producto y establecer normas internas que fijen sus características comunes (intercambiabilidad).
-	Asegurar la estabilidad en prescripción de componentes estándar a lo largo del tiempo.
-	En caso de no ser posible la estandarización, fijar reglas de complementariedad o compatibilidad de diferentes soluciones.
-	Unificar el tipo de uniones (métrica, roscados, adhesivos,...).
-	Unificar o compatibilizar los accesorios, recambios, consumibles, conectores,... para diferentes productos de la misma familia.

• **Diseño para la reutilización de piezas y componentes**

Estrategia de actuación orientada a la reutilización parcial de aquellas piezas de algo valor y funcionalidad, sometiendo el resto del producto a estrategias de reciclaje y valoración. Será de aplicación en aquellos casos en los que no es posible o recomendable recuperar íntegramente un producto, bien desde un punto de vista técnico o porque simplemente el mercado no es receptivo a la comercialización de productos recuperados. La tabla 6 recoge algunas pautas de actuación para su aplicación.

Tabla 6.- Pautas de actuación en el “diseño para la reutilización de piezas”

 Diseño para la REUTILIZACIÓN de piezas y componentes	
-	Identificar aquellas piezas de alto valor susceptibles de reutilización y ubicarlas de modo accesible.
-	En ese tipo de piezas, prescindir de uniones permanentes (adhesivo, soldado,...) optando por uniones mecánicas desmontables y que no dañen el producto (clipajes, roscados,...).
-	Evitar que las uniones se deterioren, es decir, que se oxiden o desgasten los roscados, que cambien las propiedades de adherencia, que se traben el deslizamiento de piezas,...
-	Plantear desde el equipo de ingeniería incrementar la vida técnica de piezas de alto valor teniendo en cuenta sus ciclos de reutilización.
-	Asegurar largos ciclos de estandarización para piezas reutilizables en otros modelos del producto.

3.5. ¿Cómo asegurar el reciclaje de las materias primas del producto (gestión de residuos)??. Diseño para el reciclaje

Entendemos como reciclaje a todas aquellas actividades que conducen a que todos o parte de los materiales constituyentes de un producto pasen a un nuevo ciclo de producción, tras la aplicación de diversos procesos de identificación, separación, clasificación y tratamiento.

La norma alemana VDI 2243:2002-07 trata sobre los aspectos técnicos y económicos del reciclado de productos y propone estrategias para poder aumentar su reciclabilidad. Su objetivo es proporcionar a los responsables de producto y en particular, a los desarrolladores y/o diseñadores, información, instrucciones y ayuda en la toma de decisiones durante la fase de desarrollo del producto, con el fin de poder preparar y seleccionar las mejores posibilidades, alternativas técnicas y económicas para aumentar la reciclabilidad al final de su vida útil. La tabla 7 recoge algunas pautas de actuación para su aplicación.

Tabla 7.- Pautas de actuación en el “diseño para el reciclaje”

 Diseño para el RECICLAJE	
-	De ser posible, optar preferiblemente por soluciones monomateriales.
-	En caso de ser necesarios distintos materiales, seleccionar materiales similares o compatibles, reprocesables conjuntamente o fáciles de separar por medios industriales (densidades, contenido magnético, infrarrojos,...).
-	Utilizar uniones pegadas sólo para aquellas piezas compatibles entre sí en el proceso de reciclado, asegurando que el pegamento utilizado tenga una composición que sea compatible con las materias primas de las piezas que se unen.
-	Identificar y etiquetar las diferentes partes para su correcto tratamiento posterior.
-	Asegurarse de que de entrada, los materiales seleccionados sean todos reciclables.
-	Utilizar uniones que estén fabricadas en los mismo materiales que las partes que unen (cordón de soldadura, remaches,...).
-	En el caso de plásticos, marcar los materiales según la norma UNE-EN ISO 11469:2001.
-	Reducir la pintura y en general los recubrimientos superficiales: inmersión, anodizado, electrodeposición,...ya que pueden contaminar el material y hacerlo inviable en el proceso de reciclado.

En aquellos casos en los que no es posible reciclar los materiales directamente, previo a su aprovechamiento energético o a su gestión controlada, existe también la posibilidad de recuperación de materias primas más básicas. Así por ejemplo, en algunos plásticos, en lugar de ser posible reciclar directamente un cierto tipo de material, es posible obtener alguna de las sustancias previas necesarias para la obtención de dicho material. Es por ello, que distinguiremos entre el diseño para el reciclaje (estrategia asociada a la recuperación de materiales y de mayor valor ambiental) del diseño para la recuperación de materias primas.

4. RESULTADOS

Tal y como hemos podido comprobar a lo largo de la presente ponencia, existen diferentes estrategias resultantes de la aplicación de los principios de la economía circular a la ingeniería de producto.

La selección de la estrategia a aplicar dependerá de diferentes factores, desde económicos hasta estratégicos. Será también decisiva la implantación de nuevos modelos de negocio dentro de la empresa que puedan dar soporte a su aplicación y puesta en marcha.

Sin embargo, desde el punto de vista ambiental, el conjunto de estrategias asociadas a la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado (que cubre la renovación, reacondicionamiento y la remanufactura) están claramente por encima del proceso más tradicional de recuperación de materiales o materias primas.

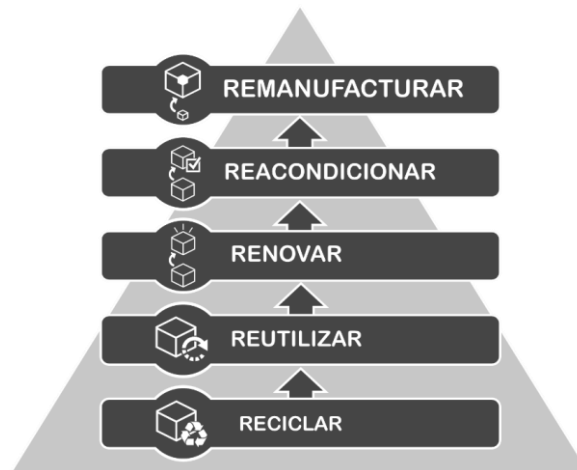
A diferencia del reciclaje que recupera sólo una parte de los materiales, las estrategias de recuperación de producto evitan tener que pasar nuevamente por las fases industriales convencionales del desarrollo y fabricación de un nuevo producto, permitiendo así recuperar la mayor parte de los recursos necesarios para su procesamiento. De acuerdo con Hauser y Lund (2012), la remanufactura permite recuperar entre el 85% y el 95% de los materiales y la energía consumidos en el producto original. Del mismo modo, estas estrategias aprovechan y maximizan el conocimiento incorporado en el producto durante su diseño y fabricación.

A su vez, la reutilización directa del producto, por similares características, aunque en menor medida, también está por encima del propio reciclaje.

Por último, entrando al detalle de las tres subestrategias definidas para la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado, la remanufactura será, dado que es la que mayor valor de mercado y fiabilidad aporta al cliente, la mejor desde el punto de vista ambiental, seguida del reacondicionamiento y la renovación.

La figura 8 muestra por tanto la jerarquía ambiental para las estrategias de diseño para el fin de vida del producto.

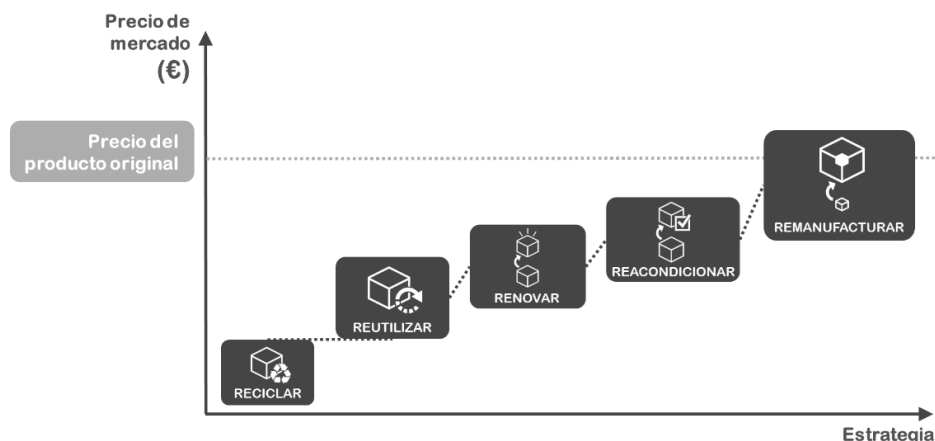
Figura 8.- Jerarquía ambiental en las estrategias de Economía Circular de producto



Otro importante aspecto a tener en cuenta a la hora de seleccionar la estrategia más adecuada para un determinado producto será el rendimiento económico a obtener. Tal y como hemos visto, cada una de las estrategias lleva asociados una serie de procesos de transformación. De acuerdo a lo descrito en la figura 8, a medida que subimos niveles en la jerarquía de estrategias a aplicar, interviene un mayor número de procesos y cada uno de ellas tendrá un coste de aplicación, variable en función de la tipología de producto. En definitiva, es de suponer que el nivel más alto, el relativo a la remanufactura, tendrá el mayor coste de obtención.

Al mismo tiempo, si tenemos en cuenta el valor o precio de mercado que podremos obtener con el producto resultante de las diferentes estrategias de actuación llevadas a cabo, por normal general, ocurre que, debido a sus características mejoradas, un producto remanufacturado puede llegar a alcanzar un precio en el mercado igual o incluso superior al precio del producto original. Una estimación del valor de mercado con cada estrategia, en relación al precio del producto original se representa en la figura 9.

Figura 9.- Relación entre el precio original y el precio resultante de las estrategias de Economía Circular de producto



En el lado contrario, el valor de mercado obtenido por un producto reciclado será el menor de todos ellos. Al igual que en los costes, este precio dependerá de muchos factores y deberá

ser analizado cuidadosamente para cada tipología de producto. Por ejemplo, mientras un producto remanufacturado perteneciente al sector de TICs (por ejemplo, un teléfono móvil inteligente), es difícil que pueda alcanzar un precio superior al del original, debido a la rápida renovación de prestaciones tecnológicas de este tipo de equipos, en productos mecánicos (por ejemplo motores eléctricos), donde la tecnología es más madura y se valoran otros aspectos como la fiabilidad y la durabilidad, un producto remanufacturado sí que podrá alcanzar un gran precio. En todas estas consideraciones, de acuerdo con Hellek, McAloone y otros autores (2013), el modelo de negocio establecido y la predisposición de la empresa a establecer modelos alternativos es una cuestión a considerar en la toma de decisiones.

En definitiva, se deberá seleccionar aquella estrategia que maximice el beneficio, esto es, la diferencia entre el valor de mercado y los costes de recuperación del producto.

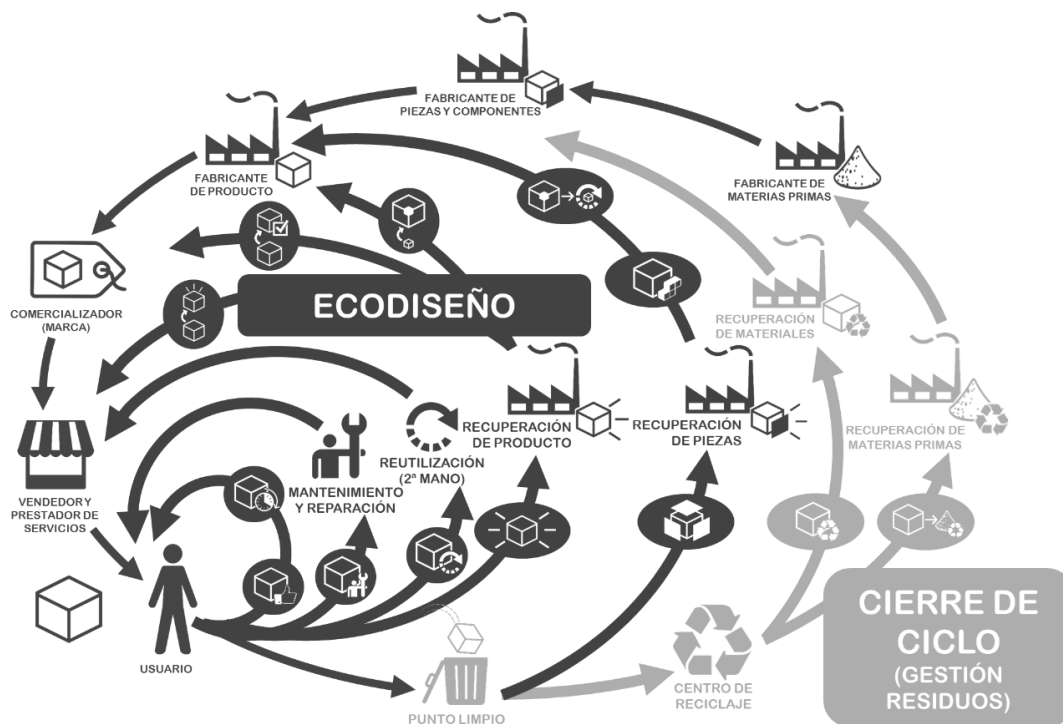
5. CONCLUSIONES

Se conoce como Economía Circular a aquella que tiene por objetivo la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo de materias primas, agua y energía. Es por tanto un concepto económico que persigue implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía.

Desde la ingeniería de producto es también aplicable este principio y no únicamente desde la visión tradicional del cierre de ciclo asociado a la gestión de los residuos de producto al final de su vida útil, sino que es posible desarrollar hasta 12 estrategias diferentes.

La figura 10 recoge a modo de resumen todas estas estrategias descritas en la presente ponencia, asociadas a los diferentes anillos de circularidad que pueden conseguirse a lo largo de la vida de un producto.

Figura 10.- Resumen de las principales estrategias de actuación de la Economía Circular en la ingeniería de producto



No todas las estrategias serán aplicables al mismo tiempo y la selección de las más idóneas dependerá tanto de la tipología de producto analizado como de las condiciones del mercado. Sin embargo, en lo que todas coinciden es en la reducción del impacto ambiental asociado y en un mejor y más eficiente uso de los recursos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autodesk (2012). Design for Product Lifetime. Sustainability Workshop. Disponible en : <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com>
- Ellen Macarthur Foundation (2013). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Reino Unido.
- European Commission (2013). The opportunities to business of improving resource efficiency. Bélgica. AMEC Environment & Infrastructure and Bio Intelligence Service.
- European Environment Agency (2013). Towards a green economy in Europe. EU environmental policy targets and objectives 2010–2050. EEA Report No 8/2013. Dinamarca.
- Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) (2012). Memorandum for a Green Economy. Berlin. Alemania. The Federation of German Industries (BDI).
- Fernandez Alcalá, J.M. (2007). Ingeniería del diseño ecológico de productos industriales. Bilbao. España. Ihohe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco.
- Gobierno de Holanda. Departamento de Medio Ambiente (2014). Knowledge Map Circular Economy.
- Hauser, W. & Lund, R.T. (2008). Remanufacturing: Operating Practices and Strategies. Boston. EEUU. Boston University.
- Hauser, W. & Lund, R.T. (2012). Remanufacturing: An American Resource. Colorado. EEUU. Professional electrical Apparatus Recyclers League.
- Hellek Finken, K., McAloone, T.C., Avlonitis, V., Garcia I Mateu, A., Bejbro Andersen, J., Mouggaard, K., Neugebauer, L., Hsuan, J. (2013) PSS ToolBook: A workbook in the PROTEUS series, PRO-04. Dinamarca. Technical University of Denmark.
- Lund, R.T. (2012). The Database of Remanufacturers. Boston. EEUU. Boston University.
- Professional electrical Apparatus Recyclers League (2010). Reconditioning: The Ultimate Form of Recycling. Colorado. EEUU.
- Steinhilper, R. (1998). Remanufacturing: The Ultimate Form of Recycling. Stuttgart. Alemania. Fraunhofer IRB Verlag.
- UNE-EN ISO 11469:2001 “Plásticos. Identificación genérica y marcado de productos plásticos”. Madrid. España. AENOR.
- VDI 2243:2002-07 “Recycling-oriented product development” (Desarrollo de productos orientada al reciclaje). Alemania. Beuth Verlag GmbH.

