



# Oportunidades Industria 4.0 en Galicia

Convenio de colaboración entre el Instituto Gallego de Promoción Económica, la Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia y los centros integrantes de esta alianza para la detección y análisis de oportunidades sectoriales para las empresas industriales gallegas en el ámbito de la industria 4.0



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 INDUSTRIA 4.0 Y LA GESTIÓN AVANZADA DE LA ENERGÍA Y LOS RESIDUOS .....	3
1.2 BREVE HISTORIA.....	6
1.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES .....	8
1.4 TENDENCIAS.....	10
1.5 APLICACIONES DE LA GESTIÓN AVANZADA DE LA ENERGÍA Y LOS RESIDUOS .....	12
<b>2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA.....</b>	<b>17</b>
2.1 EQUIPAMIENTO DISPONIBLE EN EL MERCADO.....	26
<b>3. APLICACIONES POR SECTOR .....</b>	<b>28</b>
3.1 SECTOR AGROALIMENTACIÓN .....	29
3.2 SECTOR AUTOMOCIÓN .....	31
3.3 SECTOR MADERA Y FORESTAL.....	34
3.4 SECTOR PLÁSTICO .....	36
3.5 SECTOR METALMECÁNICO .....	38
3.6 SECTOR TEXTIL/MODA.....	38
3.7 SECTOR AERONÁUTICO.....	40
3.8 SECTOR ENERGÍAS RENOVABLES .....	41
3.9 SECTOR PIEDRA NATURAL/CONSTRUCCIÓN.....	42
<b>4. CONCLUSIONES/IMPACTO EN LA INDUSTRIA .....</b>	<b>45</b>
4.1 IMPACTO DE LA GESTIÓN AVANZADA DE LA ENERGÍA Y LOS RESIDUOS.....	45
4.2 CONCLUSIONES .....	46
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 INDUSTRIA 4.0 Y LA GESTIÓN AVANZADA DE LA ENERGÍA Y LOS RESIDUOS

La **industria 4.0 o fábrica inteligente**, permite la interconexión de procesos, productos servicios. Se trata de la digitalización de las cadenas de valor industriales mediante la incorporación de nuevas tecnologías (cloud, sistemas ciber-físicos, sensórica, entre muchas otras). El término 'Industria 4.0' se refiere a la cuarta revolución industrial, impulsada por la transformación digital, y significa un salto cualitativo en la organización y gestión de la cadena de valor del sector (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014). Esto ofrece oportunidades significativas para alcanzar mejoras en la eficiencia y el uso de los recursos.

La tecnología del **internet de las cosas** (Internet of things - IoT -) formada, por ejemplo, por medidores inteligentes y sensores proporcionan conocimiento de los datos de consumos de energía en tiempo real. La disponibilidad de datos de consumo de energía en tiempo real ofrece oportunidades para reducir el consumo de energía y la mejora de las prácticas de eficiencia energética en la gestión de la producción (Shrouf & Miragliotta, 2015).

La disponibilidad del patrón de consumo de energía en tiempo casi real es esencial para realizar **oportunidades de ahorro de energía** (por ejemplo, carga, equilibrio, mantenimiento proactivo).

Para una gestión óptima de los recursos necesarios en el desarrollo de cualquier actividad económica, el consumo eficiente de energía constituye uno de los elementos clave para llevarla a cabo de manera competitiva. En concreto, en la industria, como sector de actividad intensivo en el consumo energético, la eficiencia en el uso final de la energía cobra una importancia estratégica.

Por ello, se hace necesario dotar a los centros de producción de herramientas avanzadas que permitan una adecuada gestión de la energía consumida, que redunde, a su vez, en una **optimización de los recursos necesarios**, en una **menor dependencia energética exterior** y en la consecución de los objetivos internacionales establecidos de **reducción de emisiones de GEI**, como en la Directiva Europea 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, en la que se establece un objetivo a 2020 de un 20% de reducción de emisiones de GEI respecto a las de 1990, o como en la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética en la que uno de sus objetivos es el de "preparar" el camino para mejoras posteriores de la eficiencia energética que permitan reducir las emisiones de GEI entre un 80% y un 95% en 2050 respecto a las de 1990.

Un **sistema de gestión de la energía (SGEn)** (*Energy Management System –EnMS-*) es un conjunto de procedimientos y prácticas para asegurar el rastreo sistemático, el análisis y la planificación del uso de energía en la industria. Y es que según la Agencia Internacional de la Energía (Agencia Internacional de Energía, 2006), en la industria hay enormes posibilidades de reducir la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante mayor eficiencia de los motores, las bombas, las calderas y los sistemas de calefacción, el aumento de la recuperación de energía en los procesos de producción, el incremento del reciclaje, la adopción de materiales y procesos nuevos y más avanzados y el mejor uso de materiales.

Por ello, la eficiencia energética es fundamental para el crecimiento económico, el empleo de calidad y alcanzar un nivel tecnológico elevado porque **afecta de manera transversal** a sectores como el metalúrgico, equipos electrónicos, tecnologías de la información, materiales de construcción, el transporte y otros sectores. Por eso, han de integrarse en la política industrial como un referente. Actualmente, la innovación energética está determinando la competencia entre las distintas economías del mundo.

Los sistemas de gestión energética son una de las maneras más exitosas y rentables de reducir significativamente el consumo de energía, los costes de energía y el impacto ambiental sin afectar la producción y la calidad. Por otro lado, la evolución futura de costes de la energía hace que una reducción de los costes para las fuentes de energía primaria y secundaria desempeñe un papel cada vez más importante para la optimización de los costes de fabricación.

Tal y como menciona **Klaus Schwab** en su publicación (Schwab, 2016), el internet de las cosas y los activos inteligentes permiten rastrear los materiales y los flujos de energía para lograr nuevas y enormes eficiencias a lo largo de la cadena de valor. Esto da la oportunidad de desarrollar un modelo industrial en el cual las empresas podrán ampliar el ciclo de uso de los bienes y recursos, aumentar su utilización y crear cascadas que recuperen y reutilicen los materiales y la energía para otros usos, disminuyendo las emisiones y la utilización de recursos en el proceso.

El contexto actual hace que la gestión de la energía y el consumo sea un aspecto importante para cualquier sector. El concepto de **gestión de la energía** (*Energy Management System*) está estimulado por el desarrollo y la reducción de coste de los sensores, controladores y las tecnologías de la información y comunicación (TICs) (Aggarwal & Chen, 2013). La aplicación de las TICs y la energía hace posible la registrar, almacenar y compartir información crítica para realizar una correcta gestión de la energía.

De hecho, dentro del concepto Industria 4.0, la maquinaria de producción podrá comunicarse con un **sistema de gestión de la producción** (*Production Management System –PMS-*) que controlará la maquinaria de manera óptima de acuerdo con su función objetivo. El sistema de gestión de la producción envía y recibe información desde y hacia el sistema de gestión de la energía, el cual monitoriza los generadores de energía eléctrica, así como también monitoriza y controla los posibles sistemas de almacenamiento de energía.

En este contexto, los recursos, los residuos y los principios de economía circular también tienen un papel relevante en el sector industrial. La **economía circular** se basa unos principios sencillos, según la publicación de Ellen MacArthur (Fundación Ellen MacArthur, 2014):

1. En esencia, la economía circular busca un diseño para **‘acabar con los residuos’**. Los residuos no existen cuando los productos son diseñados y optimizados mediante un ciclo de desensamblado y reutilización. Estos ciclos optimizados de componentes y productos definen la economía circular y la diferencian de la mera gestión de residuos y reciclaje, donde gran cantidad de energía contenida y mano de obra son pérdidas.
2. El modelo circular introduce una diferencia estricta entre los **componentes consumibles y duraderos** de un producto. A la diferencia de lo que ocurre actualmente, los componentes consumibles en la economía circular están hechos en gran parte de ingredientes biológicos o “nutrientes” que son al menos no tóxicos e incluso posiblemente beneficioso y que pueden retornar de manera segura a la biosfera - directamente o en una cascada de usos consecutivos. Los componentes duraderos tales como ordenadores o motores, por otra parte, están hechos de elementos “técnicos”, no apropiados para la biosfera, tales como metales y la mayoría de los plásticos. En este caso, los elementos se diseñan desde su inicio para la reutilización y los productos sujetos a rápidos avances tecnológicos están diseñado para ser actualizados.

- La energía requerida para este ciclo debería ser **renovable por naturaleza**, de nuevo para disminuir la dependencia a los recursos y aumentar la capacidad de recuperación del sistema (por ejemplo, frente a una crisis del petróleo).

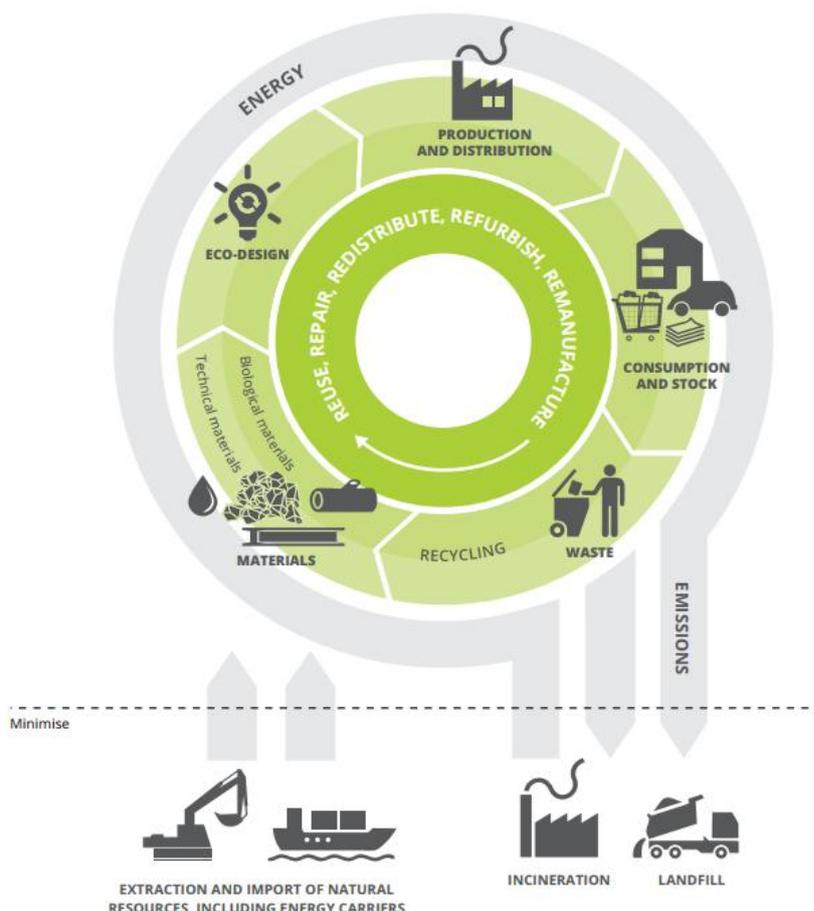


ILUSTRACIÓN 1. ESQUEMA DE ECONOMÍA CIRCULAR. FUENTE: EEA, 2016

Los principios de economía circular son un factor clave de competitividad ya que se asocian a una **estrategia industrial basada en productos competitivos**, por sus menores costes, y con una demanda creciente en el mercado. La fabricación de productos ecoeficientes exige la reducción de los costes energéticos y consumo de materias primas, dirigidos a satisfacer el perfil de un consumidor respetuoso con el medio ambiente. Se trata de **integrar soluciones eco-innovadoras** a lo largo de la cadena de valor de residuos que permiten que estos se conviertan en recursos.

La escasez en la disponibilidad de algunos recursos naturales y la creciente demanda de bienes y servicios por parte de la sociedad, incentivan a la industria a adoptar los criterios de economía circular como práctica habitual en su gestión.

Según la Comisión Europea (Comisión Europea, 2017), la **valorización energética en el tratamiento de residuos** debe ser enmarcada a largo plazo en el modelo de economía circular teniendo en cuenta la jerarquía de residuos de la clasifica las opciones de gestión de residuos en función de su sostenibilidad y da prioridad a la **prevención, reutilización y reciclaje** de residuos.

## 1.2 BREVE HISTORIA

La industria es uno de los principales consumidores de energía abarcando el **27% del consumo energético mundial** en 2009 (International Energy Agency, 2009). Las industrias que consumen mucha energía (productos químicos a granel, refinado, productos de papel, hierro y acero, aluminio, alimentos, vidrio y cemento) dominan la demanda de energía industrial, lo que representa casi dos tercios del consumo de energía industrial (US Energy Information Administration, 2012). Además, las proyecciones mundiales sobre el consumo de energía industrial predicen una tendencia creciente en los próximos 25 años con una tasa media anual del 1,5% (US Energy Information Administration, 2011). Sin embargo, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) ha demostrado importantes oportunidades para mejorar la eficiencia energética en el sector industrial (International Energy Agency, 2011), y gran parte de este potencial puede captarse mediante políticas para la promoción de la implantación de sistemas de gestión energética. En este sentido, la AIE ha aconsejado a los gobiernos exigir que las industrias de alto consumo energético cumplan con ISO 50001 (ISO, 2011) o un **protocolo equivalente de gestión de energía**.

SGEn permite a las empresas establecer sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo **la eficiencia energética y el consumo**. Se define como un conjunto de elementos interrelacionados o interactivos para establecer una política energética, objetivos energéticos, procesos y procedimientos para lograr esos objetivos (Chan & Kantamaneni, 2015).

Aunque el SGen se ha implantado durante décadas a nivel internacional, ha recuperado una mayor atención a través de ISO 50001, el estándar internacional de SGen publicado en 2011 (y reemplazando a la anterior EN 16001). Es una versión refinada del estándar de gestión de calidad anterior (ISO 9001) y medioambiental (ISO 14001) y adapta el mismo esquema PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), también conocido como el ciclo Shewhart y refinado por William Edward Deming, para lograr una mejora continua. Es un marco relativamente simple y eficaz, ampliamente adoptado internacionalmente principalmente en la mejora de la calidad. ISO 50001 agrega otros requisitos técnicos tales como revisión de energía (esencialmente un marco de auditoría de energía), energía de referencia y los indicadores de rendimiento energético (KPIs). Por diseño, ISO 50001 está escrito sobre la base de esta estructura simplificada que se integra fácilmente con los requisitos legales o empresariales existentes y otros sistemas de gestión, incluso los estándares no ISO. En resumen, ISO 50001 proporciona un marco para que las empresas adopten un enfoque sistemático para mejorar continuamente su rendimiento energético, **maximizando así los beneficios y mejorando los beneficios ambientales**. Existen también numerosos estándares nacionales de SGen, establecidos desde 2000, que proporcionan un marco muy similar al ISO 50001.

ISO 50001 se ha convertido en el **método estandarizado para SGen** y ahora está reemplazando los estándares nacionales de gestión de energía, así como la norma europea EN 16001. En abril de 2014, más de 7.100 empresas en todo el mundo habían recibido la certificación ISO 50001 para su SGen.

En los últimos años, también hay un número cada vez mayor de países, como Kazajstán, Singapur, India y Tailandia, que están obligando a tener SGen a industrias. En Alemania, se establece un acuerdo voluntario de que las empresas con SGen certificado están exentas de impuestos sobre la energía, lo que ha dado lugar a un drástico aumento de la certificación ISO 50001 en los últimos 2 años. Las políticas de conservación de energía de Japón han encomendado a SGen desde su promulgación en 1979 (Chan & Kantamaneni, 2015).

Por otro lado, la tecnología empleada para la gestión de la energía ha ido evolucionando a lo largo de los últimos años. La introducción de los **controles digitales** a partir de 1990 ha revolucionado los sistemas de gestión de la energía (ver ILUSTRACIÓN 2).

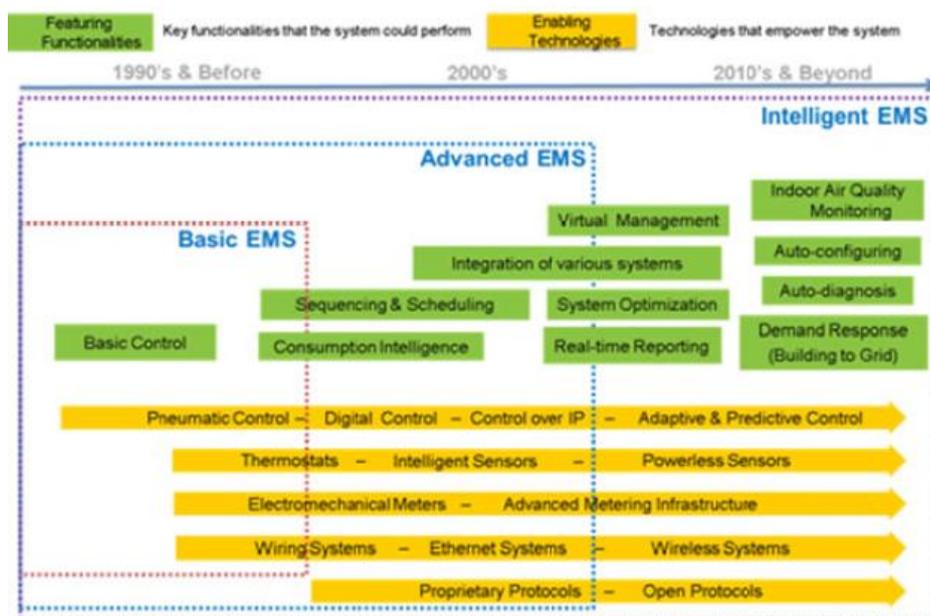


ILUSTRACIÓN 2. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA (SGEN) CON LAS TICs. FUENTE: PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LAB, NEXTENERGY, 2012 AGGARWAL & CHEN, 2013

Las industrias son generalmente el principal consumidor de energía en una economía y las **regulaciones ambientales** se vuelven cada vez más estrictas y exigen a las industrias procesos limpios y eficientes. Todos estos factores hacen necesarios en sistema de gestión de la energía que permitan realizar un consumo optimizado.

Por otro lado, la **gestión de los recursos** también es un aspecto importante para la industria. Los últimos 150 años de evolución industrial han estado dominados por un modelo de producción y consumo lineal, según lo cual los bienes son producidos a partir de las materias primas, vendidos, utilizados y finalmente desechados como residuos (Fundación Ellen MacArthur, 2014). La escasez y la sobreexplotación de los recursos hacen necesario identificar nuevas formas de reutilizar los productos y sus componentes. El patrón de “extraer-fabricar-utilizar-eliminar” que se han venido aplicado en la industria conlleva pérdidas significativas de valor y efectos negativos a lo largo de la cadena material. Este modelo lineal hace que la industria dependa de los precios de los recursos y las interrupciones en su suministro.

El precio de las materias primas y productos presenta una tendencia creciente a partir de la primera década del siglo XXI (ILUSTRACIÓN 3). Por otro lado, cada vez se hace más patente la **escasez de recursos** y existen **estándares ambientales más estrictos**. Con el actual nivel de desarrollo, las medidas de eficiencia no permiten generar ventajas competitivas o diferenciación. En este contexto, se hace cada vez más necesario implantar en la industria el modelo de economía circular que permita desvincular los ingresos del consumo de materias primas.

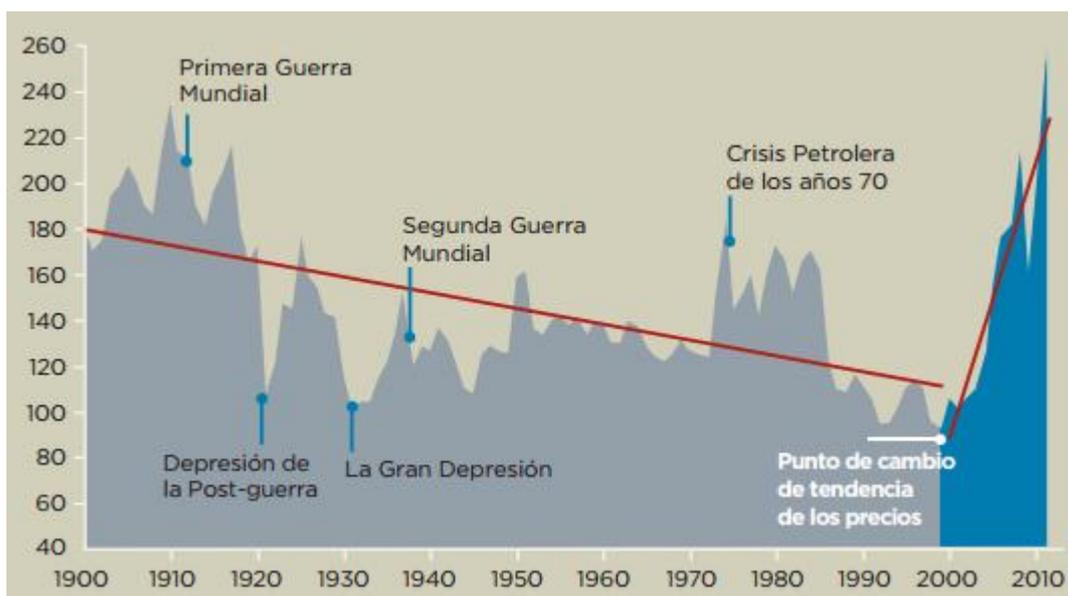


ILUSTRACIÓN 3. ÍNDICE DE PRECIOS DE MERCANCÍAS Y PRODUCTOS. FUENTE: GRILLI Y YANG

En el concepto de economía circular **el residuo debe servir como recurso**, a fin de permitir el cierre "del bucle". Los procesos económicos requieren necesariamente consumo, por lo que es imposible pensar en un modelo que no suponga ningún consumo de energía y/o generación de residuo cero. En este sentido, muchas doctrinas de economía circular distinguen entre **ciclos técnicos y biológicos**. El primero se refiere a materiales finitos y técnicos y apuntan a conservar estos materiales tanto como sea posible en su ciclo interno mediante actividades de recuperación y restauración. Los ciclos biológicos se refieren a recursos renovables/energía y el alcance es hacer que estos materiales se regeneren infinitamente dentro de su ciclo. La economía circular se basa en una serie de **elementos clave complementarios**, entre los que se incluyen el diseño ecológico, la fabricación ecológica, la recuperación de los residuos y el consumo sostenible.

### 1.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES

Entre las **ventajas de la implantación de un sistema de gestión de la energía** se podrían mencionar que permite:

- Desarrollo de una política para un uso más eficiente de la energía.
- Definición de unos objetivos que permitan cumplir las exigencias normativas.
- Obtención de los datos para entender mejor y tomar decisiones sobre el uso y consumo de energía.
- Cuantificación de los resultados.
- Mejora continua de la gestión de la energía.
- Reconocer y aprovechar al máximo las potencialidades existentes con el fin de mejorar la eficiencia energética. De esta forma, se pueden detectar los puntos débiles y los costes de energía se pueden reducir considerablemente.
- Aportación de una ventaja competitiva directa.

El SGEN desempeña un papel esencial en la interacción entre la fuente de generación y consumo. Es sistema de gestión de la energía pueda medir, comparar y controlar el uso y establecer patrones en tiempo real que proporciona las siguientes oportunidades para el consumo eficiente de energía y su integración en una *Smart grid*. En este sentido el **sistema de gestión de la energía** permite:

- **Mejorar el control.** El sistema de gestión de la energía puede permitir a la industria fijar su consumo de energía en respuesta los costes de la energía, ajustando la demanda de producción.
- **Cambios de comportamiento.** La monitorización y visualización en tiempo real del consumo de energía produce un cambio inherente en el patrón de consumo de energía.

Pese a todos los aspectos positivos mencionados, en muchos casos, **las empresas no disponen de equipos de medición adecuados** que permitan realizar seguimiento y control del proceso productivo e implementar un sistema de gestión de energía. Por otro lado, en ocasiones resulta complicado la **sensibilización del personal** responsable acerca de la importancia de la integración de las nuevas tecnologías a los sistemas de medición en tiempo real, supervisión y seguimiento tanto técnico como empresarial del proceso de producción. Otro posible inconveniente reside en la **amplia diversidad de tecnología de comunicación** y en los problemas de compatibilidades del sistema de medición con el de comunicación y procesamiento de la información.

Con respecto a la **aplicación de los criterios de economía circular** en la industria 4.0, estos permiten:

- Mejorar el diseño de los productos (ecodiseño) y de los procesos de producción para reducir el uso de recursos y la generación de residuos.
- Impulsar procesos industriales innovadores mediante la simbiosis industrial, así los residuos de una empresa pueden convertirse en recursos para otra, o refabricación.
- Mejorar la trazabilidad de la cadena de producto y de los residuos, así como disponer de los flujos de materia prima.
- Aumentar las tasas de reciclaje mediante el diseño inteligente y una clasificación adecuada.

Entre las **principales limitaciones** que se podrían mencionar a la hora de aplicar los principios de la economía circular, se podrían mencionar:

- La **dispersión geográfica**. Los productos industriales están constituidos por una gran cantidad de componentes que provienen de diferentes localizaciones geográficas. El incremento de la globalización ha creado una economía global que persigue maximizar la gestión económica de los materiales y los costes de producción. Sin embargo, el ciclo de cada uno de los componentes, subcomponentes y materiales se debe cerrar. La dispersión geográfica tendrá que ser examinada con detalle para cerrar los ciclos y analizar cómo están distribuidas las diferentes actividades a lo largo cadena de valor. En los circuitos cerrados, las cantidades de material y componentes vuelven desde el punto de uso hasta el punto de fabricación para reducir la cantidad de material virgen o entrada de componentes requerida.
- **Pérdida de materiales debido al aumento en la complejidad de estos.** En la actualidad, existe una gran variedad en los materiales utilizados en los productos de consumo. Por ejemplo, solamente en el mundo de los plásticos, la cantidad de nuevos polímeros ha seguido aumentando en las

últimas décadas, impulsadas principalmente por nuevas combinaciones de monómeros, nuevos aditivos (pigmentos, retardantes de llama, antimicrobianos, etc.). La complejidad de los materiales de hoy en día agrava los obstáculos hacia una economía circular. Mientras que las herramientas y los métodos existen para crear formulaciones de productos complejos, todavía resulta difícil separar los materiales, de tal manera que se puedan mantener los criterios de calidad y pureza (incluyendo la toxicidad). Esto dificulta la obtención de materiales a una escala suficiente y robusta, que permita crear oportunidades de gestión, lo que dificulta obtener beneficios potenciales para justificar nuevos procesos, infraestructura y modelos de negocio de I+D.

- **Falta de estímulos.** El comportamiento del consumidor habitualmente se centra en el coste del producto en el punto de venta sin tener en cuenta otros parámetros como pueden ser la durabilidad del producto o la posibilidad de reparación. Por otro lado, dentro de la industria, la implantación de una economía circular puede provocar cambios en los procesos que algunas veces puede ser necesario algún tipo de aprobación legal o aceptación por parte del consumidor. Esto contribuye a que sea difícil cambiar ciertos hábitos en el proceso de producción.
- **Mercados de escala.** Los procesos actuales de producción y servicios se rigen por los mercados de escala. Estos mercados crean valor porque son transparentes y capaces de proporcionar corrientes robustas de materiales, componentes, fiabilidad y responder rápidamente a las fluctuaciones de la demanda. Sin embargo, estos mercados de escala industrial no existen para muchos materiales de “ciclos inversos”, por lo que es difícil o imposible para las empresas encontrar materiales secundarios fiables y componentes para complementar o sustituir el stock primario.
- **Infraestructura y capacidades logísticas del ciclo inverso.** Son esenciales para cerrar el desequilibrio geográfico entre puntos de (re)fabricación y uso. La configuración necesita.
- **Falta de facilitadores en la transición.** En muchas áreas se necesitan habilitadores para allanar el camino para nuevos modelos de economía circular. Por ejemplo, la Unión Europea dispone de planes de economía circular.

#### 1.4 TENDENCIAS

La **integración de las TICs en la industria**, ofrecen múltiples oportunidades para mejorar la eficiencia energética. Esto permite mejorar y optimizar, por ejemplo, el proceso de fabricación a través de algoritmos de aprendizaje automático.

A parte de las funciones básicas de los sistemas de gestión de la energía, estos se deben desarrollar en un futuro en dos sentidos: la integración con Smart Grid y combinar el sistema de gestión de la energía con el sistema de gestión de la producción (D. Lee & Cheng, 2016).

## INTEGRACIÓN CON SMART GRID

La energía renovable podría ser almacenada y ser utilizada a posteriori combinada con la energía de red para evitar así los períodos de generación inestables. La *smart grid* se podrá complementar con funciones desarrolladas por el sistema de gestión de la energía, tales como **la gestión de energía de la luz solar, el almacenamiento de frío y control invertido**, para realizar un uso directo y efectivo de la energía renovable. Los métodos de almacenamiento de energía no solamente pueden centrarse en el almacenamiento de energía eléctrica, sino que puede ser almacenamiento de energía térmica.

Es muy complejo alinear los procesos de producción a la volatilidad de la generación de energía a partir de energías renovables. Por ello, es necesario desarrollar soluciones innovadoras y eficientes, como los sistemas de gestión de la energía inteligentes, que permitan incrementar la flexibilidad de los procesos industriales y la generación de energía volátil por parte de las energías renovables para alinearse mejor con los procesos de producción.

La **integración directa de la electricidad generada** tiene la ventaja de reducir las pérdidas contabilizadas cuando la electricidad se inyecta inicialmente a la red o se retira de la red. Sin embargo, para alinear la generación intermitente de energías renovables con el consumo variable de la carga, es necesario vigilar la generación y el consumo, predecir la generación y el consumo de energía y desarrollar nuevas soluciones que hagan el control de la generación de energía, el consumo y el almacenamiento más flexible (Pelzer, Lombardi, Arendarski, & Komarnichi, 2016).

El **diseño de un sistema de gestión inteligente** puede permitir la integración de la energía generada directamente por fuentes renovables directamente en los procesos industriales. Estos sistemas de gestión de la energía pueden contribuir a acelerar el proceso de modernización de las empresas hacia la industria 4.0, que se basa en el concepto de IoT.

## COMBINAR EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA CON LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Para asegurar la estabilidad del proceso industrial, las operaciones y la producción, el sistema de gestión de la energía se debe combinar con el **sistema de ejecución de fabricación** (*Manufacturing Execution System –MES–*), con la **gestión de la relación con los clientes** (*Customer Relationship Management –CRM–*) y la producción. El sistema de gestión de la energía se debe combinar con el sistema de ejecución de fabricación para poder construir una fábrica inteligente cuya producción sea flexible a la demanda, reduzca los residuos y sea eficiente energéticamente.

La producción efectiva contribuye a reducir los derroches de energía y los recursos al mismo tiempo (ILUSTRACIÓN 4).

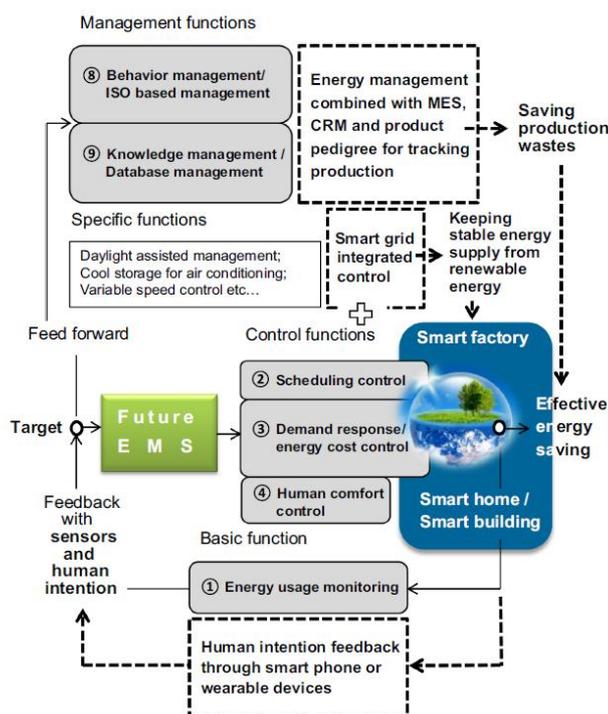


ILUSTRACIÓN 4. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA. FUENTE: D. LEE & CHENG, 2016

El artículo 8 de la **Directiva de Eficiencia Energética** obliga a las grandes empresas a realizar auditorías energéticas una vez cada 4 años. Sin embargo, las empresas que están implementando un SGE podrían estar exentas de este requisito. Aunque una auditoría energética tiene por objeto medir el uso de la energía, si se realiza como requisito normativo y no como parte de un proceso de gestión integrado, existe el riesgo potencial de que esto se lleve a cabo sólo con fines de cumplimiento y los hallazgos de auditoría

La legislación actual estimula la innovación en el reciclado y la reutilización, limitan el depósito en vertederos, reducen las pérdidas de recursos y crean incentivos para modificar el comportamiento de los consumidores.

El IoT de la Industria 4.0 permite abrir nuevas oportunidades para la implantación de los principios de la economía circular permitiendo localizar materiales en cualquier parte de la cadena de suministro, identificar productos y subproductos, así como conocer su situación y el estado del producto durante todo el proceso productivo o incluso durante su vida útil, permitiendo hacer un seguimiento de su trazabilidad. Se trata de **extraer máximo valor y uso de todas las materias primas, productos y residuos**, fomentando el ahorro de energía y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

### 1.5 APLICACIONES DE LA GESTIÓN AVANZADA DE LA ENERGÍA Y LOS RESIDUOS

Los sistemas de gestión de la energía son uno de los enfoques más eficaces para mejorar la eficiencia energética en las industrias, ya que equipa a las empresas con las prácticas y procedimientos para hacer continuamente mejoras y **capturar nuevas oportunidades**.

La eficiencia energética industrial se puede mejorar en gran medida por una gestión eficaz de la utilización de la energía de las operaciones y procesos. La experiencia demuestra que las empresas y los sitios con

programas de gestión energética más fuertes obtienen mayores mejoras en la eficiencia energética de los que carecen de procedimientos y prácticas de gestión orientados a la mejora continua de la eficiencia energética (D. Lee & Cheng, 2016). Los sistemas de gestión de energía proporcionan un **marco para la gestión de energía y promover la mejora continua**. Además, establecen procedimientos de evaluación, planificación y evaluación que son fundamentales para la realización de realidad y el mantenimiento de las potenciales ganancias de eficiencia energética de las nuevas tecnologías o cambios operativos.

Hay una serie de directrices destinadas a ayudar a las empresas a establecer una eficaz SGE como pueden ser los de la eficiencia energética de *Australian Energy Efficiency Exchange* (Australian Government Department of the Environment and Energy, 2017), *Irish Sustainable Energy Authority* (Sustainable Energy Authority of Ireland, 2009), *United States Environmental Protection Agency* (United States Environmental Protection Agency, 2013) y la serie de normas ISO 50001 de la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization (ISO), 2011).

El concepto de industria 4.0 permitirá, con respecto a la energía, un cambio tecnológico a través de nuevas **tecnologías eointeligentes de generación y gestión de la demanda**. Es necesario un modelo energético que se desacople del crecimiento económico del uso de los recursos, priorizando en ahorro, la eficiencia energética y el uso de fuentes de energía limpia enfocados hacia una energía sostenible, segura y competitiva. La fabricación de **productos ecoeficientes** exige la reducción de costes energéticos y satisfacer las demandas de un consumidor respetuoso con el medio ambiente.

Simplemente, la implementación de un sistema de gestión de la energía podría reducir un 4,9%, según los datos del ICF International (Chan & Kantamaneni, 2015), el consumo de energía en el sector industrial de cara el 2030; aunque este también facilita la identificación de otras medidas de eficiencia energética que pueden ser aplicadas (Tabla 1).

ENERGY SAVING OPPORTUNITY	TOTAL ENERGY SAVING POTENTIAL BY 2030 [%]
<b><i>ESOs with &lt;2 year simple payback:</i></b>	
Integrated control system	17,3%
Sub-Metering and Interval Metering	13,8%
Flue gas monitoring (Furnace and boiler)	8,3%
High Efficiency Burner (Furnace)	8,1%
Exhaust Gas Heat Recovery (Furnace and kiln)	5,0%
<b>Implementation of Energy Management Systems (EnMS)</b>	<b>4,9%</b>
Advanced Heating and Process Control (Furnace)	4,6%
Combustion Optimization (Furnace)	3,8%
Steam trap survey and repair	1,9%
Preventative Furnace Maintenance	1,6%

**ESOs with 2 - 5 year simple payback:**

Premium efficiency controls with automatic speed drives	5,7%
High efficiency non-packaged HVAC equipment	1,3%
Advanced boiler control	0,9%
Process heat recovery to preheat make up water	0,9%
Optimization of pumping system	0,6%
Use of radiant heat instead of convection heating	0,3%
Sequencing control	0,2%
Variable Speed Drive for chiller compressor	0,1%

**TABLA 1. OPORTUNIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL SECTOR INDUSTRIAL. FUENTE: CHAN & KANTAMANENI, 2015**

El almacenamiento eléctrico permite una **integración descentralizada de las fuentes renovables**. Por otro lado, los modelos de *smart grid* permiten ahorrar energía masivamente aprovechando lo mejor de las renovables, la eficiencia energética y los nuevos modelos de negocio.

La disponibilidad de patrones de consumo de energía en permite a la fábrica comprar energía a varios suministradores basándose en los precios de la energía de diferentes periodos. Además, se puede definir la cantidad de energía que se debe comprar en base a datos reales y planes de producción. La **identificación de patrones en el consumo de energía** permite también intervenir en el mantenimiento (por ejemplo, reparación y sustitución) que eviten incrementos injustificados en el uso de energía. Por ejemplo, el departamento de mantenimiento puede determinar que es necesario realizar el cambio de un filtro después de un cierto tiempo porque aumenta el consumo de energía. Esto permite realizar un **mantenimiento proactivo** que se aplica cuando los indicadores de energía muestran que el equipo va a fallar.

La monitorización facilita a las fábricas obtener la **certificación ISO 50001**. Además implica una mejora continua en la eficiencia energética. Se puede evaluar el uso de energía en la producción casi en tiempo real utilizando indicadores clave de rendimiento energético (e-KPIs). También ayuda a los trabajadores y supervisores el hecho de monitorizar en tiempo real y, en consecuencia, tomar decisiones.

Resulta de interés poder **integrar los datos energéticos en el diseño de procesos**. Se pueden considerar datos detallados de energía en simulaciones y otras herramientas para mejorar el consumo de energía.

En el caso de que una fábrica genere energía, exista un sistema de autogeneración mediante energías renovables, se puede utilizar la previsión meteorológica para construir programas de producción en función de la energía que se espera que se genere y requiera, y luego usar datos en tiempo real para ajustar la producción basado en la energía real generada.

Con respecto a la economía circular, esta ofrece una oportunidad para reinventar la economía actual, haciéndola más sostenible y competitiva. Esto traerá beneficios para las empresas, la industria y los ciudadanos por igual.

La **fase de producción** tiene un impacto en el medio ambiente, el suministro de recursos y la generación de residuos. La economía circular se aplica desde principio del ciclo de vida de un producto: el diseño inteligente de productos y los procesos de producción pueden ayudar a ahorrar recursos, evitar la ineficiencia de la gestión de residuos y crear nuevas oportunidades de negocio.

**Transformar los residuos en recursos** es esencial para incrementar la eficiencia de los recursos y cerrar el ciclo del producto. Actualmente, Europa desecha unos 600 millones de toneladas de materiales de residuos (European Commission), que podrían ser reciclados o reutilizados. Se hace necesario aplicar el concepto de jerarquía de los residuos, para priorizar la prevención, la reutilización, refabricación y el reciclado, siendo la eliminación la última de las alternativas para su tratamiento.

La cuantificación y seguimiento de los productos y residuos permite impulsar las actividades de reutilización. La responsabilidad de un producto se extiende a la fase post-consumo del ciclo de vida de un producto, con el fin de mejorar su desempeño y transparencia.

En una economía circular, los materiales de los productos al final de su ciclo de vida deben recuperarse mediante su **desmontaje y reciclaje**. Reinyectar estos materiales al comienzo del ciclo de vida del producto reduce el impacto ambiental y los costes de producción.

Los principios básicos de la economía circular se deben de aplicar en el entorno industrial con el objetivo de **mejorar el rendimiento económico del uso de los materiales y recursos**. Para ello se debe realizar un análisis del uso de recursos para poder evaluar si se realiza un uso eficiente de todos los inputs (materia prima, agua, energía, envases, embalajes, mano de obra, etc.) que intervienen en el proceso. Por otro lado, el ecodiseño y el análisis de ciclo de vida del producto, evaluando todas sus etapas del ciclo de vida, permite mejorar el uso de los recursos.

La prevención de residuos, el diseño ecológico, la reutilización y medidas similares podrían suponer para las empresas de la UE unos ahorros netos de 600 000 millones de euros, el 8% de su volumen de negocios anual, además de reducir las emisiones totales anuales de gases de efecto invernadero en un 2% a 4% (AMEC Environment & Infrastructure and Bio Intelligence Service. European Commission, 2013).

Los principios de la economía circular conducen a **cuatro fuentes claras de creación de valor**, que ofrecen oportunidades en comparación con el diseño y uso lineal de los productos y materiales (Fundación Ellen MacArthur, 2014):

1. El **“poder del círculo interior”** se refiere en minimizar el uso de materiales con relación al sistema de producción lineal. Cuanto más corto es el círculo, menor es el cambio en que se debe someter un producto para poder ser reutilizado, transformado o refabricado y más rápido puede volver a ser utilizado siendo mayor será el potencial de ahorro en los costes de material, mano de obra, energía y capital incorporados al producto mientras se reducen las múltiples externalidades asociadas (tales como emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), agua, toxicidad).
2. El **“poder circular por más tiempo”** se refiere a maximizar el número de ciclos consecutivos (ya sea reutilización, refabricación, o reciclaje) y/o el período de cada ciclo.
3. El **“poder del uso en cascada”** se refiere a diversificar la reutilización a través de las fases de una cadena de valor, tal como ocurre en la ropa de algodón, por ejemplo, que se reutiliza primero como ropa de segunda mano, luego pasa a la industria de muebles, como relleno, y finalmente se

utiliza en la construcción como aislante, sustituyendo así en cada caso un flujo de materiales vírgenes, antes de que las fibras de algodón retornen a la biosfera de forma segura.

4. El **“poder de los inputs puros”**, finalmente, reside en el hecho de que los flujos de materiales no contaminados incrementan la eficiencia en la recogida y redistribución mientras mantienen la calidad, particularmente de los elementos técnicos, que, a su vez, extienden la longevidad del producto, aumentando así la productividad del material.

Una economía circular “diseña” residuos e incluye la **innovación en toda la cadena de valor**, en lugar de basarse solamente en soluciones adoptadas al final de la vida útil de un producto. Algunos ejemplos de aplicación son (Comisión Europea, 2014):

- reducción de la cantidad de materiales necesarios para la prestación de un servicio concreto (**aligeramiento del peso**).
- Alargamiento de la vida útil de los productos (**durabilidad**).
- Reducción del consumo de energía y de materiales en las fases de producción y de uso (**eficiencia**).
- Reducción del uso de materiales peligrosos o difíciles de reciclar en productos y procesos de producción (**sustitución**).
- Creación de mercados para materias primas secundarias (**recicladas**) basados en normas, en la contratación pública, etc.
- Diseño de productos que sean más fáciles de mantener, reparar, actualizar, reelaborar o reciclar (**diseño ecológico**).
- Desarrollo a este respecto de los servicios necesarios para los consumidores (servicios de mantenimiento y reparación, etc.).
- Incentivación y apoyo de la reducción de residuos y de la separación de alta calidad por parte de los consumidores.
- Incentivación de los sistemas de separación y recogida que reduzcan al mínimo los costes de reciclado y reutilización.
- Facilitación de la agrupación de actividades para impedir que los subproductos se conviertan en residuos (**simbiosis industrial**).
- Estímulo de la oferta a los consumidores de una gama de opciones mejor y más amplia a través de servicios de alquiler, de préstamo o de uso compartido como alternativa a la propiedad de los productos, al mismo tiempo que se salvaguardan sus intereses (en lo que respecta a los costes, a la protección, a la información, a las cláusulas contractuales, los aspectos de seguro, etc.).

## 2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA

La idea principal del sistema de gestión de la energía se basa en el **control dinámico del consumo de energía** y el **almacenamiento de energía** de acuerdo con la potencia generada por el sistema de energías renovables, en el caso de que lo haya. Los sistemas de gestión de la energía clásicos normalmente suministran información (*feedback*) al gestor de energía y no controlan dinámicamente los procesos industriales. De esta forma, las tecnologías y soluciones del campo del IoT y la Industria 4.0 puede ser utilizados para ir más allá en los sistema de gestión de la energía (Carlini, y otros, 2016).

Optimizar el uso de fuentes renovables, minimizar el impacto ambiental, mejorar el ratio de coste-eficiencia son los principales objetivos considerados para el diseño del sistema de gestión de la energía. Otro requisito es que todos los recursos y flujos de energía deben estar monitorizados. Por lo tanto, la infraestructura y los dispositivos existentes de la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), como las herramientas de medición, deben integrarse en el sistema de gestión de la energía. La información recopilada debe analizarse para realizar indicadores clave. La implicación es que los dispositivos de medición deben ser capaces de **analizar y procesar una gran cantidad de información en tiempo real**.

Además, es necesario desarrollar un modelo de dominio de todas las fuentes de energía. Este modelo define todas las entidades y sus propiedades y puede ser utilizado por los servicios energéticos para comunicarse entre sí y almacenar toda la información en un sistema de base de datos. De esta forma, se desarrolla un **modelo de datos de energía cruzada dentro del nuevo sistema de gestión de la energía** en donde no solamente se considera la energía eléctrica, sino que también se tiene en cuenta la energía térmica y mecánica. Un ejemplo de dichas relaciones se puede observar en la **ilustración 5**.

Existen funciones en el modo de operación para monitorizar, predecir y controlar las fuentes de energía (para generación, almacenamiento y consumo). Aquí, las funciones deben cumplir ciertos requisitos o poseer ciertas características. La monitorización del estado del sistema debe realizarse con suficiente precisión y velocidad de muestreo. Estos parámetros dependen de las fluctuaciones de potencia de los respectivos componentes. Cuando se optimiza el uso de energía, se usan ecuaciones diferenciales para describir las propiedades físicas de los componentes individuales del sistema y sus restricciones. Teniendo en cuenta las restricciones, también se tienen en cuenta las limitaciones operacionales definidas por el personal técnico. Las tecnologías de almacenamiento de datos más diversas se pueden utilizar para el almacenamiento. Estas tecnologías deben ser capaces de analizar grandes cantidades de datos en tiempo real (tecnologías para la industria 4.0, *Big Data*). Las dependencias dentro de la cadena de proceso pueden analizarse utilizando el servicio de análisis de energía, lo que permite revelar nuevos potenciales de mayor flexibilidad, así como modelar nuevos modos de operación que tengan un impacto positivo en el consumo de energía. La **ilustración 6** muestra la **arquitectura de las nuevas funcionalidades y comunicaciones** del sistema de gestión de la energía.

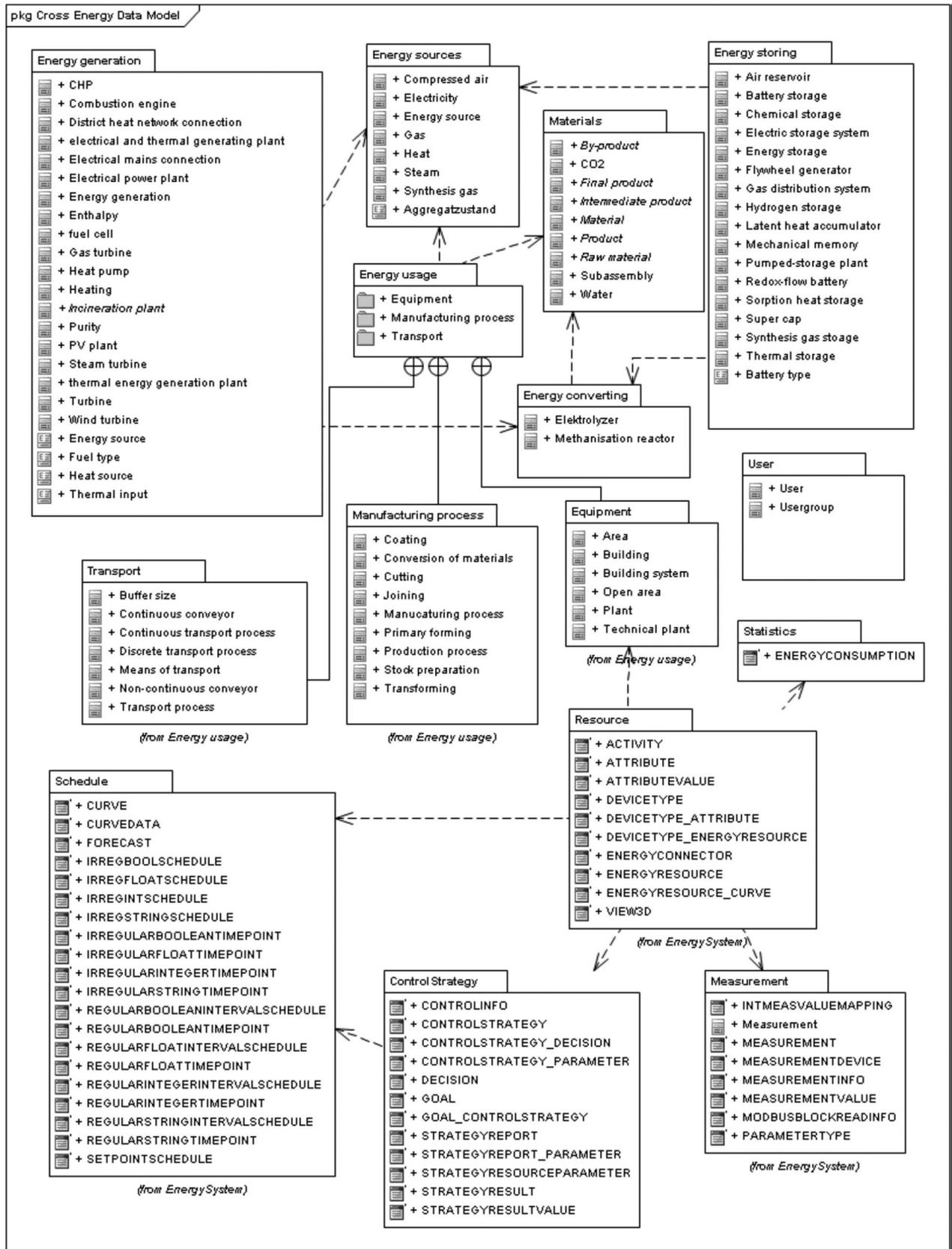


ILUSTRACIÓN 5. ARQUITECTURA DEL MODELO DE DATOS. FUENTE: PELZER, LOMBARDI, ARENDARSKI, & KOMARNICHI, 2016

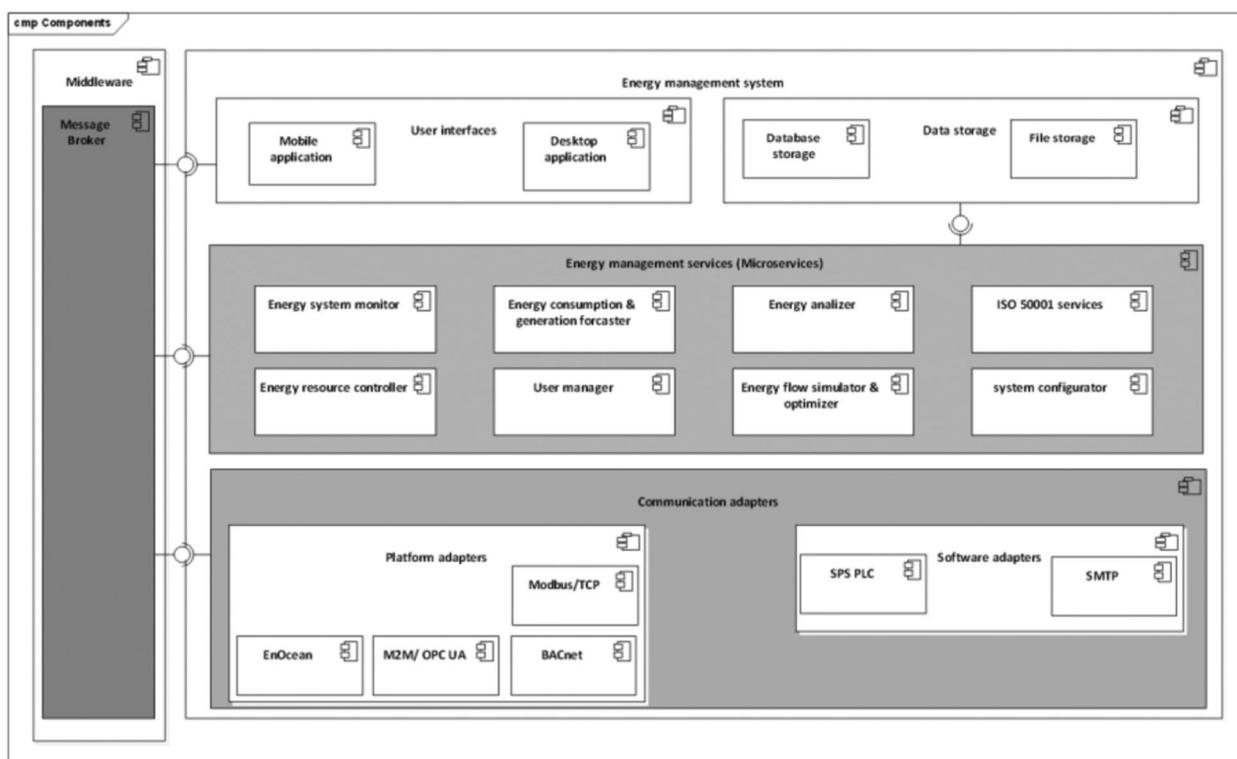


ILUSTRACIÓN 6. ARQUITECTURA DE FUNCIONALIDADES Y COMUNICACIONES. FUENTE: PELZER, LOMBARDI, ARENDARSKI, & KOMARNICHI, 2016

Para llevar a cabo una gestión avanzada de la energía es necesario disponer de un **sistema de monitorización y telecontrol** que permita la optimización de los consumos energéticos, se trata de la base de la gestión energética. Entre los **componentes básicos** de este tipo de sistemas se pueden mencionar (ILUSTRACIÓN 7):

- **Medidores y sensores.** Estos se seleccionan en función de las necesidades de cada uno de los puntos de medida identificados.
- **Concentradores.** Son los dataloggers que se ocupan de concentrar la captura de datos y envían la información.
- **Comunicaciones.** Es el sistema de comunicación que conecta y transmite información entre todos los equipos del sistema de monitorización y telecontrol.
- **Software/plataforma de gestión energética.** Esta se encarga de tratar y procesar la información de las medidas para poder realizar la interpretación de los datos y la toma de decisiones.

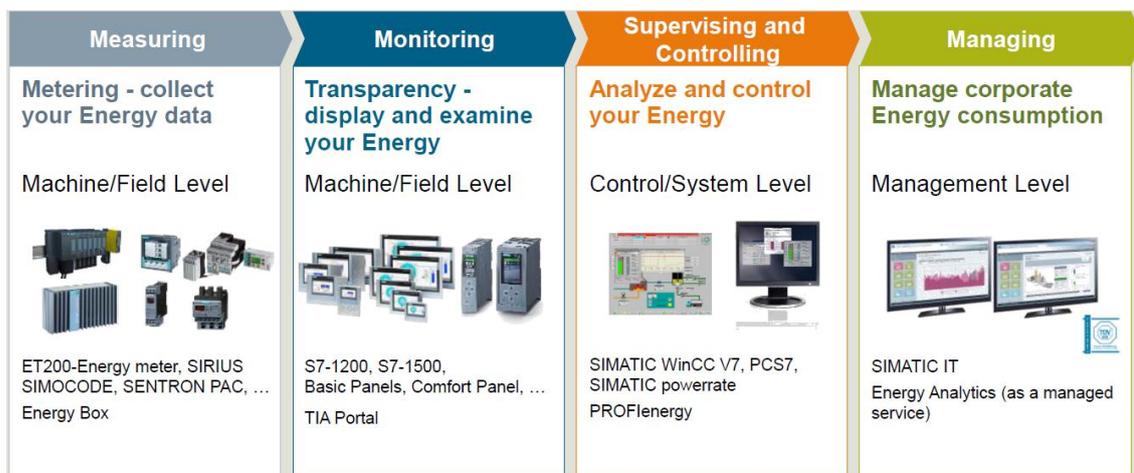
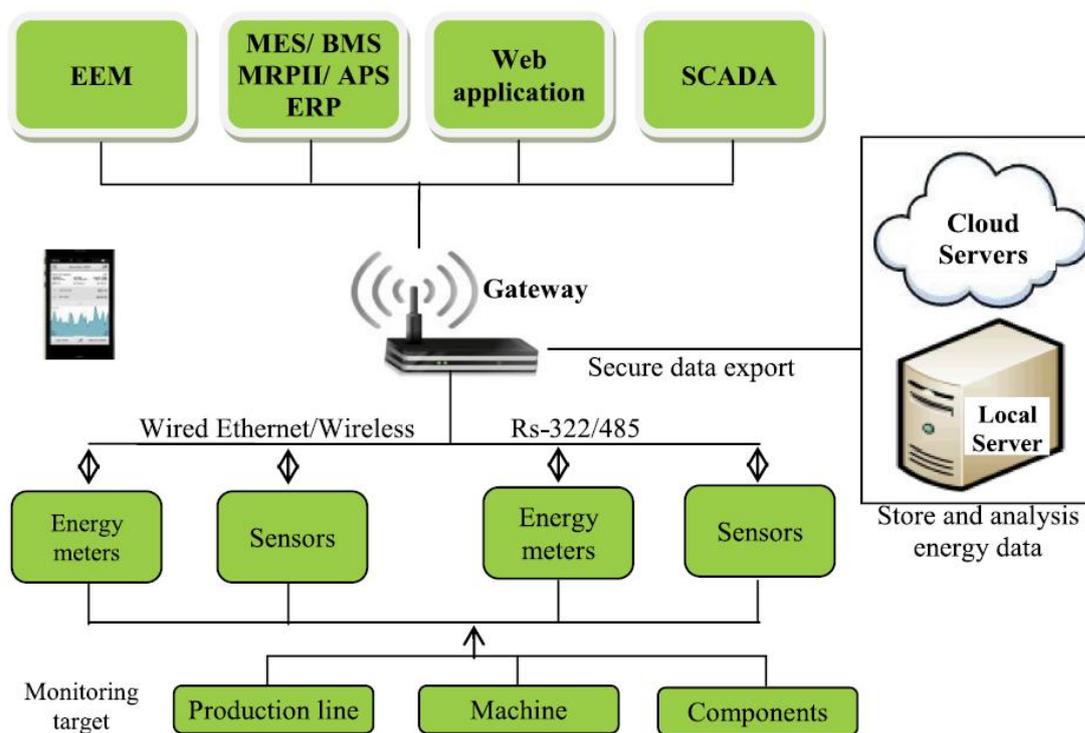


ILUSTRACIÓN 7. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA. FUENTE: SIEMENS, 2016

Los **sensores y contadores inteligentes** pueden conectarse a través de redes o redes inalámbricas, los medidores de energía disponibles en el mercado pueden registrar varios parámetros (por ejemplo, consumo de energía, factor de potencia, picos de tensión, etc.), por lo que proporcionan un alto nivel de flexibilidad en el seguimiento y análisis del consumo de energía.

Los sensores pueden ser implantados en línea de producción, máquinas individuales o incluso en componentes individuales. Los datos recopilados se envían a una puerta de enlace y, a continuación, son transferidos a un ordenador local o internet a través de un **protocolo estándar de comunicación**, como la tecnología inalámbrica ZigBee. Si se utilizan redes inalámbricas, los sensores se pueden colocar de manera más flexible en todo la fábrica.

Finalmente, los datos se introducen en el software para el análisis y/o introducir en otros sistemas empresariales tales como sistemas de gestión (*Building Management Systems –BMS-*), producción avanzada (*Advanced Production and Scheduling systems –APS-*), (*Manufacturing Resource Planning –MRPII-*) o simplemente en la planificación de recursos de la empresa (*Enterprise Resource Planning –ERP-*). Los datos de la medición inteligente también pueden integrarse con un **sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA)** (ILUSTRACIÓN 8).



**ILUSTRACIÓN 8. ESQUEMA DEL ESQUEMA GENERAL DEL INTERNET DE LAS COSAS PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA ENERGÍA. FUENTE: SHROUF & MIRAGLIOTTA, 2015**

Por lo tanto, los datos pueden ser recogidos por medidores inteligentes y sensores casi en tiempo real, y se pueden almacenar y analizar en la fábrica o en la nube (**Big Data**). El **análisis de datos** es un paso significativo para identificar el patrón de consumo de energía, definiendo las fuentes de consumo y transformando los datos recogidos en información.

Además, se pueden utilizar técnicas como la **extracción de datos (Data mining)** para analizar los datos acumulados de energía para encontrar los puntos ineficientes con respecto al consumo de energía, el volumen de tales en algunas fábricas requiere el análisis en el ámbito del **Big Data**.

De esta forma, la información relacionada con la energía debe integrarse en la gestión de la producción disponible y en las herramientas que apoyen la mejora de la eficiencia, tales como **herramientas de simulación, algoritmos de optimización, sistema de apoyo a la decisión energética (e-DSS), e-KPIs y visualización herramientas**.

Los sistemas de gestión de la energía son un conjunto de procesos de negocio que permiten a los administradores de instalaciones poder actuar sobre los datos de uso de energía y optimizar la eficiencia, así como la identificación de áreas de mejora.



**ILUSTRACIÓN 9. GESTIÓN ESTRATÉGICA CONTINUA DE LA ENERGÍA, EL AVANCE PROGRESIVO DE LAS ACTIVIDADES DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA INSTALACIONES INDUSTRIALES. FUENTE: US DEPARTMENT OF ENERGY, 2017**

La **gestión estratégica de la energía** se materializa en un conjunto de procesos que permiten a una organización para implementar acciones de gestión de la energía y lograr de manera consistente las mejoras de eficiencia energética. La gestión estratégica de energía permite una mejora continua del rendimiento energético, proporcionando los procesos y sistemas necesarios para incorporar consideraciones de energía y gestión de la energía en las operaciones diarias. La evaluación comparativa es un componente clave de la gestión estratégica de la energía.

Para ello, es necesario disponer de **herramientas TIC** que permitan la adquisición de datos en tiempo real, la obtención de patrones de consumo, la identificación de ineficiencias, la propuesta de medidas correctivas y la toma de decisiones.

También necesario disponer de aquellos **componentes físicos de instrumentación y control** para la medición y el posterior registro y tratamiento de aquellas variables energéticas y de aquellas variables críticas que afectan al consumo energético, a partir de las cuales puedan obtenerse los datos de consumo energético correspondientes a un determinado proceso o línea de producción.



**ILUSTRACIÓN 10. ANALIZADORES DE REDES Y SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA LA MEDICIÓN Y REGISTRO DE CONSUMOS ENERGÉTICOS EN UNA PLATAFORMA DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL EN UNA PLANTA INDUSTRIAL**

Con el histórico de mediciones se obtienen los **modelos calibrados de consumo energético** de los equipos y sistemas, a partir de los cuales se establecen los correspondientes **patrones de consumo eficientes de referencia**. Para ello, es necesario el desarrollo de modelos matemáticos que permitan explicar cómo varía el consumo energético en función de la/las correspondientes variables independientes que le afectan, así como la realización de un análisis estadístico que permita evaluar la precisión del modelo matemático obtenido y si éste es lo suficientemente representativo.

Con las mediciones en tiempo real, el sistema es capaz de comparar el consumo energético por proceso o línea de producción con el modelo energético de referencia, lo cual permite identificar los patrones de consumo de la operativa en cada momento y, en su caso, identificar el posible grado de ineficiencia con el que se está operando, situación ante la cual el sistema propondrá medidas correctivas de actuación, las cuales podrán ser ejecutadas por un operario o de forma automática por el sistema de control. En la propuesta de soluciones, el sistema informa de cuál es la repercusión de cada una de ellas a nivel de ahorro energético y a nivel de ahorro de emisiones de GEI.



**ILUSTRACIÓN 11. EJEMPLO DE INTERFAZ DE MONITORIZACIÓN DE CONSUMOS E INDICADORES ENERGÉTICOS**

El sistema es capaz de aprender de los sucesivos **procesos de identificación-propuesta de actuación-solución adoptada** para ofrecer precisiones crecientes en las detecciones de ineficiencia y en la propuesta de soluciones.

Dependiendo del ámbito de actuación, el sistema incorpora funcionalidades basadas en el desarrollo de **modelos predictivos** que permitan la optimización energética de ciertos procesos ante la previsión de la variación de determinados parámetros críticos que puedan afectar al consumo energético (condiciones climáticas externas, niveles de carga, previsión de producción, previsión de ocupación, etc.).

Un flujo de datos en todo el sistema entre el software del equipo y de la empresa abre una amplia gama de indicadores que proporcionan información no sólo sobre los tiempos de procesamiento, las eficiencias, las tasas de desecho o la calidad-coste, sino también se centra en los recursos y energía, estabilidad del proceso y tensión de la máquina.

Por otro lado, los **avances tecnológicos** también facilitan la transición de una economía lineal a circular (World Economic Forum, 2014). Estos avances permiten tener una mejor trazabilidad de los materiales, un mayor conocimiento y mejorar la logística del sistema.

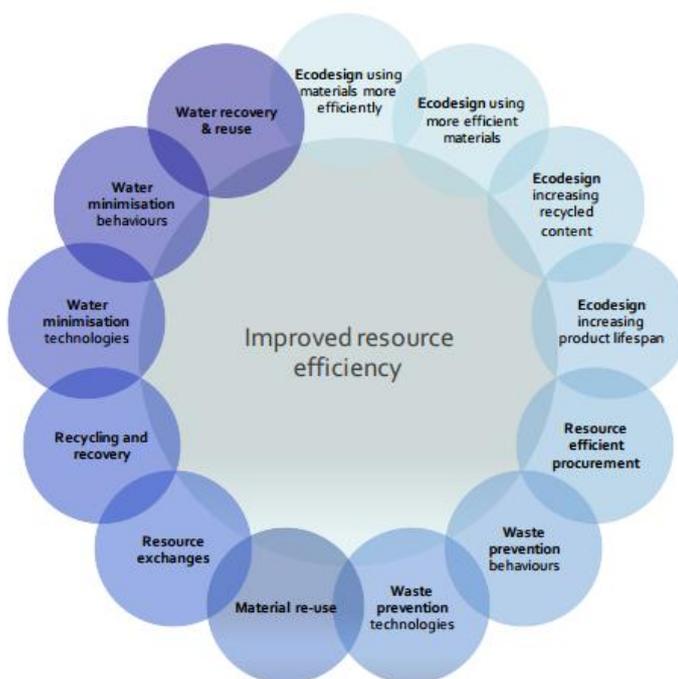
- **Identificación por radiofrecuencia (RFID).** Es fundamental para el éxito de los modelos de negocios basados en economía circular, permitiendo conocer el estado y la localización de los materiales, componentes y productos, lo cual reduce el coste de procesamiento. El uso de RFID tiene una gran capacidad para impulsar la reutilización de materiales. Uso de la tecnología RFID en la clasificación de prendas en el sector textil al final de sus vidas, por ejemplo, permitirán identificar la cascada para cada tipo de textil más adecuados e identificar las aplicaciones de mayor valor que en el caso actual.
- El IoT permite **realizar el seguimiento de la eficiencia** que antes era inconcebible. En la ciudad de Niza, por ejemplo, Cisco y Think Global alianza son Mostrando un concepto de Internet de las cosas llamado *Connected Boulevard*. Esta iniciativa ha equipado a la ciudad diferentes sensores y dispositivos de detección que capturan datos de la vida diaria con una infraestructura conectada a través de una red wifi de Cisco. Los datos se transforman en información en tiempo real y se convierten en inteligencia con la ayuda de una localización contextual. La ciudad puede esperar mejoras en el flujo de tráfico, menos contaminación, y podría potencialmente ahorrar entre un 20 y un 80 por ciento en facturas de electricidad mediante la calibración de la intensidad peatones, picos de tráfico y predicción meteorológica.

Las TICs proporcionan un conjunto de capacidades empresariales que son esenciales para la expansión de los modelos de negocio inspirados en la economía circular. El internet de las cosas expondrá la "historia de la vida" de los materiales, los componentes y los productos que permitirá la reintegración automática y continua de los materiales en los sistemas económicos con criterios de transparencia, calidad y valor. Por otro lado, **los datos recopilados y los conocimientos adquiridos facilitarán una innovación aún mayor**, acelerando aún más el interés de las partes interesadas en la economía circular.

- **Socios para la revalorización.** La tecnología facilita la identificación de socios potenciales para la revalorización, permite generar beneficios productos que se habían convertido en residuos para un determinado proceso.

- Las tecnologías avanzadas de fabricación y procesamiento establecen nuevos paradigmas para la adopción de modelos de economía circular con menor coste. Por ejemplo, la **impresión 3D** reduce sustancialmente los residuos en el propio proceso de fabricación, permite una reducción del inventario de productos pasando a hacer fabricación sobre pedido (*make-to-order*) y, entre otras cosas, la fabricación de piezas de recambio.
- Las **tecnologías avanzadas de tratamiento** (como pueden ser la digestión anaeróbica, el filtrado de proteínas de las aguas residuales) permiten grandes mejoras en el valor que se obtiene de los residuos biológicos a día de hoy. También existen oportunidades para combinar flujos de residuos (CO<sub>2</sub>, calor, aguas residuales, nutrientes) en el sector agroindustrial. La valorización del CO<sub>2</sub> como un recurso ha experimentado mejoras sustanciales en los últimos años, ya que la investigación primaria se está traduciendo en aplicaciones. Muchas otras tecnologías como polímeros fabricados a partir de CO<sub>2</sub>, la descarbonización de la producción de cemento, así como muchos otros se irán integrando en la industria. Nuevas tecnologías y sistemas de embalaje que permiten alargar la vida de los alimentos y minimizar los residuos (por ejemplo embalaje compostable) y otros materiales innovadores. Todas estas tecnologías podrían contribuir a aumentar el valor del modelo de economía circular y reducir los costes unitarios.

Por ejemplo, en el sector textil, **Worn Again**, está trabajando en el desarrollo de procesos de recaptura de poliéster y celulosa de algodón que puede ser reintroducido en el las cadenas de suministro de poliéster y viscosa. Se espera que hasta un 99,9% el poliéster y la celulosa disponibles serán recapturados y devueltos como recursos a estas cadenas de suministro.



**ILUSTRACIÓN 12: PRINCIPALES MEDIDAS DE EFICIENCIA EN LA INDUSTRIA. FUENTE: AMEC ENVIRONMENT & INFRASTRUCTURE AND BIO INTELLIGENCE SERVICE. EUROPEAN COMMISSION, 2013**

## 2.1 EQUIPAMIENTO DISPONIBLE EN EL MERCADO

A la hora de realizar un análisis de los posibles sistemas de gestión de energía a implementar es necesario tener en cuenta **funcionalidades** como:

- Multiusuario: prestaciones adaptadas a cada nivel de servicio.
- Panel de control, cuadro de mandos o dashboard a medida para cada cliente.
- Capacidad avanzada de representación gráfica.
- Medición de múltiples fuentes de suministro o consumo de energía: electricidad, agua, combustibles, parámetros ambientales, energía térmica (frío y calor), residuos, etc.
- Monitorización en tiempo real.
- Facilidad de uso.
- Exportación de información a diversos formatos (“.xlsx”, “.csv”, etc.).
- Múltiples instalaciones en una sola plataforma.
- Gestión de contrataciones, facturas y tarifas.
- Estimación de facturación energética.
- Multi-fabricante: Integración de equipos de terceros. Compatibilidad con diversos fabricantes de sensores, contadores e instrumentos de medida: analizadores de redes, contadores de pulsos, sensores de temperatura y humedad, contadores de térmicos, etc.).
- Integración con sistemas existentes: SCADA y BMS.
- Integración de protocolos estándar: KNX, DALI, Mbus, Zigbee, Bacnet, Lonworks, IEC-870.5-102, etc.
- Posibilidad de integración de Alarmas.
- Actuación remota mediante programación.
- Inteligencia Artificial y ayuda a la toma de decisiones.
- Reportes e informes periódicos predefinidos y personalizables.
- Integración del protocolo de medida y verificación de ahorros IPMVP de EVO.
- Cálculos de líneas base energéticas.
- Implementación y obtención de las certificaciones ISO 50001, LEED, BREEAM.
- Costes de la plataforma (licencias, hardware -equipos de medida-, etc.).
- Soporte y asistencia técnica.
- Formación en línea y/o presencial.
- Análisis del SW remoto.

En el mercado actual existen varias empresas que ofrecen **soluciones de innovadores de monitorización** en el sector industrial, como EpiSensor, Wi-Lem, Watts Up, SATEC, ReMake Electric, Energy Metering Technology LTD, Socomec, General Electric, Mitsubishi, Schneider, SEINON, ECOMT, SISTROL y Siemens. Del mismo modo, varias empresas proporcionan el software de gestión de la energía (*Enterprise Energy Management* –EEM-) para analizar los datos recopilados, como ResourceKraft, Google, eSightenergy y EFT-energía (Shrouf & Miragliotta, 2015).

### 3. APLICACIONES POR SECTOR

En este apartado se pretende dar una visión de la implantación de sistemas de gestión de la energía en algunos sectores industriales. Además, la implantación del concepto de Industria 4.0 permite evaluar cómo se realiza y gestiona la línea de negocio actual, y analizar los problemas, barreras y necesidades que las empresas tienen para introducir el concepto de reducir, reutilizar y recuperar, los materiales utilizados.

La **Plataforma Europea sobre la Eficiencia en el Uso de los Recursos** (European Resource Efficiency Platform (EREP), 2014) ha identificado oportunidades que permiten devolver los materiales al proceso de producción o a distintos segmentos de la cadena de suministro como son:

1. en la **fase de producción**, las normas de externalización sostenible, los regímenes voluntarios impulsados por la industria y los minoristas, y la simbiosis industrial con objeto de ofrecer mercados para los subproductos.
2. en la **fase de distribución**, la mejora de la información sobre los recursos contenidos en los productos y sobre el modo de repararlos o reciclarlos, de acuerdo con las recomendaciones de la Plataforma sobre los «pasaportes de producto»; y
3. en la **fase de consumo**, los modelos de consumo colaborativo basados en el préstamo, canje, permuta y arrendamiento de productos y los sistemas producto-servicio para aumentar el valor de activos o recursos infrautilizados (por ejemplo, automóviles, herramientas, viviendas).

Las empresas de fabricación individuales pueden empezar a implantar los **principios de la economía circular** y de hecho muchas empresas ya lo están haciendo. Con la planificación e implementación de cambios graduales se puede lograr el objetivo de un negocio más sostenible. De esta forma, a medida que más y más empresas funcionan de una manera que es compatible con la economía circular, entonces el objetivo de una economía circular se convierte en una realidad más cercana.

Las empresas pueden comenzar su viaje hacia un enfoque más circular examinando sus productos individuales; hacer cambios y la implementación de nuevos diseños en la fase inicial del proceso, ya que algunos fabricantes de automóviles como BMW y Ford ya lo han hecho (Coara Commercial Asset Recycling, 2015).

Es evidente que las industrias son diferentes por lo que cada negocio tiene que revisar la forma en que hacen negocios y donde puedan empezar a hacer cambios, pero para ello se requiere el compromiso de los ejecutivos de alto nivel para encontrar soluciones y poder realizar los cambios necesarios.

Es necesario identificar cada **etapa del ciclo de vida** de un producto:

1. **Entrada de material**
2. **Ecodiseño:** El ecodiseño es una gestión estratégica que considera los impactos ambientales de todo el ciclo de vida de productos, procesos, servicios, organizaciones y sistemas. Las estrategias de diseño ecológico, como el reciclaje o desmontaje, puede facilitar la remanufactura y bucles cerrados en general, mientras que también hace los productos adecuados para el servicio, alquiler y alquiler. El diseño para el desmontaje permite una disminución en el costo de desmantelamiento de un producto, pueden conducir a un mayor reciclaje y reutilización de producto en sí o sus componentes. Como consecuencia, los flujos de residuos asociados con el producto se reducen y los impactos asociados con la producción de productos o partes.

3. **Producción:** Una economía circular apunta a la producción de procesos que minimizan el material de insumos y limitan la producción de residuos no reciclables o peligrosos. La remanufacturación, por ejemplo, utiliza productos o componentes existentes para crear nuevos con las mismas propiedades que y es así una manera de minimizar.
4. **Consumo:** Las elecciones de consumo por parte de los ciudadanos, gobiernos y empresas tienen una influencia considerable en la realización de una economía a través de su elección de productos y servicios, patrones de uso, opciones de eliminación y comportamiento. Los efectos sobre el consumidor de la economía circular pueden hacer elecciones circulares tales como compartir los activos existentes, elegir productos aptos para la reutilización, reparación y renovación.
5. **Residuos:** Uno de los pilares centrales de economía circular es que los materiales vuelvan a la economía, evitando que los residuos se envíen al vertedero o sean incinerados, capturando así el valor de los materiales en la medida de lo posible y reducir las pérdidas.

En general, en los países en desarrollo, se pierden más oportunidades de aplicación de la economía circular en la etapa de fabricación. En los países desarrollados, las pérdidas se concentran más al nivel del consumidor (Ellen Macarthur Foundation, 2013). Cada vez más la industria aplica estrategias de economía circular. Por ejemplo, el **proyecto Surplus Mall** pretende impulsar la simbiosis industrial en la UE mediante el desarrollo de una plataforma TIC para la comercialización de subproductos industriales involucrando a empresas generadoras de excedentes, empresas demandantes y agentes intermediarios encargados de la logística, gestión y control de estos materiales.

En los siguientes apartados se presenta la situación y evolución de algunos sectores para definir nuevos modelos de economía circular, así como destacar casos de buenas prácticas que ya se están implementando.

### 3.1 SECTOR AGROALIMENTACIÓN

El sector agroalimentario es un sector donde la innovación para avanzar hacia una economía circular está tomando mucha fuerza. La **gestión de desechos de la industria alimentaria** puede incluir numerosos tratamientos (por ejemplo, métodos físicos, químicos, térmicos y biológicos) con varias ventajas y desventajas (Winans, Kendall, & Deng, 2017) (Mirabella, Castellani, & Sala, 2014). Por ejemplo, la valorización de los residuos de procesamiento de alimentos como alimento para animales es una de las prácticas más tradicionales. Los residuos ricos en grasa y proteínas son adecuados para alimentación animal omnívora, mientras que los sustratos de alto contenido en celulosa y hemicelulosa pueden ser adecuados para alimentar a los rumiantes. Sin embargo, la posible presencia de materiales tóxicos, que tienen un efecto antinutritivo y composiciones de nutrientes desequilibradas, puede poner en peligro tanto a los animales como a los humanos. El coste de transporte (debido a la distancia entre la ubicación de la producción de desechos y el lugar de utilización) a menudo hace que esta fuente de alimentación sea tan costosa como la alimentación animal convencional (Otles, Despoudi, Bucatariu, & Kartal, 2015). **El compostaje o el vermicompostaje** se pueden utilizar para obtener fertilizantes y poder cerrar el círculo. Otra alternativa de tratamiento es obtener energía de estos a través de la digestión anaeróbica y los **tratamientos termoquímicos** (por ejemplo, combustión, gasificación y pirólisis) son los principales métodos de conversión de biocombustibles (Otles et al., 2015).

Un ejemplo de valorización energética de residuos alimentarios es la planta piloto semi-industrial que permite **obtener biogás y biofertilizantes de la paja de arroz** mediante digestión anaerobia, instalada en Valencia. Otro ejemplo es la planta piloto para el aprovechamiento y valorización de los residuos vegetales generados por la industria citrícola en Castellón, que permite obtener aceites y esencias, pienso animal, cama de ganado y biocombustibles. Ambos ejemplos tienen carácter demostrativo y han contado con el apoyo del programa Life para su implementación (Laboratorio Ecoinnovación, 2016).

El caso de **Pepsi**, que obtiene energía a partir de la valorización energética de los residuos de avena en su planta de fabricación de cereales Quaker, lo cual supone una fuente energética barata y de menor impacto ambiental con la que ha reducido el consumo de energía de la planta en un 41%, equivalente a 456.000 m<sup>3</sup> de gas natural.

En este sector también es importante prestar atención a la **gestión del ciclo del agua**, ya que este supone cerca del 50% de la inversión medioambiental de las empresas agroalimentarias españolas, según los datos del INE. Las últimas tendencias en soluciones tecnológicas para la industria alimentaria se basan en una economía circular dirigida a aprovechar el 100% de las aguas residuales que se generan en sus procesos productivos, para darles nuevos usos y lograr la máxima sostenibilidad y eficiencia en el uso de los recursos (ainia, 2016).

En este sentido, se están desarrollando:

- **Tecnologías anaerobias para la valorización de vertidos**, como la tecnología AnMBR (Reactores Biológicos de Membrana Anaerobios) y los sistemas bioelectroquímicos.
- **Tratamientos de aguas residuales de carácter orgánico**, mediante el cultivo de microalgas que permiten obtener biomasas alternativas para transformarlas en bioproductos y bioenergía a través de modelos de biorefinería.
- **Aprovechamiento de los azúcares de las aguas residuales** para la elaboración de envases.
- **Tecnología de co-oxidación supercrítica** que permite eliminar los contaminantes de las aguas residuales de la industria agroalimentaria para producir agua de alta calidad, así como recuperar energía, nitrógeno y fósforo.

Son numerosos los proyectos que existen en este sector que tratan de aprovechar al máximo los recursos. Por ejemplo, en el proyecto **Tomato Masters and Aqua4C**, los tanques para el cultivo de peces utilizan el agua capturada desde los tejados del invernadero. El agua utilizada por la piscifactoría se recicla después de filtración avanzada y post-tratamiento con esterilización UV. Estas aguas se utilizan para regar los invernaderos de tomate (European Commission, 2015).

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente divulga la herramienta **e-SIAB** para mejorar la sostenibilidad de las industrias alimentarias (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016).

Otro ejemplo, es el caso de **MERCADONA**, empresa la cual trabaja con sus interproveedores para mejorar la gestión de los residuos y darles una segunda vida cuando es factible. Se tratan como recursos en algunos procesos productivos y crean sinergias entre distintas industrias, donde los subproductos y residuos de una cadena de fabricación se convierten en las materias primas de otras redes. Se aplican estrategias para reducir los residuos y para gestionar adecuadamente los que genera, fomentando la estrecha colaboración con los fabricantes, proveedores e intermediarios, para minimizar los residuos a lo

largo de toda la cadena agroalimentaria. Un ejemplo de buenas prácticas relacionadas con la economía circular se encuentra en el tratamiento que **SP Berner** (fabricante interproveedor de MERCADONA) realiza de las mantas térmicas agrícolas. La labor de SP Berner, apoyado por MERCADONA, ha conseguido un proceso completamente nuevo que reduce las impurezas por debajo del 0,4%, consiguiendo un material secundario de primera calidad. Toda el agua utilizada en el proceso de lavado del material se recupera y depura, permitiendo su total reutilización en un ciclo cerrado. Solo existen pérdidas por evaporación y salpicaduras, lo que se traduce en una recuperación de agua residual industrial del 87%, en el peor de los escenarios (altas temperaturas). Finalmente, el fango que se arrastra en el proceso de lavado se compacta y es transportado al **Instituto Mediterráneo de Estudios Ecológicos**, donde se recicla para convertirlo en zahorra para la construcción (Fundación COTEC, 2017).

### 3.2 SECTOR AUTOMOCIÓN

La presión en todo el mundo para **reducir las emisiones de carbono y aumentar la sostenibilidad** ha llevado a la industria del automóvil a evolucionar sus procesos de producción y reducir su consumo de energía. La integración de los datos y el uso de las tecnologías emergentes sin duda pueden beneficiar a la capacidad de una empresa para gestionar el consumo de energía. Los fabricantes de automóviles han reconocido desde hace tiempo que la energía es un elemento de línea controlable. Este aumento de la conectividad conduce a los datos de más fácil acceso y una mayor visibilidad que pueden ayudar a las empresas de automoción para tomar decisiones inteligentes cuando se trata de controlar su consumo de energía.

La mayoría de los fabricantes de automóviles (74%) consideran ahora la energía como una cuestión crítica para el negocio y más de dos tercios (67%) planea aumentar su inversión en gestión de la energía (Automotive Manufacturing Solutions, 2014). Actualmente, los **sistemas Machine-to-Machine (M2M)**, Sistemas Ciber Físicos (CPS), Internet de las cosas (IoT) y la industria 4.0 están todos convergiendo para entregar las ganancias de eficiencia energética que continuarán mejorando a medida que estos sistemas de control se integren en todos los aspectos de la producción de automóviles. En el núcleo de la Industria 4.0 se manejan grandes volúmenes de datos que reunirán masas de información de un gran número de sensores en todo el proceso de producción para proporcionar una visión sin precedentes que revelarán cómo la energía puede ser consumida de forma más eficiente.

En las plantas de **BMW** se instalaron contadores inteligentes para reducir el consumo energético (BMW Group, 2014). El sistema está basado en **contadores de electricidad inteligentes**, que miden constantemente el consumo de energía de las instalaciones de producción y robots y los suben al sistema central de **Big Data** de la empresa. Gracias a estos contadores inteligentes, se identifica de forma rápida excesos de consumo, los datos también ayudan a evitar interrupciones inminentes o incluso averías de las instalaciones de producción o robots, garantizando así la calidad requerida de la producción de vehículos. La implementación de este sistema supondrá un ahorro de 25 millones de euros en los próximos 10 años, según las estimaciones realizadas por el grupo BMW.

Durante 2013, el impacto combinado de 175 iniciativas de ahorro de energía en las plantas de Oxford y Swindon de BMW entregó alrededor 47,8 GWh de ahorro de energía. Este nivel de mejora ha sido posible debido a que las instalaciones de producción disponen los sistemas de control que dirigen cada elemento del proceso de fabricación (Automotive Manufacturing Solutions, 2014).

**General Motors (GM)** también ha construido un equipo de gestión de energía que identifica el ahorro de energía y reducción de las oportunidades a través de sus plantas de fabricación. Usando este sistema, la compañía ha estimado un ahorro 3 millones de dólares. El objetivo de GM es la reducción de la intensidad energética en todas sus instalaciones en Estados Unidos en un 20% para 2020.

Como proveedor tecnológico, **Indra** ofrece una solución de negocio global denominada Sofia2 que hace uso de *Big Data* y analytics. Aplicada a la industria, consigue conectar múltiples sistemas y dispositivos, ofreciendo al usuario un entorno desde el que gestionar factorías inteligentes. Algunas de sus funcionalidades para la producción en el sector de componentes de automoción son: el mantenimiento preventivo (gracias al uso de sensores instalados en los equipos, que envían información sobre su uso), el control de la calidad de los diseños fabricados o la eficiencia energética (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014).

**Gestamp** también ha implementado una plataforma de gestión eficiente de energía de Siemens en plantas de producción de España, Alemania, Reino Unido, Francia y Polonia. La plataforma permite monitorizar en tiempo real los parámetros procedentes de distintos sensores, que se almacena en una gran base de datos que aporta información con la que se generan los modelos de comportamiento de los equipamientos. Esto permite predecir los consumos futuros o esperados y compararlos con el funcionamiento real, permitiendo detectar problemas o fallos en los procesos. Esto ha conseguido reducir hasta un 15% el consumo de energía en sus plantas.

Es evidente que algunos de los procesos y sistemas de alto consumo energético no necesitan funcionar a pleno rendimiento todo el tiempo, técnicas avanzadas y sensores están permitiendo a estos procesos se reduzcan.

Por otro lado, algunos fabricantes de automóviles, por ejemplo, que ya están reciclando o reutilizando en algunas partes de sus procesos:

- **BMW** – Los asientos está hechos de fibras recicladas en algunos modelos, como el en el eléctrico BMW i3.
- **Ford** - Utiliza una fibra híbrida para asientos obtenida a partir de plástico reciclado.
- **Jaguar Land Rover** - Usa aluminio que es hasta un 50% reciclado para las piezas de la carrocería.
- **Renault** – Realiza un reacondicionamiento de motores viejos para evitar la contaminación del medio ambiente local cuando los motores están dispuestos en un vertedero.

En el caso concreto de **Renault**, esta empresa ha adoptado algunos principios de economía circular en su negocio (Confederación de Empresarios de Navarra, 2014):

- **Refabricación:** Remanufacturan diferentes piezas mecánicas desensambladas de bombas de inyección, motores, transmisores y otros componentes para su reventa, a un 50-70% de su precio original, con un año de garantía. Esto le ha permitido alcanzar reducciones del 80% en energía, 88% de agua y 77% de residuos de aceite y detergente en la remanufactura frente a la fabricación de nuevos componentes.
- **Diseño para reutilizar:** algunos de los componentes se rediseñan con el objetivo de facilitar su desmontaje, que se vuelvan a utilizar; así como aumentar el ratio de reutilización.

- **Distribuir beneficios en toda la cadena de suministro:** Se ha modificado el sistema de suministro convencional de compra al proveedor de fluidos de corte por un contrato de servicio de mantenimiento, en el que se incluyen los fluidos, suministro y la gestión de los residuos generados. Esto ha permitido una reducción del 90% del volumen vertido.
- **Modelo de negocio de venta de servicio frente a venta de producto:** Renault oferta el alquiler de las baterías para coches eléctricos. De esta forma, se controla el valor residual de los vehículos eléctricos y permite llevar a cabo una trazabilidad completa de las baterías, asegurando un mayor ratio de recogida para su introducción en un ciclo cerrado de reutilización.

Otros sectores también están trabajando en colaboración con los fabricantes de automóviles o de piezas del coche para crear, por ejemplo, mochilas y carteras de bolsas y zapatos utilizando, por ejemplo, neumáticos usados. La industria del acero también hace uso de millones de toneladas de acero de los coches antiguos cada año.

Otro ejemplo es el proyecto **'REPUR' – Reciclado de Poliuretanos** es una iniciativa que ha logrado desarrollar soluciones viables para el reciclado mecánico y/o químico de espumas de poliuretano rígidas y flexibles. Con él, se ha demostrado la viabilidad técnica, económica y ambiental de dos alternativas de reciclado del poliuretano: en primer lugar, como material de relleno en la fabricación de paneles aislantes térmicos. Tras una prueba a escala comercial se ha contrastado que la espuma rígida de poliuretano puede sustituir, en igualdad de propiedades, hasta un 20 % de las materias primas utilizadas en la actualidad como relleno en paneles aislantes. La segunda alternativa de reciclaje consiste en la fabricación de nuevas espumas de poliuretano, adhesivos y detergentes.

El **tratamiento de neumáticos usados** también es un aspecto relevante. La empresa TNU ofrece cobertura a todos aquellos productores (fabricantes e importadores) que quieran sumarse a una solución ecológica integral. Entre las alternativas propuestas están el renovado de las cubiertas que posibilita una segunda vida (recauchutado), hasta la creación de granzas para parques infantiles, mezclas de caucho, campos de fútbol, golf, o atletismo.

#### Sector TIC

Los teléfonos móviles son un ejemplo de **residuos electrónicos**. Cada día se lanzan al mercado nuevos modelos y solamente se recicla un pequeño porcentaje. Sin embargo, un teléfono contiene pequeñas cantidades de metales preciosos (típicamente 300 mg de plata y 30 mg de oro por teléfono), que a través de todos los teléfonos antiguos que no se reciclan podría ascender a un enorme valor monetario desperdiciado.

El desmontaje manual de estos teléfonos es una de las razones por las cuales no es posible recuperar totalmente los metales preciosos de los teléfonos móviles. Incluso algunas sofisticadas tecnologías de reciclaje no puede recuperar todos los metales preciosos, ya que todavía dependen de la fundición - aunque algunos alcanzan una tasa de recuperación del 95%.

Sin embargo, hay algunas **tecnologías emergentes** innovadoras diseñadas para ser más sostenibles desde el punto de vista medioambiental que los tradicionales procesos de reciclaje y que pueden recuperar 80-98% de los metales preciosos por un proceso químico que requiere la misma entrada de energía utilizada

en el proceso tradicional, aunque más sofisticadas, las instalaciones de reciclaje seguir utilizando la fundición

Además de las nuevas tecnologías de reciclaje también hay proyectos en marcha para evitar la generación de residuos de teléfonos móviles mediante el diseño de los teléfonos móviles más sostenibles. Estos proyectos están estudiando la **creación de teléfonos modulares** para que los componentes rotos o fuera desactualizados puedan ser reemplazados o incluso cambiados.

**Google** ya han creado un prototipo de teléfono inteligente modular (Proyecto Ara). Del mismo modo, el Proyecto CLEVER trata de cerrar el ciclo en la recuperación de desechos electrónicos. En este último, un grupo de académicos en el Reino Unido está desarrollando un prototipo de otro teléfono inteligente modular que podría prevenir los futuros residuos de los teléfonos móviles. El prototipo CLEVER utiliza un material de tipo plástico para la carcasa exterior del teléfono que está hecho de un material de origen vegetal que es fácilmente reciclable.

En el caso de las **fotocopiadoras e impresoras RICOH**, éstas se someten a un proceso de refabricación. Además, esta compañía está considerando un plan de logística inversa que permita devolver algunos materiales reciclados a sus plantas de fabricación en Asia, donde se plantea la fabricación de nuevos componentes (Confederación de Empresarios de Navarra, 2014).

El **proyecto CloseWEEE** (CloseWEEE, 2014) desarrolla soluciones integradas para el pre-procesamiento de equipos electrónicos, cerrando el lazo de post-consumo de plástico de alta calidad, mientras que la recuperación de materias primas críticas, incluyendo antimonio y grafito. Este proyecto se centra en las materias primas secundarias y tiene como objetivo mejorar la separación y recuperación.

### 3.3 SECTOR MADERA Y FORESTAL

La implantación de un sistema de gestión de la energía en un aserrado, por ejemplo, permite identificar las medidas de eficiencia energética que se podrían implantar (reducción de la velocidad de serrado, reducir la anchura de la sierra, reducir los períodos de funcionamiento en función de la producción, para automática de las cintas transportadoras en ausencia de material adecuar el tiempo de funcionamiento de los ventiladores en función de la humedad mediante la medición en continuo del contenido de humedad durante el secado, mantenimiento y detección de fugas en el sistema de aire comprimido, entre otros) .En un aserradero, por ejemplo, el calor autoproducido de las virutas de madera se puede tratar como entrada/salida de calor de la caldera o distribuirse a otros usos (principalmente las estufas de secado).

En concreto, el **proyecto ECOINFLOW** (ECOINFLOW, 2017) facilita la implementación del sistema de gestión de la energía y reducir el consumo anual de energía en el sector de la industria europea de los aserraderos a través del compromiso internacional, la colaboración y la transferencia de conocimientos. Con el fin de ayudar a la puesta en práctica del SGE.

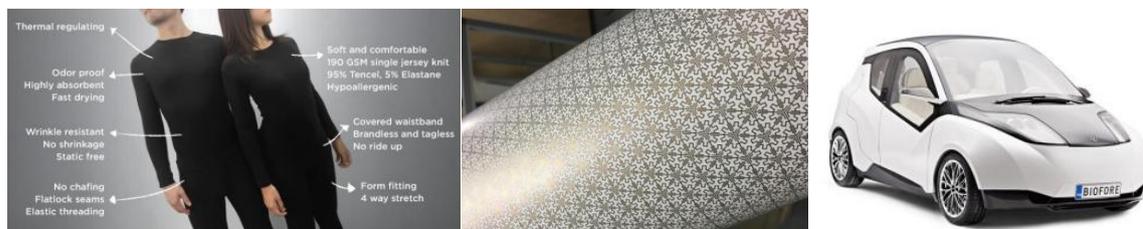


**ILUSTRACIÓN 13. MEDIDOR ULTRASÓNICO DE FLUJO Y CALOR (IZQUIERDA) Y MEDIDOR DE TENSIÓN EN EL CUADRO ELÉCTRICO DE UN ASERRADERO (DERECHA). FUENTE: ECOINFLOW, 2013**

La industria de los forestal, pulpa y papel consume una gran cantidad de energía. Sin embargo, en un entorno de simbiosis industrial, esta industria puede **compartir el calor y la electricidad con las centrales eléctricas municipales** (Winans et al., 2017). Pocos estudios han evaluado sistemas reales de simbiosis industrial para las industrias de la madera y el papel. En la planta Kymi de la UPM Kymmene Corporation en Finlandia presenta una simbiosis industrial con una central eléctrica, una planta de purificación de agua, una planta de tratamiento de aguas residuales y un vertedero (Sokka, Pakarinen, & Melanen, 2011). El estudio demuestra que hay ahorro de emisiones de GEI debido a que las relaciones industriales simbióticas.

Otros estudios (Pakarinen, Mattila, Melanen, Nissinen, & Sokka, 2010) (Mabee, 2011) demuestran **sinergias potenciales entre la energía, los desechos y los flujos de agua** dentro aplicando los principios de la economía circular y se aplica para mejorar el intercambio de materiales forestales.

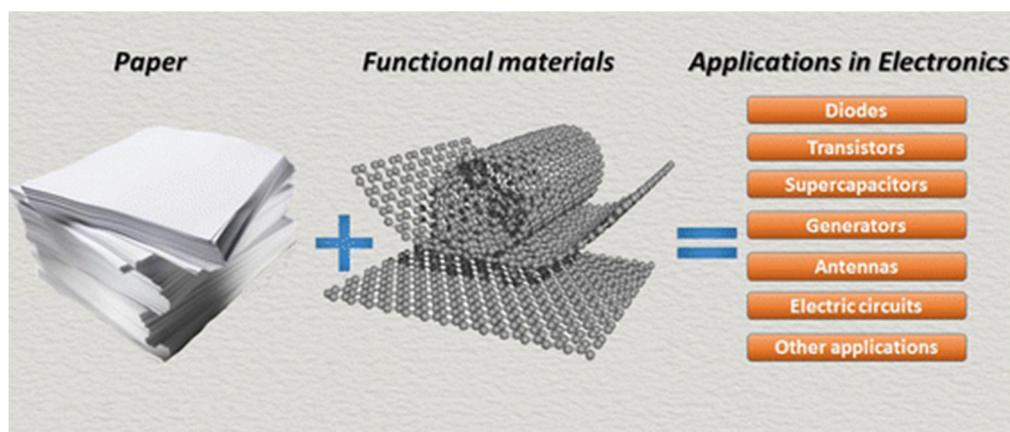
Un ejemplo de innovación en el sector forestal puede ser el **"alimento para peces desde el bosque"** concepto, que produce grandes cantidades de proteína para la alimentación de los peces a partir de residuos de celulosa. Otra aplicación de los residuos de celulosa es la fabricación de fibras textiles, nanocelulosa o materiales compuestos (Ilustración 14).



**ILUSTRACIÓN 14. APLICACIONES DE LOS RESIDUOS DE CELULOSA. FUENTE: ELVENERT, 2016**

También hay proyectos que investigan nuevos procesos innovadores para la **utilización de cenizas de madera**. Por otro lado, las cenizas que se producen en la combustión de productos forestales también ofrecen oportunidades de reutilización en fertilización, construcción de caminos agrícolas y forestales, así como la construcción de carreteras convencionales (Land&Forst, 2015).

La construcción de **dispositivos electrónicos sobre estructura de papel** también es un campo interesante de aplicación debido a su ligero peso, bajo coste, sostenibilidad ambiental y facilidad de la fabricación. Recientemente, se han realizado una gran cantidad de avances para mejorar el rendimiento de la electrónica de papel para diversas aplicaciones, tales como componentes electrónicos básicos, dispositivos de almacenamiento de energía, generadores, antenas y circuitos electrónicos.



**ILUSTRACIÓN 15. APLICACIÓN DE PAPEL PARA APLICACIONES ELECTRÓNICAS. FUENTE: LIN, GRITSENKO, LIU, LU, & XU, 2016**

Elvenert (Elvenert, 2016) afirma que un mayor **uso de la madera en las construcciones** permitirá a la UE permitir la economía circular y también alcanzar sus objetivos de mitigación del cambio climático.

### 3.4 SECTOR PLÁSTICO

Los plásticos representan aproximadamente el **20-30% (en volumen) de los flujos mundiales de residuos municipales**, producto de un consumo medio per cápita de 40 kg de material plástico por año (Winans et al., 2017). Se están llevando a cabo diversas iniciativas para gestionar el reciclaje y la reutilización de plásticos y evaluar los usos potenciales de la generación de energía y combustible (Baytekin, Tarik Baytelin, & Grybowski, 2013). Lee (J. Lee, Pedersen, & Thomsen, 2014) examinó los flujos materiales de productos químicos utilizados para fabricar plásticos en Europa y Dinamarca para abordar el "upcycling" o mantener la calidad, el "downcycling" o la disminución de la calidad y el "cycling" o la presencia de contaminantes.

En este apartado se podrían mencionar los embalajes, según Joachim Quoden (director general de EXPRA, Extended Producer Responsibility Alliance), el embalaje tiene que estar fabricado con **materiales sostenibles que puedan ser utilizados de nuevo**, con lo que también se convierte en una parte esencial de la economía circular.

Promover la **Extended Producer Responsibility (EPR)** para los residuos de los envases, se convierte en un instrumento clave para garantizar la recogida y el reciclaje o la recuperación del embalaje. Es necesario aumentar el proceso de valorización del embalaje plástico de acuerdo a las indicaciones europeas, para conseguir el objetivo de reciclar el 75% en 2030.

El **Instituto Tecnológico del Plástico (Aimplas)** ha desarrollado proyectos como Bio4map y Biobottle que han permitido desarrollar, por ejemplo, un nuevo envase transparente, multicapa, barrera, totalmente biodegradable y reciclable para pasta fresca y diferentes tipos de quesos que necesitan un empaquetado en atmósfera modificada (AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico, 2017); así como, botellas multicapa y monocapa y bolsas para el envasado de productos lácteos que al final de su breve vida útil no requieran la separación del resto de residuos orgánicos. Por otro lado, también ha conseguido desarrollar un envase totalmente biodegradable biopolímeros basados en ácido poliláctico (PLA) para panadería a partir de residuos de la industria de la panadería y la pastelería (cerrando el así el ciclo de vida). En el sector del automóvil también ha desarrollado composites basados en PHB reforzado con mats y tejidos de fibras naturales, un material de base PLA con nanoarcillas como aditivos y PBP (polímero sintetizado a partir de proteínas de la seda).

**Ecoembes** es una organización que se ocupa del reciclaje y ecodiseño de los envases en España. Promueve que las empresas adopten medidas durante el proceso de fabricación de envases para reducir su peso, facilitar la reutilización, mejorar su reciclabilidad o incorporar materia prima reciclada. En definitiva, impulsa que los envases tengan menor huella ambiental. Desde 1999, se han impulsado más de 37.000 medidas de ecodiseño que han permitido un ahorro de más de 470.000 toneladas de materias primas. Gracias a esto, se ha conseguido reducir un 17% el peso de los envases. Por ejemplo, que un yogurt pese la mitad, que una lata de cerveza sea un 17% más ligera o una botella de agua incorpore plástico reciclado y de origen renovable (ecoembes, 2017).

Con el objetivo de optimizar la eficiencia del proceso de recogida y selección de los envases, también se introducen otras mejoras tecnológicas (detectores de llenado en los contenedores, uso de GPS en la planificación de rutas de recogida o automatización de las plantas de selección a las que van a parar los envases del contenedor amarillo, entre otros).

Compañías como Diageo, L'Oréal, Almirall y Unilever han apostado por implantar ecodiseño en sus productos mediante **materiales más ecológicos para los envases** y a reducir la cantidad y peso de los empleados en la fabricación, con la consiguiente reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, tanto en el proceso de producción como en el transporte al punto de venta. El Grupo Eroski ha llevado a cabo un proyecto de ecodiseño con su envase de suavizante para la ropa, cuyo resultado es un envase más fácilmente reciclable y más ligero. Tras la implantación de todas estas medidas de ecodiseño, se ha conseguido reducir el peso del envase por cada lavado en un 41,3% (Consumer, 2016).

Los productos de **Ecovative** constituyen alternativas compostables a los materiales derivados del petróleo, están hechos "raíces" de los hongos (Ecovative Design, 2017). Con esta tecnología son capaces de construir materiales capaces de sustituir varios tipos de los productos, entre los que se encuentran los plásticos expandidos y tableros de partículas hechos con formaldehído carcinógeno.

### 3.5 SECTOR METALMECÁNICO

En las plantas siderúrgicas existen diferentes opciones para la recuperación de los flujos excedentes de energía (Johansson & Söderström, 2011). Las industrias de metales como el hierro y el acero pueden **intercambiar energía, agua y materiales de desecho con otros sectores**, sobre todo para mezclas como cemento. Existen iniciativas activas de simbiosis industrial de hierro o acero en Suecia (Johansson & Söderström, 2011), en China (Dong et al., 2013).

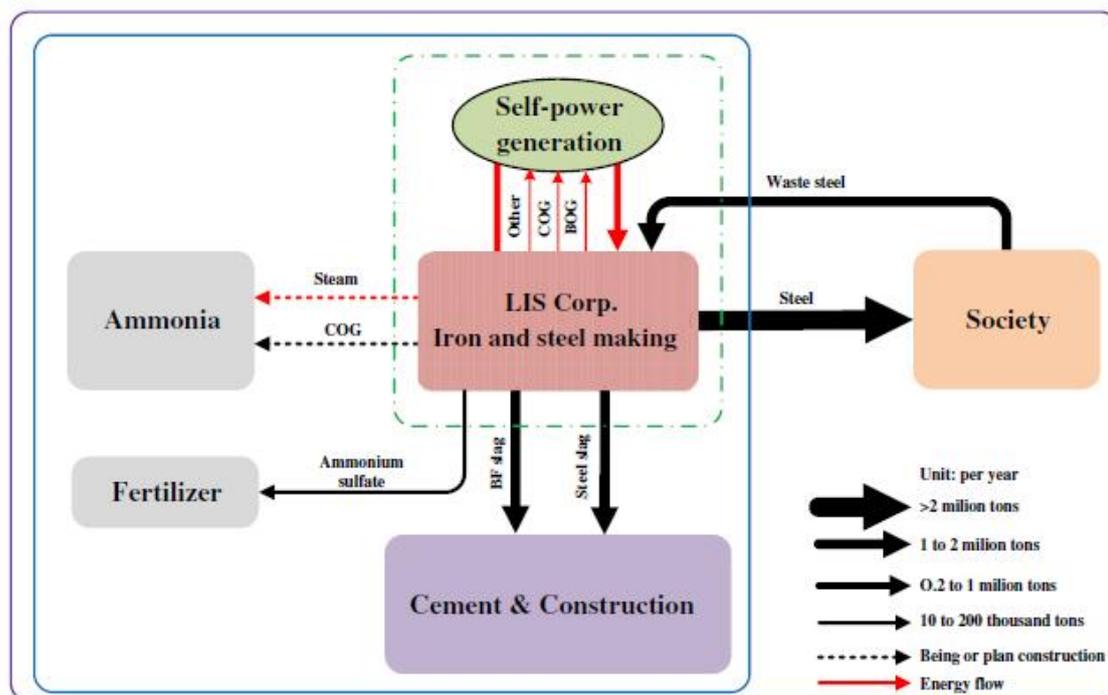


ILUSTRACIÓN 16. FLUJOS DE MATERIAL EN UNA INDUSTRIA DEL METAL. FUENTE: DONG ET AL., 2013

Los principales **inconvenientes de la economía circular** residen en que el intercambio de materiales requiere de una red de transporte, es importante considerar que las nuevas iniciativas necesitan instrumentos políticos, así como incentivos para proporcionar inversiones iniciales en el desarrollo mantenimiento que apoyan el intercambio de recursos (Winans et al., 2017). En algunos casos, las tecnologías disponibles también pueden resultar un desafío. Por ejemplo, en un estudio de la industria siderúrgica de China, se concluye que el dióxido de azufre sería difícil de reducir dentro de la cadena de suministro debido a las tecnologías de desulfuración disponibles (Ma, Wen, Chen, & Wen, 2014).

### 3.6 SECTOR TEXTIL/MODA

La gestión de la energía es una de las principales **áreas de operaciones minoristas** que no ha sido adecuadamente abordada. Muchas tiendas aún no disponen de las herramientas o los datos necesarios para reducir los costes de las tiendas distribuidas en áreas geográficas con distintos climas. Los sistemas HVAC que generan la mayor parte de los costes de energía. Sin embargo, la falta de integración de TICs

obliga a los administradores de establecimientos en el comercio minorista a incurrir en costes innecesarios de mantenimiento y sustitución.

Los sistemas de gestión energética están ayudando a los minoristas a implementar **sistemas de control inteligente** en toda la gama de sus operaciones. Utilizando la potencia y la inmediatez de los datos inteligentes, los profesionales de administración de instalaciones de venta al por menor pueden monitorizar, gestionar y controlar el consumo de energía y las condiciones del sistema HVAC para toda su operación de venta al por menor desde una ubicación central. Sin ningún sistema de organización o control, cada tienda tiene su propio control de termostato, que puede ser fijado por cualquier empleado de la tienda a cualquier temperatura. Bajo estas condiciones, los administradores de instalaciones no tienen control y tampoco tendrían de datos para ayudarles a entender y reducir sus costos de energía.

Incluso cuando se ponen en marcha soluciones básicas de ahorro de energía, como **termostatos programables**, puede haber varios problemas potenciales que se multiplican por el número de ubicaciones de tiendas implicadas. Por ello, debe haber un registro de las fluctuaciones de temperatura de cada ubicación, las condiciones meteorológicas y el sistema HVAC que permitan vincular el control de temperatura con las condiciones externas, nivel de ocupación y el sistema de HVAC.

Los sistemas de gestión de energía utilizan **termostatos conectados en red y controlables de forma remota**, sensores ambientales interiores y exteriores y redes de sensores HVAC también conectados a red. Además, realizan una monitorización continua de la temperatura, el consumo de energía y el equipamiento HVAC de tienda. Esto permite optimizar el consumo energético en cada una de las tiendas con ahorros de hasta un 25% (BATweb, 2015).

Como ejemplo, **INDITEX** dispone de una plataforma de eficiencia que monitoriza de forma centralizada las instalaciones de climatización y electricidad de un total de 1.444 tiendas ecoeficientes repartidas en 28 países. Un sistema de *Big Data* permite un control total del flujo de la información. Este control centralizado permite actuar sobre las instalaciones con el fin de optimizar su gestión, identificar los sistemas más eficientes, mejorar su mantenimiento y definir estrategias para disminuir la demanda de energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por sus tiendas (INDITEX, 2017).

La digitalización también puede contribuir a una mayor **eficiencia del proceso productivo**, acortando los tiempos de producción y el *time-to-market* y optimizando el uso de recursos tales como la energía y las materias primas, lo que permite reducir costes y dar respuesta a varios de los retos, como el acortamiento de los tiempos de respuesta y la personalización masiva (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014).

Con respecto a la **economía circular**, la clave reside en realizar un diseño que tenga en cuenta los principios de la misma, para ello deberá tener considerarse, por ejemplo, facilidad de reparación, clasificación, desmontaje y reciclado. En Patagonia, por ejemplo, toda la ropa está diseñada tanto para ser reciclada, así como se tienen en cuenta criterios de durabilidad.

La **selección de los tejidos** también constituye un aspecto importante. Cada vez se confecciona un mayor número de prendas elaboradas a partir de materiales reciclados, como botellas de plástico, o fibras lácteas, obtenidas de la caseína de la leche. Materiales como redes de pesca, neumáticos usados o botellas desechables pueden ser la materia prima para la fabricación de prendas, bolsos, zapatillas y otros accesorios. En España ya hay varias empresas que comercializan este tipo de ropa (alazia couture, 2017) (ECOALF, 2017).

Además, las nuevas tecnologías de reciclaje (**reciclaje químico**) son necesarias para poder cerrar el ciclo. Se están desarrollando procesos para volver a obtener captura de poliéster y celulosa de algodón (Worn Again). De esta forma puede volver a ser introducido en las cadenas de suministro de poliéster y viscosa.

**H&M** trabaja en la recogida de ropa para la reutilización y reciclado. La ropa recogida se clasificaba para su reutilización (entre un 40-60% de la ropa puede ser arreglada para ser vendida y un 5-10% se puede reutilizar para confeccionar otros productos). El material textil que no se puede reutilizar (30-40%) se recicla como fibras textiles para la fabricación de amortiguadores o/y materiales de aislamiento en la industria de la automoción. Por último, en el caso de que las prendas recogidas no sean válidas para ninguno de los procesos comentados anteriormente, se valoriza el material textil en la producción de energía. Además, en el caso de los jeans recogidos al final de su vida útil, estos son enviados a sus proveedores de Pakistán para que sean degradados y aprovechen sus fibras para la producción de nuevos jeans, lo que permite la sustitución del 20-25% de la materia virgen, limitada por las prácticas de reciclaje actual (Confederación de Empresarios de Navarra, 2014).

El **proyecto europeo LIFE-ECOTEX** también trata de introducir el concepto de economía circular en la industria del calzado, cerrando el ciclo de los residuos textiles de naturaleza poliéster mediante su reciclado químico que da lugar a monómeros químicos de alto valor añadido que sirven para producir fibras a partir de las cuales se fabrican nuevos productos textiles.

### 3.7 SECTOR AERONÁUTICO

El **proyecto SENTRY** nace para satisfacer las necesidades de reducir el impacto ambiental del sector aeronáutico ya que se ha producido crecimiento del tráfico aéreo y en consecuencia a la previsión del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y uso de recursos por parte de este sector. Se trata de una iniciativa público-privada que, desde 2008, une a la Comisión Europea con la industria aeronáutica y cuyo fin es desarrollar tecnologías innovadoras que logren avances significativos para mitigar el impacto ambiental de la industria aeronáutica.

Se ha tratado de llevar a cabo un reciclaje diferenciado de las aleaciones con las que se fabrican los paneles integrados en el fuselaje de las aeronaves para conseguir que los materiales empleados no se desvíen hacia productos de menor valor añadido y puedan volver a ser incorporados a la que fue su aplicación original. Los **resultados obtenidos** del proyecto evidencian que (GAIKER Centro Tecnológico, 2017):

- Las aleaciones recicladas mostraron un **máximo potencial de reutilización** ya que, debido a la ausencia de contaminación, se consideran materiales de primera calidad y por tanto pueden reintroducirse directamente en el sector aeronáutico.
- Se demostró la **viabilidad técnica y ambiental** de un nuevo escenario de fin de vida que permite el reciclaje de aleaciones de aluminio de alta calidad con un máximo potencial de reutilización.
- Se comprobó que el **perfil ambiental de los paneles evaluados** está muy influenciado por la fuente de energía que se consume durante las etapas de fin de vida, el rendimiento de las operaciones de fin de vida, el valor final de las aleaciones recuperadas y el impacto ambiental de la fabricación de dichas aleaciones.

De esta forma, se consigue que los materiales empleados en los procesos de fabricación no se desvíen hacia productos de mayor valor añadido al final de su vida útil y que estos puedan volver a ser incorporados en su aplicación original.

Por otro lado, el proyecto **Life + Zero Cabin Waste** tiene como objetivo minimizar los residuos no recuperables de las cabinas de los aviones con lo que se espera recuperar el 80% de los residuos generados por los servicios de catering en los aviones.

### 3.8 SECTOR ENERGÍAS RENOVABLES

Existen sistemas de gestión de la energía para implementar el uso de energías renovables. Por ejemplo (García et al., 2016), la utilización de un sistema de gestión de la energía para una **microred** basada en cuatro fuentes energéticas: **una turbina eólica, paneles solares fotovoltaicos, una batería y un sistema de hidrógeno y un electrolizador**. Esta nueva estrategia de control optimiza el costo total del sistema híbrido (costes de generación y reposición) a través de estimaciones calculadas por hora para cada dispositivo de almacenamiento de energía (la batería y el sistema de hidrógeno). Esta estrategia de control vincula la expectativa esperada de las fuentes de energía a sus costes de generación, es decir, cuando la vida útil es baja, el coste de generación aumenta y, por consiguiente, esta fuente de energía comenzará a utilizarse menos.

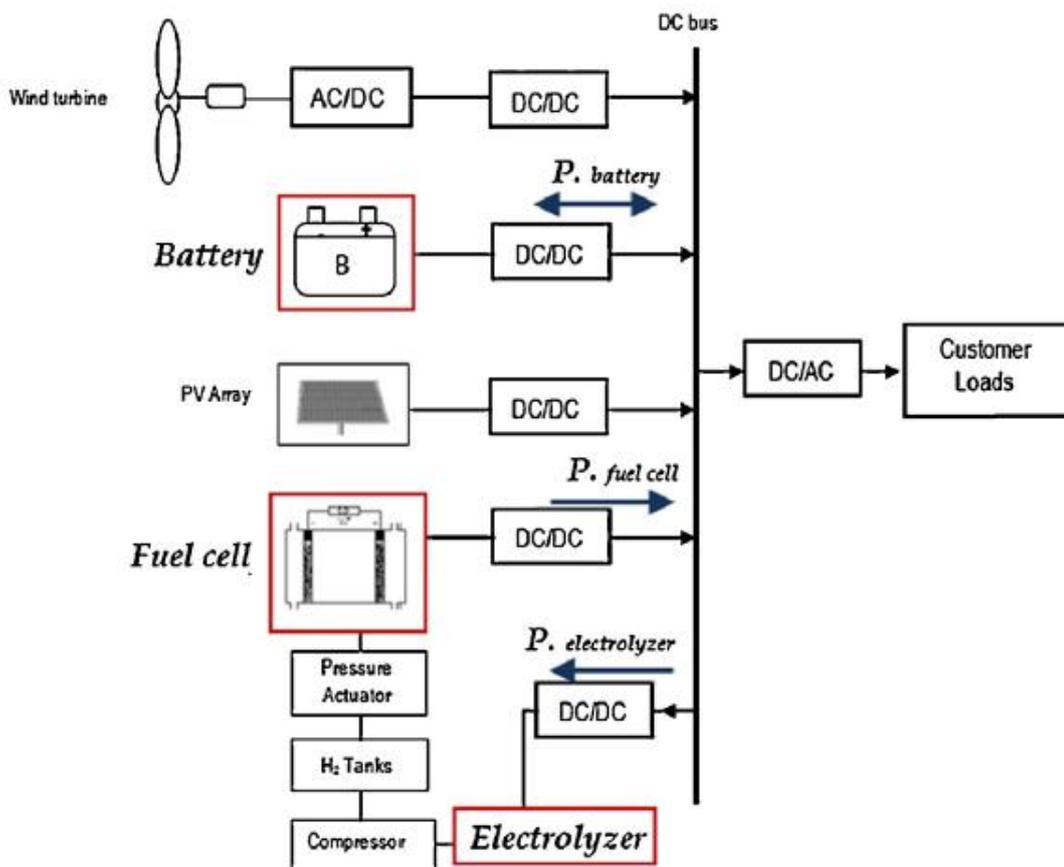


ILUSTRACIÓN 17. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE MICRO-RED. FUENTE: GARCÍA ET AL., 2016

Los estudios de revelaron la importancia de tener en cuenta las estimaciones de la vida útil y los costes de generación en el sistema de gestión de la energía al decidir qué fuente de energía utilizar. Al analizar los resultados, se observó que, cuando la vida útil de la batería estaba cerca de su final, el sistema de gestión de la energía propuesto modificó la operación del sistema reduciendo su uso para prolongar su vida útil, siempre y cuando no hubiese cambio en las otras fuentes de energía. Esta acción del sistema de gestión de la energía se debió al hecho de que, en cada iteración, esta estrategia evaluó los efectos de sus decisiones sobre un coste estimado total final (calculado teniendo en cuenta la vida útil). Los resultados confirmaron las mejoras logradas al incluir estas estimaciones en el sistema de gestión de la energía redujo el número de reemplazos de componentes en la microred, lo que condujo a un ahorro económico sustancial, aproximadamente en el 17,5% - 36,6% con respecto otros sistemas de gestión.

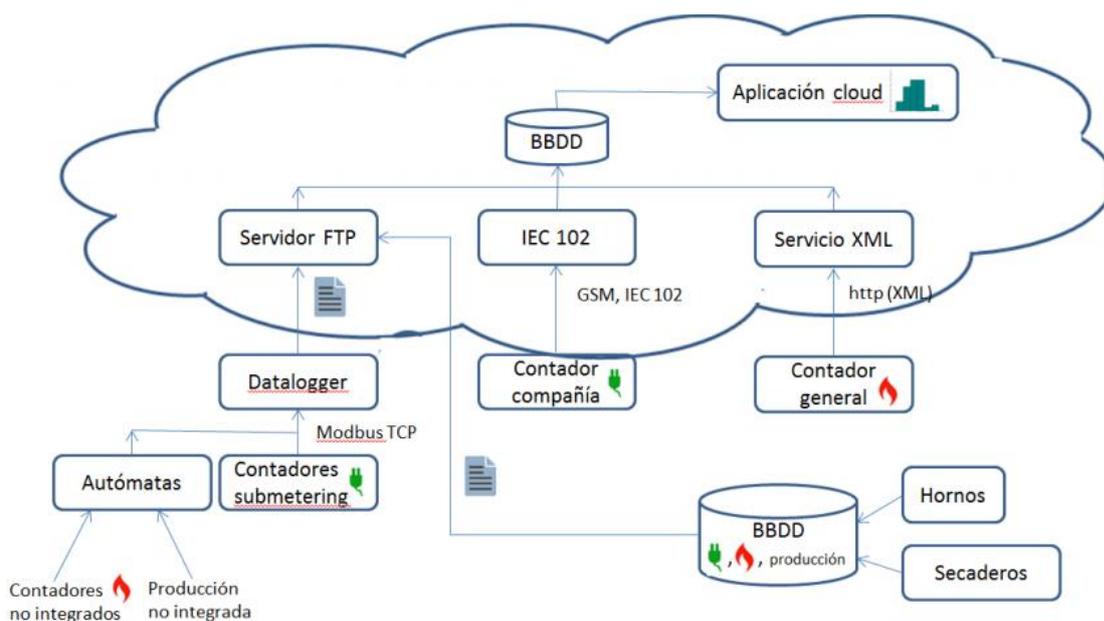
La economía circular busca **augmentar la proporción de uso de energías renovables**. De todas formas, los sistemas de captura de CO<sub>2</sub>, serán imprescindibles para fomentar una economía circular basada en el CO<sub>2</sub> y un aspecto clave para reducir de forma inminente las emisiones de CO<sub>2</sub> requeridas en los acuerdos globales para mitigar el cambio climático.

**Neoelectra** se centra en proyectos de cogeneración, biomasa, y biogás en nuestro país, utilizando soluciones avanzadas que combinan la producción de electricidad y calor, así como otras soluciones energéticas, empleando como combustibles el gas natural, la biomasa y el biogás. Neoelectra es un grupo que trabaja conjuntamente con industrias relevantes como son Leche Pascual o Migasa, pero como ejemplo del compromiso medioambiental del grupo cabe destacar la empresa CARBONECO, fundada en 1999, que se dedica a la recuperación y reducción del CO<sub>2</sub> emitido por las industrias. CARBONECO cuenta con plantas de recuperación repartidas por todo el estado español, con una capacidad de reducción de emisiones y recuperación de CO<sub>2</sub> de 100.000 toneladas anuales. Se trata de una empresa muy vinculada a la economía circular, ya que sus procesos de recuperación están basados en la eficiencia energética, la simbiosis industrial y la minimización de residuos, empleando los residuos de otras empresas (como son los gases emitidos de la combustión del gas natural, por ejemplo) como materia prima secundaria, y evitando que sean emitidos a la atmósfera.

Otro ejemplo de aplicación de la economía circular en el sector de las renovables es el **proyecto Rvmsf**, apoyado por el Gobierno Vasco y liderado por Coener Systems, que desarrollo del modelo de reciclado y valorización de módulos solares fotovoltaicos.

### 3.9 SECTOR PIEDRA NATURAL/CONSTRUCCIÓN

La implantación de un sistema de gestión energética en una **industria cerámica** ha permitido identificar los costes no productivos que, por ejemplo, en el caso del gas natural se corresponden con el 11% del consumo total.



**ILUSTRACIÓN 18. ESQUEMA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN EN UNA INDUSTRIA CERÁMICA. FUENTE: VERDEGUER, 2016**

El sector de la construcción constituye una **alternativa para la utilización de los residuos** potenciando que los materiales generados por otros sectores se incorporen a la industria, evitando que su destino sean las incineradoras y vertederos, contribuyendo así a cerrar el ciclo de vida de los materiales.

De esta forma, se reutiliza el polietileno reciclado para la construcción de tablero o moqueta de automoción para la construcción de pantallas acústicas fonoabsorbentes resistentes a la intemperie o para la construcción de un tablero rígido (Ilustración 19).



**ILUSTRACIÓN 19. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ELABORADOS A PARTIR DE MOQUETA DEL SECTOR DEL AUTOMÓVIL. PANTALLA ACÚSTICA (IZQUIERDA) Y TABLERO RÍGIDO (DERECHA)**

Con los **restos agrícolas** y fibras de la madera procedente de poda y limpieza de bosques, también se pueden construir tableros aislantes o alternativas a los típicos paneles de MFD, OSB y contrachapado para la construcción de viviendas como para la fabricación de muebles (Ilustración 20).



**ILUSTRACIÓN 20. PANEL ECOBOARD (IZQUIERDA) PRODUCIDO A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS E ISONAT FLEX 40 (DERECHA) GENERADO CON RESIDUOS FORESTALES**

El proyecto **LIFE ECO-SANDFILL** está orientado a la valorización de arenas residuales de fundición en diferentes aplicaciones de construcción. Se trata de demostrar la viabilidad, tanto desde un enfoque técnico, como económico y medioambiental, de la re-utilización de las arenas residuales de fundición como material granular en tres aplicaciones concretas de construcción: terraplenes, materiales fluidos de baja resistencia controlada (CLMS) y morteros proyectados. De esta manera se persigue avanzar hacia el vertido cero del residuo más voluminoso de la fundición.

Por otro lado, en este sector el Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco también apoya proyectos de demostración de economía circular entre los que se encuentra Mebam y Racc (ihobe, 2016). El primero, **Mebam** es un proyecto para la creación de nuevos morteros en base cemento a partir de la valorización de subproductos procedentes de la industria siderúrgica. El proyecto **Racc** consiste en la metabolización de recursos materiales presentes en residuos de construcción y demolición para la producción y comercialización de nuevas categorías de áridos artificiales y demostración en aplicaciones constructivas de hormigón premezclado.

## 4. CONCLUSIONES/IMPACTO EN LA INDUSTRIA

### 4.1 IMPACTO DE LA GESTIÓN AVANZADA DE LA ENERGÍA Y LOS RESIDUOS

El impacto final esperado en cuanto al desarrollo e implantación en la industria de sistemas de gestión avanzados de la eficiencia y sostenibilidad energética, es la obtención de **ahorros energéticos y de emisiones de GEI** relacionados con la optimización de los procesos de, al menos, entre un 5% y un 10% respecto a la situación actual. Esto es, ahorros relacionados con la mejora de la gestión de la energía, con la mejora de la operativa de los equipos consumidores de energía y con la concienciación de los trabajadores y la interiorización de la importancia de los aspectos energéticos y de sostenibilidad de la actividad que desempeñan.

En esta toma de decisiones, forma parte también la implantación de medidas de mejora de la eficiencia energética asociadas a la **sustitución de equipos**, a la **reorganización de las líneas de producción**, etc., que permitirían obtener unos mayores niveles de ahorros energéticos y de emisiones contaminantes, y que, en general, serían superiores al 30%.

En cuanto a los **modelos de patrones de consumo** y a los **modelos predictivos de operaciones y procesos productivos** desarrollados, éstos podrán ser de aplicación en los centros de producción de los sectores objeto de los demostradores sectoriales propuestos y/o en otros sectores del tejido productivo gallego, de forma que puedan tener una rápida transferencia al sector industrial a través de los sistemas de gestión energética avanzada, facilitando así la implantación a gran escala de una herramienta a través de la cual se mejora la eficiencia y sostenibilidad energética de las empresas.

Consecuencia de todo ello, será que los centros de producción operen de manera más eficiente energéticamente, sean más respetuosos con el medio ambiente, mejoren su competitividad y permitan reducir la dependencia energética exterior de Galicia.

La mala **gestión de los desechos en los países en desarrollo** indica que la generación de residuos relacionada con la situación económica de una sociedad, su débil economía-factores sociales afectados por la ausencia de legislación ambiental adecuada, gestión financiera y capacidades administrativas. Con los años, ha aumentado la cantidad creciente de residuos sin ningún tratamiento que se eliminan principalmente en los vertederos existentes. Esta práctica no permite la explotación de los recursos de los residuos y representa una pérdida de recursos y amenaza para el medio ambiente y la salud humana. Por lo tanto, este problema es muy complejo y requiere un ajuste constante de la situación, las fluctuaciones y las necesidades y demandas de soluciones innovadoras (Ilić & Nikolić, 2016). Se precisa incentivar el desarrollo de tecnologías punteras que puedan favorecer la reducción de materias primas y también favorecer el reúso y reciclaje de estos materiales al final de su ciclo de vida, a través de procesos de upcycling, reciclando materias primas de manera mejorada.

Una gran parte de los materiales que hoy se envían a vertedero presentan valor económico. Para aprovechar estos recursos será necesario desarrollar soluciones innovadoras que a su vez pueden facilitar a las empresas el **acceso a un mercado global del reciclaje**. Las mejoras en las actividades de reutilización y reciclaje deben ser primordiales. Además, los enfoques del ciclo de vida deben ser adoptados concretamente, lo que significa "una mejor **cooperación entre todos los agentes del mercado** a lo largo de la cadena de valor".

## 4.2 CONCLUSIONES

Debido a las razones de la sostenibilidad, la eficiencia energética se convierte en un objetivo cada vez más importante para el sector industrial. La gestión de la energía es un instrumento clave para aumentar la eficiencia energética convirtiéndose en una ventaja competitiva que permite identificar prácticas y procedimientos para hacer mejoras continuas e identificar nuevas oportunidades.

La gestión energética en la Industria 4.0 se realiza mediante un **sistema de medición inteligente, sistemas de comunicación y adquisición de información en tiempo real**. Estos equipos son sistemas de medida avanzada que incorporan nuevas tecnologías de acceso a la información y están integrados a las redes eléctricas inteligentes.

Estos sistemas ofrecen características de medición en tiempo real, integración de sistema de medición, medición y seguimiento bidireccional de proceso, equipos y redes de información, manejo sistematizado de la información de medida, sistemas de control y comunicación y medición integrada a sistemas de toma de decisiones técnicas, económicas, financieras y estratégicas.

Disponer de esta información permite obtener los indicadores energéticos de la empresa, visualizar la variación de consumos energéticos con respecto a variaciones de la producción, determinar su correlación, cuantificar el valor de la energía no asociada a la producción y estimar potenciales de ahorro que ayudan a obtener elementos de juicio para la toma de decisiones estratégicas.

La implementación de un **sistema integral de calidad, medio ambiente y gestión energética** mejorará la productividad. La integración de las tecnologías habilitadoras como IoT, la sensorización, simulación y modelización de procesos permiten realizar un análisis de diferentes escenarios presentes como en las proyecciones futuras que permitan el cumplimiento de las metas establecidas.

La gestión energética permite el análisis de los parámetros energéticos e identificar las variables influyentes. De esta forma, se crea una red inteligente para la estimación fiable de consumos y producción, predicción en el punto de consumo final, predicción de generación eléctrica a partir de energías renovables y realizar una gestión de la demanda con la finalidad de reducir los picos, desplazamiento de los consumos picos a valle, incremento del consumo en horas valle y conseguir una mayor flexibilidad en la curva de carga.

A día de hoy las **iniciativas sobre economía circular** están centradas principalmente en la fase final de ciclo, tal como la gestión de los residuos. La evolución hacia una economía circular exige un cambio en el modelo productivo con un menor uso de recursos materiales y energéticos mediante procesos ecoeficientes y sostenibles.

En el modelo de economía circular se trata de incorporar al proceso productivo los materiales que contienen los residuos para la producción de nuevos productos o materias primas, tratando de sustituir así, una economía lineal basada en consumir, usar y tirar.

Cada vez son más las empresas que identifican la economía circular como el camino necesario para asegurar la sostenibilidad industrial. Por ello, es necesario realizar estudios específicos que permitan identificar buenas prácticas de economía circular que puedan ser replicadas y adaptadas y que puedan servir de inspiración para la realización de nuevas estrategias. Es necesario realizar el análisis de las **entradas de material** (consumos de materias primas, pérdidas materiales, desviación de residuos, materias primas secundarias, materiales ecológicamente certificados), **estrategias de ecodiseño** (durabilidad, productos necesarios para el desmontaje, materiales reciclados, materiales con posibilidades

de reciclaje), **uso de materiales en la producción** (entrada de sustancias peligrosas, generación de residuos, refabricación), **reciclado de residuos** (facturación de los materiales reciclados, calidad del material reciclado, cuota de reciclado, beneficios de la gestión de residuos) y **uso de materiales en el consumo** (generación de residuos, servicios de reutilización y reparación, durabilidad real de los productos, huella ambiental) de tal manera que se pueden aplicar los principios de economía circular en el ciclo de vida de los productos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Internacional de Energía. (2006). *Perspectivas sobre tecnología energética*. Obtenido de Escenarios y estrategias hasta el año 2050: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp\\_spanish.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp_spanish.pdf)
- Aggarwal, K., & Chen, Y. (2013). What's Next? Intelligent Energy Management Systems. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*.
- AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico. (2017). *BIO4AMP*. Obtenido de <http://www.aimplas.es/idi/proyectos-desarrollados/lamina-y-film-biodegradable-transparente-y-alta-barrera-para-el-ensado>
- ainia. (8 de Noviembre de 2016). *La economía circular aplicada a la gestión del agua, reto de la industria alimentaria*. Obtenido de <http://www.ainia.es/noticias/prensa/economia-circular-aplicada-gestion-agua-reto-de-la-industria-alimentaria/>
- *alazia couture*. (2017). Obtenido de <https://www.alaziacouture.com/>
- AMEC Environment & Infrastructure and Bio Intelligence Service. European Commission. (Febrero de 2013). *The opportunities to business of improving resource efficiency*. Obtenido de [http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource\\_efficiency/pdf/report\\_opportunities.pdf](http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/report_opportunities.pdf)
- Australian Government Department of the Environment and Energy. (2017). *Energy management*. Obtenido de <https://www.eex.gov.au/large-energy-users/energy-management>
- Automotive Manufacturing Solutions. (11 de Diciembre de 2014). *Taking control of energy use*. Obtenido de <http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/technology/taking-control>
- BATweb. (2015). *Intelligent Energy Management Systems for Retail Operations*. Obtenido de [http://www.bayweb.com/media/25247/bayweb\\_energy\\_management\\_guide\\_retail-fa.pdf](http://www.bayweb.com/media/25247/bayweb_energy_management_guide_retail-fa.pdf)
- Baytekin, B., Tarik Baytelin, H., & Grybowski, B. A. (2013). Retrieving and converting energy from polymers: deployable technologies and emerging concepts. *Energy & Environmental Science*, 3467-3482.
- BMW Group. (12 de Noviembre de 2014). *Industry 4.0: Intelligent energy data management for sustainable production*. Obtenido de <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0195345EN/industry-4-0:-intelligent-energy-data-management-for-sustainable-production?language=en>
- Carlini, E., Giannuzzi, G., Mercogliano, P., Schiano, P., Vaccaro, A., & Villacci, D. (2016). A decentralized and proactive architecture based on the cyber physical system paradigm for smart transmission grids modelling, monitoring and control. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*.
- Chan, Y., & Kantamaneni, R. (1 de Diciembre de 2015). *Study on Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Industry and on Possible Policy Mechanisms*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/151201%20DG%20ENER%20Industrial%20EE%20study%20-%20final%20report\\_clean\\_stc.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/151201%20DG%20ENER%20Industrial%20EE%20study%20-%20final%20report_clean_stc.pdf)
- CloseWEEE. (Diciembre de 2014). *Close WEEE ON*. Obtenido de <http://closeweee.eu/closeweee-approach/>
- Coara Commercial Asset Recycling. (2015). *The Definitive Guide to the Circular Economy for Businesses*. Obtenido de <https://www.coara.co.uk/definitive-guide-circular-economy-businesses/>
- Comisión Europea. (2014). *COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES Hacia una*

*economía circular: un programa de cero residuos para Europa*. Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0398>

- Comisión Europea. (26 de Enero de 2017). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee of the regions*. Obtenido de The role of waste-to-energy in the circular economy: <http://ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf>
- Confederación de Empresarios de Navarra. (2014). *La economía circular*. Obtenido de [http://www.cen7dias.es/BOLETINES/467/CEN\\_MA\\_21.pdf](http://www.cen7dias.es/BOLETINES/467/CEN_MA_21.pdf)
- Consumer. (15 de Noviembre de 2016). *La economía circular ya es real: 6 ejemplos que lo demuestran*. Obtenido de [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2016/11/15/224572.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2016/11/15/224572.php)
- Dong, L., Zhang, H., Fujita, T., Ohnishi, S., Li, H., Fujii, M., & Dong, H. (2013). Environmental and economic gains of industrial symbiosis for Chinese iron/steel industry: Kawasaki's experience and practice in Liuzhou and Jinan. *Journal of Cleaner Production*, 59, 226–238. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.048>
- ECOALF. (2017). Obtenido de <https://ecoalf.com/upcycling-the-oceans>
- *ecoembes*. (2017). Obtenido de Innovamos en todo el proceso de reciclado: <http://www.ecoembalajes.com/es/ciudadanos/ecoembes-y-el-medio-ambiente/innovacion>
- ECOINFLOW. (2013). *Deliverable D.2.2 Guide for defining zones and finding locations for energy meters*. Obtenido de <http://www.ecoinflow.com/Portals/0/ECOINFLOW%20D2.2%20Guide%20for%20defining%20zone%20and%20finding%20locations%20for%20energy%20meters.pdf>
- ECOINFLOW. (2017). *ECOINFLOW*. Obtenido de <http://www.ecoinflow.com/>
- Ecovative Design. (2017). *MycoFoam*. Obtenido de <http://www.ecovatedesign.com/myco-foam>
- EEA. (2016). *Circular economy in Europe Developing the knowledge base*. <http://doi.org/10.2800/51444>
- Ellen Macarthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy*. Obtenido de Opportunities for the consumer goods sector: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE\\_Report-2013.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Report-2013.pdf)
- Elvenert, J. (1 de Junio de 2016). *Can we create a green circular economy without*. Obtenido de The European Forest-based Sector Technology Platform: [http://www.forestplatform.org/files/FTP\\_Presentations/2016\\_06\\_01\\_EP\\_ALDI\\_-\\_Can\\_we\\_create\\_a\\_green\\_circular\\_economy\\_without\\_forestry.pdf](http://www.forestplatform.org/files/FTP_Presentations/2016_06_01_EP_ALDI_-_Can_we_create_a_green_circular_economy_without_forestry.pdf)
- European Commission. (s.f.). *Circular Economy. Closing the loop*. Obtenido de Clear targets and tools for better waste management: [http://ec.europa.eu/priorities/sites/beta-political/files/circular-economy-factsheet-waste-management\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/priorities/sites/beta-political/files/circular-economy-factsheet-waste-management_en.pdf)
- European Commission. (29 de Octubre de 2015). *EIP-AGRI Workshop 'Opportunities for Agriculture and Forestry in the Circular Economy'*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri\\_ws\\_circular\\_economy\\_final\\_report\\_2015\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_ws_circular_economy_final_report_2015_en.pdf)
- European Resource Efficiency Platform (EREP). (31 de Marzo de 2014). *Manifiesto & Policy Recommendations*. Obtenido de

[http://ec.europa.eu/environment/resource\\_efficiency/documents/erep\\_manifesto\\_and\\_policy\\_recommendations\\_31-03-2014.pdf](http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/documents/erep_manifesto_and_policy_recommendations_31-03-2014.pdf)

- Fundación COTEC. (10 de Febrero de 2017). *Situación y evolución de la Economía Circular en España*. Obtenido de <http://cotec.es/media/informe-CotecISBN-1.pdf>
- Fundación Ellen MacArthur. (2014). *Hacia una Economía Circular*. Obtenido de [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF\\_Spanish\\_exec\\_pages-Revise.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/EMF_Spanish_exec_pages-Revise.pdf)
- GAIKER Centro Tecnológico. (2017). *El proyecto europeo SENTRY recibe el primer premio en el Best Clean Sky Project Awards 2016*. Obtenido de <http://www.gaiker.es/cas/noticias/el-proyecto-europeo-sentry-recibe-el-primer-premio-en-el-best-clean-sky-project-awards-2016.aspx?id=d3d2be67-5c96-4cfa-8132-dffabac3d1d6>
- García, P., Torreglosa, J. P., Fernández, L. M., Jurado, F., Langella, R., & Testa, A. (2016). Energy management system based on techno-economic optimization for microgrids. *Electric Power Systems Research*, 131, 49–59. <http://doi.org/10.1016/j.epr.2015.09.017>
- ihobe. (25 de Mayo de 2016). *El Gobierno Vasco apoya 17 proyectos industriales de demostración de economía circular que podría generar un centenar de empleos*. Obtenido de <http://www.ihobe.eus/Noticias/Ficha.aspx?IdMenu=c7a02482-9afb-4d77-9e2e-91b31d95d6c9&Cod=28e37673-b6df-4461-950b-3c77f49e92ef&Idioma=es-ES>
- Ilić, M., & Nikolić, M. (2016). Drivers for development of circular economy - A case study of Serbia. *Habitat International*, 56, 191–200. <http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.06.003>
- INDITEX. (2017). *Tiendas ecoeficientes*. Obtenido de [https://www.inditex.com/es/sustainability/environment/ecoeficient\\_stores](https://www.inditex.com/es/sustainability/environment/ecoeficient_stores)
- International Energy Agency. (2009). *Online energy statistics. Energy balances*. Obtenido de <http://www.iea.org/stats>
- International Energy Agency. (2011). *25 energy efficiency policy recommendations by IEA*. Obtenido de <http://www.iea.org/publications>
- International Organization for Standardization (ISO). (2011). *ISO 50001 - Energy management*. Obtenido de <http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso50001.htm>
- ISO. (2011). *ISO 50001:2011. Energy management systems – requirements with guidance for use*.
- Johansson, M. T., & Söderström, M. (2011). Options for the Swedish steel industry - Energy efficiency measures and fuel conversion. *Energy*, 36(1), 191–198. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.053>
- Kobza, N., & Schuster, A. (2016). Building a responsible Europe - the value of circular economy. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29), 111–116. <http://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.067>
- Laboratorio Ecoinnovación. (1 de Marzo de 2016). *Economía circular en el sector agroalimentarios: del residuo al recurso*. Obtenido de <http://laboratorioecoinnovacion.com/trending-ecoinnovacion/trending-ecoinnovacion>
- Land&Forst. (29 de Octubre de 2015). *EIP-AGRI Workshop 'Opportunities for Agriculture and Forestry in the Circular Economy'*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/field\\_event\\_attachments/ws-circulareconomy-20151028-pres06-felix\\_montecuccoli.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/field_event_attachments/ws-circulareconomy-20151028-pres06-felix_montecuccoli.pdf)
- Lee, D., & Cheng, C. (2016). Energy savings by energy management systems : A review, 56, 760–777. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.067>
- Lee, J., Pedersen, A. B., & Thomsen, M. (2014). The influence of resource strategies on childhood

- phthalate exposure-The role of REACH in a zero waste society. *Environment International*, 73, 312–322. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.003>
- Lin, Y., Gritsenko, D., Liu, Q., Lu, X., & Xu, J. (2016). Recent Advancements in Functionalized Paper-Based Electronics. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(32), 20501–20515. <http://doi.org/10.1021/acsami.6b04854>
  - Ma, S. H., Wen, Z. G., Chen, J. N., & Wen, Z. C. (2014). Mode of circular economy in China's iron and steel industry: A case study in Wu'an city. *Journal of Cleaner Production*, 64, 505–512. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.008>
  - Mabee, W. (2011). Circular Economies and Canada's Forest Sector, 14. Retrieved from [http://warming.apps01.yorku.ca/wp-content/uploads/WP\\_2011-08\\_Mabee\\_Circular-Economies.pdf](http://warming.apps01.yorku.ca/wp-content/uploads/WP_2011-08_Mabee_Circular-Economies.pdf)
  - Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (26 de Abril de 2016). *Herramienta e-SIAB para mejorar la sostenibilidad de las industrias alimentarias*. Obtenido de <http://www.mapama.gob.es/es/prensa/noticias/-el-ministerio-de-agricultura-alimentaci%C3%B3n-y-medio-ambiente-divulga-la-herramienta-e-siab-para-mejorar-la-sostenibilidad-de-las-industrias-alime/tcm7-419300-16>
  - Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014). *La transformación digital de la industria española*. Obtenido de Industria conectada 4.0: <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf>
  - Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014). *La Transformación Digital de la Industria Española*. Obtenido de <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf>
  - Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
  - Otles, S., Despoudi, S., Bucatariu, C., & Kartal, C. (2015). *Chapter 1 - Food waste management, valorization, and sustainability in the food industry A2 - Galanakis, Charis M. BT - Food Waste Recovery. Food Waste Recovery*. Elsevier Inc. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800351-0.00001-8>
  - Pakarinen, S., Mattila, T., Melanen, M., Nissinen, A., & Sokka, L. (2010). Sustainability and industrial symbiosis-The evolution of a Finnish forest industry complex. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1393–1404. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.015>
  - Pelzer, A., Lombardi, P., Arendarski, B., & Komarnichi, P. (2016). An innovative energy management system for the integration of volatile energy into industrial processes. *International Journal of Energy Production and Management - WIT Press*, 339-348.
  - Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. DEBATE ISBN: 9788499926940.
  - Shrouf, F., & Miragliotta, G. (2015). Energy management based on Internet of Things : practices and framework for adoption in production management. *Journal of Cleaner Production*, 100, 235–246. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.055>
  - SIEMENS. (2016). *Benefits of Industry 4.0 / Smart Manufacturing*. Siemens.
  - Sokka, L., Pakarinen, S., & Melanen, M. (2011). Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use - An example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland. *Journal of Cleaner Production*, 19(4), 285–293. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.08.014>

- Sustainable Energy Authority of Ireland. (2009). *Energy Management Systems - Information Resources*. Obtenido de [http://www.seai.ie/Your\\_Business/Large\\_Energy\\_Users/Resources/Energy\\_Management\\_Systems/](http://www.seai.ie/Your_Business/Large_Energy_Users/Resources/Energy_Management_Systems/)
- United States Environmental Protection Agency. (2013). *The ENERGY STAR Guidelines for Energy Management*. Obtenido de <https://www.energystar.gov/buildings/about-us/how-can-we-help-you/build-energy-program/guidelines>
- US Department of Energy. (2017). *Strategic Energy Management Checklist*. Obtenido de [https://ecenter.ee.doe.gov/EM/SPM/Pages/SEM\\_home.aspx](https://ecenter.ee.doe.gov/EM/SPM/Pages/SEM_home.aspx)
- US Energy Information Administration. (Septiembre de 2011). *International energy outlook 2011*. Obtenido de <http://www.eia.gov/forecasts/aeo>
- US Energy Information Administration. (2012). *Annual energy outlook 2012. Early release overview*. Obtenido de <http://www.eia.gov/forecasts/aeo>
- Verdeguer, F. (2016). *Implantación de un Sistema de Gestión Energética en la Industria Cerámica*. Obtenido de [http://www.f2e.es/uploads/doc/20160311081547.presentacion\\_myenergymap\\_rd\\_56\\_2016.pdf](http://www.f2e.es/uploads/doc/20160311081547.presentacion_myenergymap_rd_56_2016.pdf)
- Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(October 2015), 825–833. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>
- World Economic Forum. (Enero de 2014). *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. Obtenido de [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_ENV\\_TowardsCircularEconomy\\_Report\\_2014.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf)