UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Escuela de
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo

Máster en Ingeniería de Minas

Trabajo Fin de Máster

La Economía Circular y su aplicación al sector eléctrico

Autor: Cecilia Bordiu García-Ovies

Tutor: Francisco Javier Iglesias Rodríguez

Ana Álvarez Arias de Velasco

Oviedo, Julio de 2021

Índice

Glosario 5

1. INTRODUCCIÓN 7

2. ANTE UNA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 8

3. UN NUEVO MODELO ECONÓMICO 11

4. MARCO NORMATIVO 14

4.1. Unión Europea 14

4.1.1. Cerrar el círculo 14

4.1.2. Pacto Verde Europeo 15

4.1.3. Por una Europa más limpia y competitiva 16

4.1.4. Alianza Mundial para la Economía Circular y la Eficiencia de los Recursos 17

4.2. España 17

4.2.1. Estrategia Española de Economía Circular 18

4.2.2. Plan de Acción de Economía Circular 19

4.2.3. Otras contribuciones a la Economía Circular 19

4.3. Estrategias autonómicas 20

5. NORMALIZACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR 21

5.1. Ámbito Internacional 21

5.2. Ámbito Nacional 21

5.3. Sectorial 22

6. ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LAS EMPRESAS 23

6.1. Ahora o nunca: El compromiso de EDP con la Economía Circular 24

7. SUPUESTO PRÁCTICO: ABOÑO 1, CONVERSIÓN A GAS 26

7.1. Descripción del proyecto 26

7.2. Modificaciones previstas para la adaptación de las instalaciones 27

7.3. Impulso a la Economía Circular 27

7.4. Ventajas ambientales y beneficios sociales del proyecto 29

8. METODOLOGÍAS, INDICADORES DE MEDICIÓN Y HERRAMIENTAS DE APOYO 33

8.1. Herramientas disponibles para la medición de la circularidad 33

8.1.1. Indicadores de Transición Circular 33

8.1.2. Material Circular Indicators (MCI) 34

8.1.3. Buenas Prácticas de Economía Circular (BPEC) 34

8.2. Herramientas disponibles para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) 35

8.2.1. Huella Ambiental Corporativa (HAC) 35

8.3. Desarrollo y metodología de la herramienta utilizada en este proyecto 39

8.3.1. Medición de la circularidad 39
8.3.2. Medición de la Huella Ambiental Corporativa 44
8.4. Resultados 46
8.4.1. Hipótesis de cálculo planteadas 46
8.4.2. Resultados de circularidad 50
8.4.3. Resultados de Huella Ambiental Corporativa 53
9. CONCLUSIONES 60
BIBLIOGRAFÍA 62
ANEXO I: Datos de entrada a la herramienta 66

Ilustraciones

Ilustración 1 Gráfico de evolución del precio de las materias primas (McKinsey Global Institute Analysis et al. s.f.) 9
Ilustración 2 Economía lineal versus Economía Circular (Ihobe) 11
Ilustración 3 Metodologías ReSOLVE y DISRUPT 12
Ilustración 4 Ejes de actuación de la EEC y sus Planes de Acción (MITERD 2020) 18
Ilustración 5 Hoja de ruta. Cómo integrar el modelo circular en la estrategia empresarial. 23
Ilustración 6 Hitos de EDP España en materia de Economía Circular 25
Ilustración 7 Criterios mínimos de circularidad de BPEC en el ámbito de diseño y producción 29
Ilustración 8 Combinación de las herramientas disponibles para el análisis de la HAC 36
Ilustración 9 Categorías de impacto ambiental Midpoint y Endpoint según la metodología ReCiPe (Pré Consultant 2017) 38
Ilustración 10 Indicadores CTI de circularidad de los flujos materiales 40
Ilustración 11 Indicadores CTI de circularidad de los flujos de agua 40
Ilustración 12 Indicadores CTI de circularidad de los flujos de energía 41
Ilustración 13 Flujos materiales de entrada y de salida 43
Ilustración 14 Proceso de cálculo de la HAC 46
Ilustración 15 Diagrama de Sankey del flujo de materia en la hipótesis de generación convencional 47
Ilustración 16 Diagrama de Sankey del flujo de materia en la hipótesis de generación con gases siderúrgicos 48
Ilustración 17 Comparación de los resultados de los indicadores para cada hipótesis 52
Ilustración 18 Comparación del impacto total en la categoría Midpoint de "Cambio Climático" 55
Ilustración 19 Comparación del impacto total en la categoría Midpoint de "Toxicidad humana", "Radiación Ionizante" y "Agotamiento de los recursos fósiles" 56
Ilustración 20 Comparación del impacto total en la categoría Midpoint de "Ocupación de tierras agrícolas", "Ecotoxicidad del agua dulce", "Ecotoxicidad del medio marino" y "Agotamiento de los recursos mineros" 58

Tablas

Tabla 1 Cambio de combustible deseado en el grupo 1 de la Central Térmica de Aboño 26
Tabla 2 Composición volumétrica media de los GHA 31
Tabla 3 Composición volumétrica media de los GBC 31
Tabla 4 Indicadores empleados para la evaluación de la circularidad 41
Tabla 5 Descripción de cada uno de los flujos materiales de entrada y salida 43
Tabla 6 Comparación del combustible empleado en ambos escenarios 48
Tabla 7 Resultados de circularidad de ambas hipótesis 50
Tabla 8 Cálculo de los principales indicadores de Economía Circular 51
Tabla 9 Resultados del impacto ambiental del proyecto en función de los indicadores Midpoint 54
Tabla 10 Flujos de entradas y salidas para los dos escenarios de producción planteados 66

Glosario

Definiciones

- **Internet de las cosas** ("Internet of Things") "*concepto que hace referencia a la interconexión digital de los objetos cotidianos con internet"* (AppandWeb 2017).
- La **computación en la nube** ("Cloud computing") es un "*paradigma que ofrece servicios de software o acceso a datos en remoto a través de la conexión a una red"* (Wikipedia 2021).
- **Ecodiseño**: "*incorporación de medidas preventivas durante el desarrollo y proyección de un producto o servicio para disminuir su impacto ambiental a lo largo de las fases de su ciclo de vida (producción, uso y fin de vida) y facilitar su reutilización o reciclaje una vez finalizado este ciclo"* (ECODES 2020).
- **Aspecto ambiental**: "*actividad, producto o servicio de una organización que puede interactuar con el medio ambiente*" (Calidad y Gestión 2017).
- **Impacto ambiental**: "*cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso que se produce como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización*" (Calidad y Gestión 2017).
- **Modelo económico lineal:** modelo económico basado en el concepto de adquirir, usar y tirar.
- **Modelo económico circular**: "*modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido"* (Acebron Group s.f.).
- **Capital natural**: "*inventario de recursos naturales renovables y no renovables (por ejemplo, plantas, animales, aire, agua, suelo, minerales) que, combinados, proveen beneficios a las personas"* (ECOACSA 2019).
- **Grupos de interés o Stakeholders:** "*grupos de personas internas y externas que se ven directa o indirectamente afectadas por la actividad de una empresa, que cuentan con sus propias necesidades y expectativas y que, por tanto, ejercen influencia sobre dicha empresa"* (IONOS 2019)
- **Cadena de valor:** "*Una cadena de valor es un modelo de negocios que describe el rango completo de actividades necesarias para crear un producto o servicio. Para las empresas que producen bienes, esta cadena comprende los pasos que llevan un producto desde la etapa de concepción hasta la de distribución"* (CERTUS 2020).
- **Vector ambiental:** medio a través del cual se produce y transmite un impacto ambiental. Existen principalmente cinco vectores ambientales: Agua, energía, residuos, contaminación atmosférica y ruido
- **Traspaso de cargas ambientales:** Proceso que tiene lugar cuando se evita un impacto ambiental en un determinado vector transfiriéndolo a otro.
- **Materias primas críticas: "***son un listado de materiales identificados por la Comisión Europea como necesitados de una atención especial debido a su importancia económica y al alto riesgo que supondría una interrupción de su suministro para la UE"* (ACLIMA 2020).
- **Estrés hídrico: "***efecto que tiene lugar cuando la demanda de agua es mayor que la disponibilidad de este recurso durante un período determinado"* (Grupo Iñesta 2018).

- **Diagrama Sankey: "***tipo específico de diagrama de flujo, en el que la anchura de las flechas se muestra proporcional a la cantidad de flujo"* (Wikipedia 2020).
- **Análisis de Ciclo de Vida, de "cuna a tumba" :** *"El ACV de la cuna a la tumba permite examinar todas las etapas del ciclo de vida de un producto desde la obtención de sus materias primas hasta la gestión de sus residuos al final de su vida útil"* (TECPA 2020).

Siglas

- **WBCSD:** World Business Council for Sustainable Development
- **CTI:** Circular Transition Indicators
- **MCI:** Material Circularity Indicator
- **EC:** Economía Circular
- **ACV:** Análisis de Ciclo de Vida
- **EICV:** Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida
- **ICV:** Inventario de Ciclo de Vida
- **HAC:** Huella Ambiental Corporativa
- **ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible
- **EEEC:** Estrategia Española de Economía Circular
- **MITERD:** Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfica
- **BPEC:** Buenas Prácticas de Economía Circular
- **GHA:** Gas de Horno Alto
- **GBC:** Gas de Batería de Coque
- **GACERE:** Global Alliance on Circular Economy and Resource Efficiency
- **CT:** Central Térmica

1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Máster tiene por objetivo presentar un tema de rigurosa actualidad como es la Economía Circular.

Frente al modelo económico lineal (basado en producir, usar, y desechar) y sus riesgos económicos, ambientales y sociales, se presenta la Economía Circular como un modelo productivo capaz de preservar el valor de los recursos en el ciclo, reduciendo la demanda de materias primas y la generación de residuos.

Se inicia, entonces, un recorrido teórico a través de los principios que la articulan, los beneficios que supone, el marco normativo que la regula y la necesidad de la normalización del concepto para su posterior aplicación. Además, y como parte de dicho recorrido, se presentan una serie de metodologías y herramientas cuya finalidad consiste en evaluar cualitativa y/o cuantitativamente la circularidad o la reducción de los impactos ambientales asociadas a cada iniciativa o proyecto desarrollado.

La existencia de dichas herramientas impulsa la vocación práctica de la Economía Circular. En este sentido, y para fomentar una transición efectiva y generalizada entre ambos modelos económicos, se requiere la implicación de todos los agentes económicos. En especial, las empresas tienen un papel relevante en la transición debido a su capacidad para traccionar a sus cadenas de valor y tener la capacidad de transformar la "mentalidad lineal".

En este sentido, y por tratarse de un trabajo realizado en EDP, se manifiesta el compromiso de esta empresa con los objetivos de este nuevo modelo. Y, a la luz de los principios de la Economía Circular, se analiza su proyecto de conversión del Grupo 1 de la Central Térmica de Aboño para que pueda generar energía eléctrica con los gases residuales del proceso siderúrgico que se producen en Arcelor-Mittal.

Para justificar la contribución de este proyecto, se planteará un escenario en el que se generarán 1425 GWh anuales con combustibles convencionales y otro en el que se generará la misma energía con gases siderúrgicos. En ambos se analizará la circularidad y la reducción de los impactos ambientales, con ayuda de una herramienta diseñada a medida, concluyendo que la realización del proyecto cumple con sus objetivos circulares al suponer un aumento del flujo de entradas circulares y una reducción la generación de residuos. Y, por otro lado, al eliminar el carbón, el transporte de materias primas por barco y los residuos y emisiones asociados a la generación con este combustible, se reducen la mayoría de los impactos ambientales, lo que reafirma que un modelo económico circular implica adicionalmente grandes ventajas tanto ambientales como sociales.

2. ANTE UNA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Las tres primeras revoluciones industriales emplearon diversos instrumentos[1] para mejorar los procesos y aumentar el ritmo de producción. Su principal característica en común es el uso de un modelo lineal de extracción de recursos, producción y uso de bienes de consumo, y desecho de los mismos.

En la actualidad, nos encontramos ante una cuarta revolución industrial. Ésta, también denominada revolución 4.0, se basa en la automatización de los procesos gracias al uso de sistemas ciberfísicos que combinan el Internet de las cosas (Internet of things, "IoT") y la nube o "cloud computing". A pesar de sus similitudes con las anteriores, hay factores que ponen de manifiesto que la revolución 4.0 no puede llevarse a cabo empleando el mismo modelo de producción.

El primero de ellos es el **progresivo agotamiento de las materias primas de la tierra**. La capacidad de la tierra para producir recursos o servicios ecológicos, también denominada biocapacidad, es limitada, mientras que la demanda de dichos recursos no lo es. Con el fin de visibilizar este problema, la organización "Global Footprint Network" ha desarrollado la iniciativa "Earth Overshoot day" (Global Footprint Network, 2021) para calcular la fecha en la que la demanda supera la biocapacidad de la tierra, es decir, el día del año en el que todos los recursos que la tierra es capaz de producir (para ese mismo año) han sido consumidos. La fórmula de cálculo de la fecha se muestra a continuación:

$$\text{"Earth Overshoot Day"} = \frac{Biocapacidad\ de\ la\ tierra}{Demanda\ total\ de\ recursos} \cdot 365$$

En 2020 el "Earth Overshoot day" tuvo lugar el día 22 de agosto[2], lo que implica, en otras palabras que, para suplir la demanda de materia primas, se necesitarían 1,6 planetas Tierra[3].

El segundo es **la predicción del aumento de la población mundial**. De acuerdo con los datos ofrecidos por la Organización de las Naciones Unidas (Organización de las Naciones Unidas, 2019) en el año 2050 habrá 9.000 millones de personas en el planeta (un incremento de 2.000 millones respecto al año 2018). Si se mantiene la tendencia de consumo actual, en dicho año, la demanda de productos y servicios será considerablemente mayor.

Pero ¿cómo puede afectar esto a la revolución industrial 4.0? La cuarta revolución industrial, como sus predecesoras, supondrá un incremento de la producción de nuevos bienes de consumo que requerirán materias primas para su fabricación. Teniendo en cuenta el aumento de la demanda esperado (aumento de población), en contraposición con la escasez de recursos

[1] En la primera se utilizó el agua y el vapor para mecanizar la producción; en la segunda, gracias a la energía eléctrica, se pasó a la producción en masa; por último, la tercera permitió automatizar la producción haciendo uso de la electrónica y la tecnología.

[2] Este año, 2021, el "Earth Overshoot Day" tendrá lugar el 29 de julio.

[3] Si una Tierra solo es capaz de abastecer la demanda durante 234 días de los 365 días del año, se necesitarían 0,6 Tierras más para abastecer la demanda de todo el año.

(agotamiento de recursos de la tierra), se prevé que esta situación conduzca a una gran volatilidad de los precios y a un encarecimiento de los mismos. (World Economic Forum s.f.)

Dicho encarecimiento de los recursos se observa en el siguiente gráfico elaborado por McKinsey (Ilustración 1). En él se muestra la evolución del índice de precios en los mercados de materias primas a lo largo del tiempo. Este índice es el resultado de calcular la media aritmética de cuatro subíndices correspondientes a productos básicos: alimentos, productos agrícolas no alimentarios, metales y energía.

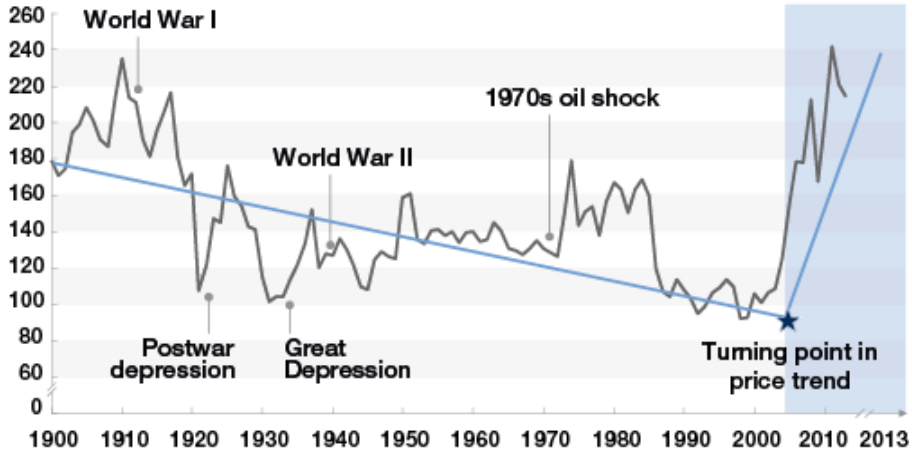

Ilustración 1 Gráfico de evolución del precio de las materias primas (McKinsey Global Institute Analysis et al. s.f.)

Del análisis del gráfico se extrae cómo afecta la demanda de recursos, en momentos históricos clave, al precio de los mismos. De esta forma, se puede observar cómo, durante la Primera Guerra Mundial, la demanda de materias primas, presumiblemente para la industria armamentística, supuso un aumento de los precios de las mismas. Por el contrario, durante la postguerra, la demanda de recursos se corresponde con un mínimo en el índice de precios.

A partir de 2005 se observa una tendencia al alza del índice de precios que continúa a lo largo del tiempo y que, previsiblemente, es consecuencia de un aumento en la demanda de bienes debido a la facilidad para adquirirlos y a la mentalidad "lineal" de la población que le lleva a comprar, usar, tirar y comprar de nuevo.

La situación descrita pone de manifiesto la necesidad de acompañar esta revolución tecnológica de una transición hacia **un nuevo modelo económico** que dé respuesta a los problemas existentes tanto a nivel económico, como a nivel ambiental y social.

En el **ámbito económico**, motor principal de la transición, el nuevo modelo no solo tratará de fomentar oportunidades para las empresas (como la reducción de los costes operativos, la mejora de la competitividad y el refuerzo de las relaciones con el resto de la cadena de valor (Fundación Ellen MacArthur 2015), sino que también deberá reducir el riesgo de volatilidad de los precios previamente mencionados.

A **nivel ambiental**, el nuevo modelo debe diferenciase del lineal y abogar por la reducción de la presión sobre los recursos de la tierra. Esto permitirá abordar la crisis del Cambio Climático desde una perspectiva global en la que no solo se tengan en cuenta la transición a las energías renovables y la eficiencia energética (las emisiones de CO_2 aportadas por la industria energética son aproximadamente el 55% de las emisiones), sino también el impacto climático asociado a los modelos actuales de producción y consumo.

Por último, la transición hacia un nuevo modelo debe fomentar también la consecución de los objetivos mundiales a **nivel social,** impulsando iniciativas en la línea de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece en su Agenda 2030. Parte de éstos serán claves para el nuevo modelo en tanto en cuanto fomentan lograr una producción y un consumo más responsables (ODS 12) mediante la promoción de alianzas (ODS 17). Pero, además, la Economía Circular ejerce de palanca para lograr producir energía asequible y no contaminante (ODS 7), adaptar la industria, y trabajar para fomentar la innovación y la creación de infraestructura sostenible (ODS 9) y lograr que las ciudades y comunidades sean más sostenibles (ODS 11), entre otros.

El modelo económico que puede dar una respuesta global en estos tres ámbitos es la **Economía Circular.**

3. UN NUEVO MODELO ECONÓMICO

La **Economía Circular** (por sus siglas, EC) es un modelo económico cuyo objetivo consiste en preservar el valor de los productos y los materiales el mayor tiempo posible y, con ello, reducir al mínimo la generación de residuos y la sobreexplotación de recursos (Comisión Europea 2015).

La transición hacia la circularidad surge a raíz de la insostenibilidad del modelo económico lineal que, a pesar de haber supuesto un desarrollo económico sin precedentes a lo largo del siglo XX, debe su éxito a la explotación continuada del capital natural para su posterior transformación en bienes de consumo.

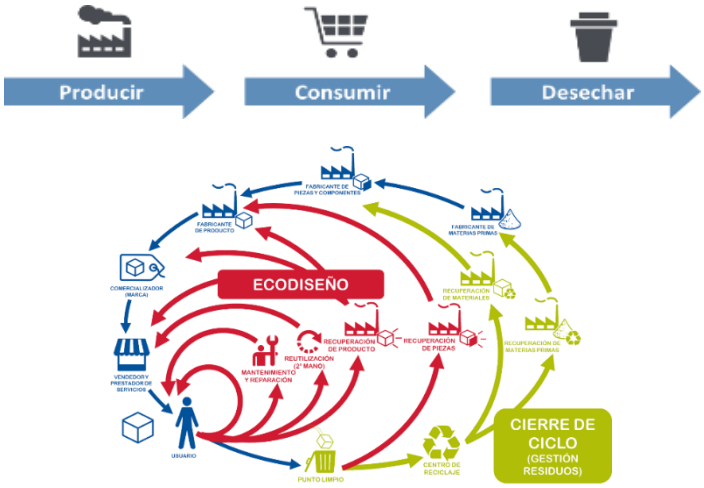

Ilustración 2 Economía lineal versus Economía Circular (Ihobe)

Para lograr una transición exitosa entre ambos modelos económicos, varias organizaciones tratan de caracterizar el concepto de Economía Circular, definiendo sus principios y características, y las acciones e iniciativas que la promueven.

Una de las fundaciones pioneras, y referente en la materia, es la Fundación Ellen MacArthur. Según ésta, el concepto de Economía Circular descansa sobre los siguientes tres principios (Fundación Ellen MacArthur, 2015): el primero de ellos hace referencia a la **preservación y mejora del capital natural** mediante la desmaterialización de los procesos siempre que sea posible (*se emplean menos recursos de la tierra*) y la sustitución, en el caso de que no lo sea, de recursos no renovables por otros que sí lo sean; el segundo busca **fomentar el ecodiseño** con el fin de maximizar el uso de los recursos ya consumidos y, de esta forma, su contribución a la economía. Por último, el tercer principio, se basa en la promoción de la **eficacia de los sistemas** mediante la detección de factores externos negativos y su eliminación del diseño siempre que sea posible.

Estos tres principios se materializan en cuatro ejes de actuación o fuentes de creación de valor a través de los cuales se manifiesta la importancia de la fase de diseño (ecodiseño) para evitar el 80% de los residuos generados:

- El poder del círculo interior: al diseñar bienes de servicio teniendo en cuenta que puedan repararse, reutilizarse, refabricarse e incluso, en última instancia, reciclarse, se permite que el círculo se cierre preservando el valor del producto tanto más cuanto más estrecho sea el círculo (Ilustración 2) .
- El poder de circular más tiempo: esta estrategia permite prolongar el ciclo de vida de un determinado producto bien sea reparándolo para que cumpla la misma función para la que fue diseñado, o reutilizándolo en otro punto de la cadena de valor.
- El poder del uso en cascada, o aprovechamiento de las materias primas de un producto cuya vida útil ha llegado a su fin para construir otro bien diferente.
- El poder de los insumos puros: reducción de la entrada de materias peligrosas en el ciclo, ya que perjudican la eficiencia en la recogida de los residuos generados y suponen el deterioro de la vida útil de los productos.

En la línea de los principios ya definidos, la Fundación Ellen MacArthur establece un conjunto de seis acciones que buscan facilitar a las empresas y gobiernos el desarrollo de iniciativas y estrategias de Economía Circular. Estas acciones conforman la metodología ReSOLVE (McKinsey & Co, Sun, Fundación Ellen MacArthur 2015). Pero no es la única, existe otra metodología llamada DISRUPT y elaborada por Circle Economy que tiene, en esencia, el mismo objetivo. (Ilustración 3).

Ilustración 3 Metodologías ReSOLVE y DISRUPT

Ambas metodologías constan de líneas de acción que se refuerzan entre sí. En el caso del marco ReSOLVE, las seis acciones promueven prolongar la vida útil de los productos, hacer los productos y procesos más eficientes y sustituir los recursos no renovables por otros que sí lo sean. Para conseguir dichos objetivos, se fomenta el ecodiseño, nuevos modelos de negocio como el "sharing" y el aprovechamiento de las herramientas que brinda la revolución tecnológica, y que permiten virtualizar procesos y, así, mejorar tanto su eficiencia como su dependencia de recursos.

Respecto a esta metodología, el marco DISRUPT añade como línea de acción la necesidad de trabajar de forma conjunta con los grupos de interés que forman parte de una misma cadena de valor, con el fin de poder lograr los objetivos de forma integral. El resto de las medidas que propone este marco son similares a las expuestas por la Fundación Ellen MacArthur.

Estas propuestas, junto con el marco normativo que se está desarrollando, tratan de combatir la problemática asociada a la economía lineal, favoreciendo así la implantación de un modelo económico más resiliente, innovador y productivo.

4. MARCO NORMATIVO

El derecho ambiental se caracteriza por emplear conceptos jurídicos indeterminados. Esto hace que resulte necesario desarrollar una serie de definiciones legales para posibilitar una aplicación exacta de las normas ambientales en las que éstos aparecen.

En esta línea, el concepto legal de Economía Circular no fue concretado hasta la publicación del Reglamento Europeo 2020/852[4] del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el establecimiento de un marco para facilitar las inversiones sostenibles (Parlamento Europeo 2020), donde se indica que Economía Circular es "*un sistema económico en el que el valor de los productos, materiales y demás recursos de la economía dura el mayor tiempo posible, potenciando su uso eficiente en la producción y el consumo, reduciendo de este modo el impacto medioambiental de su uso, y reduciendo al mínimo los residuos y la liberación de sustancias peligrosas en todas las fases del ciclo de vida, en su caso mediante la aplicación de la jerarquía de residuos"*.

Sin embargo, ya desde el año 2015, la Unión Europea ha ido desarrollando este concepto para crear un marco adecuado de actuación que permita cambiar el modelo económico. Dicho marco ha sido posteriormente replicado por Estados, Comunidades Autónomas y empresas tal y como se describe a continuación.

4.1. Unión Europea

La transición hacia una Economía Circular es considerada por la Unión Europea como una oportunidad para impulsar la competitividad de las empresas y lograr beneficios a nivel económico, social y ambiental. Además, se trata de una contribución esencial para la consecución de sus objetivos climáticos para el año 2050.

En este sentido, y con el fin de liderar el cambio y traccionar a los Estados miembros hacia un modelo económico más circular y sostenible, la UE comenzó a desarrollar, en 2015, un marco normativo que le permitiese transmitir señales claras que favoreciesen su implantación.

A continuación se presenta una síntesis de los hitos más relevantes alcanzados en materia de Economía Circular.

4.1.1. Cerrar el círculo

En julio de 2014, la Comisión Europea propuso un paquete inicial de Economía Circular titulado "Hacia una Economía Circular: Un programa de cero residuos para Europa" centrado en la

[4] Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de junio de 2020 relativo al establecimiento de un marco para facilitar las inversiones sostenibles y por el que se modifica el Reglamento (UE) 2019/2088.

reducción y la gestión de residuos en el ámbito comunitario. Más adelante, en febrero de 2015, la propuesta legislativa de residuos incluida en él fue derogada y, con ello, la Comisión se comprometió a elaborar un plan acción que abarcase de forma integral el problema de los residuos en Europa.

Dicho compromiso se materializó el 2 de diciembre de 2015 con la aprobación de la Comunicación "Cerrar el círculo: Un plan de acción de la UE para la Economía Circular". Esta Estrategia incluía iniciativas relativas tanto a la gestión de residuos como al resto de las fases del ciclo económico[5] del producto o bien de servicio. (Equipo de prensa de la Comisión Europea, 2015).

Junto con esta estrategia se aprobaron también cuatro propuestas legislativas y un anexo con 54 medidas concretas para implementarla, que constituían el Plan de Acción en EC. Estas medidas tenían como prioridad estar orientadas a la acción y dar respuesta a las inquietudes manifestadas por los diferentes grupos de interés en la "Stakeholder platform"[6].

Por un lado, las cuatro propuestas legislativas del Paquete de Economía Circular hacían referencia a la modificación de distintas directivas[7] relativas a los residuos generados. Por otro, las medidas definidas en el Plan cubrían las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos, diseño y producción, consumo y gestión de residuos. Además, se tenía en cuenta la posibilidad de convertir residuos en recursos y se atendían de forma prioritaria áreas como los plásticos, los residuos alimentarios, materias primas críticas, construcción y demolición y biomasa y bioproductos (MITERD 2020).

Cabe destacar que el proceso de desarrollo de la normativa y de implantación de las medidas previamente mencionadas ha estado monitorizado por el "Tren legislativo" del Parlamento Europeo (European Parliament s.f.); en la actualidad, todas ellas han sido implantadas.

4.1.2. Pacto Verde Europeo

Más tarde, en diciembre de 2019, la Comisión Europea presentó el Pacto Verde Europeo o "Green Deal" para dar respuesta a los desafíos climáticos y ambientales a los que se enfrentaba Europa. A tal fin, el Pacto marcaba la hoja de ruta para alcanzar una economía más sostenible y tenía tres objetivos básicos: lograr la neutralidad climática[8] para 2050, desvincular el

[5] Producción, consumo, gestión de los residuos, y mercado de materias primas secundarias.

[6] Iniciativa conjunta de la Comisión Europea y del Comité Económico y Social Europeo en el marco de la Economía Circular.

[7] Directiva 2008/98/CE, sobre los residuos; Directiva 94/62/CE, relativa a los envases y residuos de envases; Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos; y otras como la Directiva 2000/53/CE, relativa a los vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, la Directiva 2012/19/UE, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

[8] Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (por sus siglas en inglés, UNFCCC) el concepto de **neutralidad climática** hace referencia "a la idea de que las emisiones netas de gases de efecto invernadero se equilibren y sean iguales (o menores) a las que se eliminan a través de la absorción natural del planeta."

crecimiento económico del uso de recursos y conseguir que nadie se quedase atrás como consecuencia de esta transición. (Comisión Europea, 2019)

El "Green Deal" abarca todos los sectores de la economía, incidiendo de forma especial en el sector energético, el transporte, la industria, los edificios e infraestructuras y la alimentación[9]. Para ellos, se plantean objetivos concretos en aras de fomentar la sostenibilidad que incluyen: impulsar el uso eficiente de los recursos, acelerar la implantación de una economía limpia y circular y promover, de forma transversal, la preservación y restauración de la biodiversidad, la reducción de la contaminación y una transición justa e inclusiva.

Con el fin de alcanzar las metas marcadas, la Comisión se compromete a presentar un Plan de Inversiones para una Europa Sostenible que contribuya a conseguir la financiación necesaria[10]; un Pacto Europeo por el Clima que extienda la concienciación entre los ciudadanos y fomente su compromiso con el Pacto Verde; y, por último, a dotar a la UE de políticas que integren la sostenibilidad.

4.1.3. Por una Europa más limpia y competitiva

En línea con los objetivos del Green Deal, y con la finalidad de impulsar los cambios propuestos en él, en marzo de 2020 la Comisión Europea presentó el nuevo "Plan de Acción para la Economía Circular: Por una Europa más limpia y competitiva". Este plan integra todo el trabajo realizado en materia de Economía Circular en Europa desde el año 2015 y propone nuevas iniciativas (Comisión Europea 2020).

Dichas iniciativas fomentan que la sostenibilidad se integre en todo el ciclo de vida de un determinado producto o bien de servicio. Por un lado, buscan generalizar la fabricación de productos diseñados para ser duraderos, reparables, reutilizables y reciclables a través del **desarrollo de políticas de productos sostenibles**. Además, estas iniciativas buscan hacer partícipe al consumidor de la sostenibilidad de sus decisiones facilitándole la información sobre la reparabilidad y/o durabilidad de los productos que adquiere. Por último, el Plan trata de asegurar la reducción de los residuos que se generan.

Para lograr los objetivos marcados, el Plan se centra en los sectores que ofrecen más potencial para ser circulares o en aquellos que consumen un mayor volumen de recursos[11], proponiendo para ellos medidas concretas.

[9] Las medidas propuestas en estos sectores están relacionadas con la promover el suministro de energía limpia, asequible y segura; acelerar la transición hacia una movilidad sostenible e inteligente; avanzar hacia una economía más circular; hacer un uso eficiente de la energía y los recursos; e idear un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medioambiente.

[10] Según estimaciones conservadoras de la Comisión Europea, se estima que la inversión adicional necesaria, para hacer realidad las aspiraciones del Pacto Verde Europeo, ascenderá a los 260.000 M€ anuales en materia de clima y energía.

[11] Electrónica y TIC, baterías y vehículos, envases y embalajes, plásticos, productos textiles, construcción y vivienda y alimentos.

Cabe destacar que este Plan tiene como prioridad que la transición hacia una mayor circularidad y sostenibilidad "brinde oportunidades para todos, sin dejar a nadie atrás".

4.1.4. Alianza Mundial para la Economía Circular y la Eficiencia de los Recursos

En febrero de 2021, y aprovechando la quinta sesión de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA-5), se puso en marcha la Alianza Mundial para la Economía Circular y la Eficiencia de los Recursos (GACERE, por sus siglas en inglés).

GACERE es el fruto de la propuesta de la Comisión Europea, en el Plan de Acción para la Economía Circular de 2020, de crear una alianza mundial que, gracias a la colaboración de las partes, permitiese un mayor conocimiento y promoción de la Economía Circular a nivel mundial.

Esta alianza, liderada por la UE, cuenta con la participación de 11 países de los 5 continentes; la participación de organizaciones internacionales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI); y, por último, con importantes socios estratégicos como la Fundación Ellen MacArthur, la Plataforma para Acelerar la Economía Circular y el Foro Mundial de Economía Circular.

4.2. España

En este contexto de transición hacia un modelo económico más circular, los esfuerzos de la Unión Europea no serían del todo fructíferos si no estuviesen acompañados de políticas y medidas concretas a nivel nacional.

Es por ello por lo que España, consciente de la insostenibilidad del modelo económico lineal[12], está desarrollando sus propias Estrategias y Planes con el fin de contribuir a la implantación eficaz de la Economía Circular en todos los sectores y ámbitos.

A continuación, se presentan los hitos más relevantes conseguidos hasta el momento.

[12] "Se estima que nuestro país necesita más de dos veces y media su superficie para abastecer las necesidades de nuestra economía. Además de los impactos ambientales que esto comporta, los datos demuestran la ineficiencia del modelo y la dependencia agravada del exterior, que hacen a nuestra economía más vulnerable y menos competitiva." (MITERD 2020)

4.2.1. Estrategia Española de Economía Circular

El 2 de junio de 2020, el Consejo de Ministros aprobó la Estrategia Española de Economía Circular (EEEC) – España Circular 2030 – elaborada por el MITERD. "España Circular 2030" es una estrategia diseñada tomando como base los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los hitos alcanzados por la UE en materia de EC y explicados previamente.

La Estrategia trata de impulsar iniciativas que permitan la transición de un modelo económico lineal a uno circular y, así, contribuir a los objetivos de sostenibilidad, descarbonización, eficiencia en el uso de los recursos y competitividad[13] (MITERD 2020). Para ello, se analiza el punto de partida en el que se encuentra la economía española en el momento de la implantación de la estrategia y se marcan una serie de líneas de acción y objetivos cuantificables para lograr una mayor y progresiva circularidad de la misma.

Cabe destacar que la EEEC se configura como un documento marco a largo plazo cuyos objetivos se ejecutarán y evaluarán a través de la publicación de planes de acción trienales hasta 2030.

Los ejes y líneas de actuación en los que se basan tanto la Estrategia como los Planes de Acción son los que aparecen reflejados en la Ilustración 4.

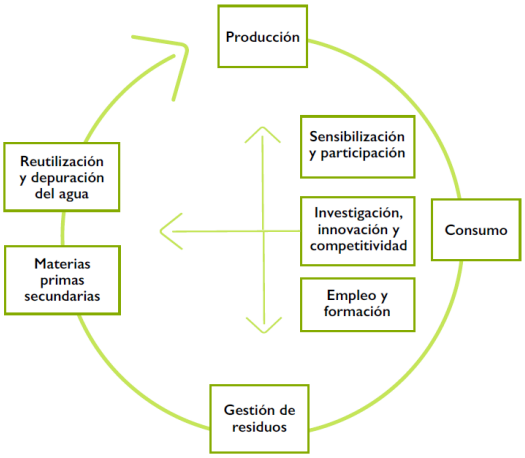

Ilustración 4 Ejes de actuación de la EEC y sus Planes de Acción (MITERD 2020)

Dentro de estos ejes se desarrollarán medidas que tengan por objetivo final alcanzar estas metas cuantificables para 2030 (MITERD 2020):

- Reducir en un 30% el consumo nacional de materiales en relación con el PIB (respecto a los valores de 2010).
- Reducir la generación de residuos un 15% (respecto a los valores de 2010).

[13] Los objetivos propuestos deben fomentar los principios estratégicos de la EEEC: protección del medioambiente, enfoque de ciclo de vida de los productos, jerarquía de residuos, reducción de residuos alimentarios, eficiencia en la producción, consumo sostenible, sensibilización y comunicación, empleo para la economía circular, investigación e innovación e indicadores.

- Reducir la generación de residuos de alimentos en toda cadena alimentaria: 50% de reducción per cápita a nivel de hogar y consumo minorista y un 20% en las cadenas de producción y suministro a partir del año 2020.
- Incrementar la reutilización y preparación para la reutilización hasta llegar al 10% de los residuos municipales generados.
- Mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua.
- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas de CO2 equivalente.

4.2.2. Plan de Acción de Economía Circular

El día 25 de mayo de 2021, el Consejo de Ministros aprobó el Plan de Acción de Economía Circular para el primer trienio (2021-2023), disponible ya en la página web del Ministerio. Con él se busca consolidar un modelo económico circular y descarbonizado a través de 116 medidas que la Administración General del Estado pondrá en marcha a lo largo de estos años.

Tal y como se ha mencionado previamente, este Plan se enmarca en la Estrategia Española de Economía Circular y las medidas propuestas en él fomentan sus 8 ejes de acción. En concreto, se detallan (Equipo de prensa del Gobierno 2021):

- 17 medidas en el eje de la **producción**, con las que se busca impulsar la inclusión de la Economía Circular en todos los sectores a través del ecodiseño y los nuevos modelos de negocio, entre otras.
- 13 medidas en el eje de **consumo**, relacionadas con el desarrollo de una etiqueta informativa que facilite al consumidor información relativa a la vida útil del producto y su reparabilidad.
- 30 medidas en el eje de **gestión de recursos**. En este eje se incluyen nuevas exigencias en lo que respecta a la prevención y planificación de residuos.
- 12 medidas en el eje de **materias primas secundarias**, con las que se busca desarrollar criterios de fin de condición de residuo y fomentar el uso de subproductos.
- 4 medidas en el eje de **reutilización del agua** que incluyen la revisión del marco normativo de la reutilización del agua, el fomento del uso de aguas regeneradas para regadío y la mejora de la información disponible sobre los usos del agua.
- 19 medidas en el eje de **sensibilización y participación** para impulsar la integración de las buenas prácticas de economía circular en todos los ámbitos.
- 9 medidas en el eje **de investigación, innovación y competitividad** en el ámbito de la economía circular.
- 12 medidas en el eje de **empleo y formación** para la promoción de oficios relacionados con la economía circular.

Para la consecución de los objetivos marcados en este plan se cuenta con un presupuesto de 1.529 M€.

4.2.3. Otras contribuciones a la Economía Circular

Además, cabe destacar otras acciones que se han llevado a cabo en España en materia de Economía Circular.

- En 2017, los Ministerios de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) y de Economía, Industria y Competitividad (MEIC) impulsaron el "**Pacto por una Economía Circular: El compromiso de los agentes económicos y sociales"** (MITECO 2017). Como su propio nombre indica el Pacto se creó con la finalidad de involucrar a todos los agentes económicos y sociales de España en el impulso de la EC como medio para hacer frente al reto digital y ecológico. El pacto fue firmado por 55 agentes el día de la Jornada de debate y, en 2019, ya contaba con un total de 359 entidades de 37 subsectores del CNAE (MITERD 2019).

  Para favorecer la eficiencia del Pacto, las entidades disponen de un decálogo de acciones que sirve de guía para el impulso de la EC y, además, se comprometen al envío de indicadores que permitan medir el grado de implantación de la misma.

- Asimismo resaltar como contribución a la EC el desarrollo de un catálogo de **Buenas Prácticas en Economía Circular**[14] (BPEC). En él, diferentes actores económicos comparten los resultados de experiencias que pueden ser transmisibles y escalables a otros agentes y, por tanto, constituyen ejemplos de buenas prácticas (MITERD 2021).

  La primera convocatoria se realizó durante el 2020 y contó con 270 propuestas, de las cuales 42 fueron seleccionadas para el primer catálogo de BPEC. En la actualidad, se están valorando las propuestas recibidas en la segunda convocatoria.

- Además, el MITERD contribuye a la difusión de los avances en el proceso de implantación de la Economía Circular con la publicación del **Boletín de Economía Circular**.
- Programas de participación y sensibilización
- Propuestas de buenas prácticas en Economía Circular por sectores: turístico, construcción y plásticos.

4.3. Estrategias autonómicas

Algunas Comunidades Autónomas, haciéndose eco de las políticas internacionales y nacionales relativas a la Economía Circular, han desarrollado sus propias estrategias e iniciativas. Hasta el momento, dichas Comunidades son: Cataluña, Madrid, Extremadura, País Vasco y Andalucía.

Concretar las medidas en un ámbito local es fundamental para el desarrollo e implantación de la EC de forma generalizada en la sociedad.

[14] Vid. página 34

5. NORMALIZACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Para la Economía Circular la normalización es fundamental en tanto en cuanto le proporciona herramientas para la implementación práctica de las medidas que la impulsan. En materia de normalización existen dos tipos de aproximaciones distintas en función del modo de aplicación: transversal (normas de aplicación horizontal) o sectorial (normas de aplicación específica). Además, considerando su ámbito, se pueden diferenciar dos líneas de trabajo: a nivel internacional y nacional.

A priori, la normalización en Economía Circular es una norma transversal, y por tanto de aplicación horizontal, ya que sirve para orientar a todos los sectores y así lograr una implantación de la misma a lo largo de toda la cadena de valor de un producto o servicio.

5.1. Ámbito Internacional

Los trabajos de normalización en materia de Economía Circular que se están desarrollando a nivel internacional están dirigidos por el órgano técnico competente en esta materia, la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés). Se ha constituido el siguiente Comité Técnico:

- ISO/TC 323 'Circular Economy', formado en el seno de la Organización Internacional de Normalización (ISO) en 2018, tiene por objetivo cubrir todas las claves de una economía circular y generar normas aplicables a cualquier tipo de entidad.

  Este Comité Técnico cuenta, principalmente, con cuatro líneas de trabajo:
  1. Principios, marco, terminología y, posteriormente, sistema de gestión.
  2. Guías de implementación, modelos de negocio, compra pública sostenible, cambio de comportamiento y educación.
  3. Evaluación de la circularidad.
  4. Análisis de casos de estudio, economía de la funcionalidad, enfoque local.

  Este comité cuenta con la participación de más de 72 países de los 5 continentes, entre ellos España a través de la Asociación Española de Normalización, UNE.

5.2. Ámbito Nacional

La participación de la UNE (Asociación Española de Normalización), como representación de España en el comité de la ISO/TC 323 de Economía Circular, facilita la transposición y adaptación de la norma internacional a la realidad nacional. Para ello, se cuenta con la participación de dos organismos: La Comisión Consultiva de Economía Circular y el Comité Técnico de Normalización CTN 323 'Economía Circular'.

La Comisión Consultiva de Economía Circular se constituyó en abril de 2019 como órgano de análisis y con dos finalidades básicas. Por un lado, identificar aquellas normas ya existentes que, de forma directa o indirecta, dan soporte a la consecución de los objetivos de la EC; y por otro, evaluar las necesidades existentes y favorecer la normalización para satisfacerlas a través del impulso de un Comité de Normalización en materia de EC.

Dicho Comité, "Comité Técnico de Normalización CTN 323 'Economía Circular'", se constituyó en UNE, en junio de 2019, con el objetivo de desarrollar "estándares horizontales que faciliten a las organizaciones alcanzar sus objetivos en el ámbito de la economía circular" (UNE 2020).

Además, no solo permite la consecución de los objetivos de EC en España, sino que también permite representar los intereses españoles en los trabajos de normalización en el ámbito internacional.

5.3. Sectorial

Si bien hasta el momento se han analizado normas de carácter transversal, existen otras de tipo sectorial que también están relacionadas con el impulso a la Economía Circular. Se trata de normas referidas a sectores donde el modelo económico circular es más relevante, como es el caso de los productos energéticos:

- CEN/CLC JTC 10 'Energy-related products. Material Efficiency Aspects for Ecodesign'. En el ámbito europeo, este organismo (CEN/CLC JTC 10) desarrolla normas aplicables a cualquier tipo de producto energético. Dichas normas pueden estar relacionadas con su vida útil, la capacidad de reutilización de sus componentes, la facilidad de reparación o la evaluación del uso de materias primas secundarias, entre otros.

  La Comisión Europea insta a sus países miembros a que reflejen en sus estrategias nacionales los trabajos de normalización llevados a cabo por este organismo.

6. ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LAS EMPRESAS

Tal y como se ha expresado previamente, la transición efectiva hacia un modelo más circular depende en gran parte del papel de los agentes económicos. En este sentido, las empresas tienen ante sí el reto de desarrollar de una estrategia propia con el fin no solo de rediseñar sus procesos, servicios y modelos de negocio, sino también de traccionar a su cadena de valor.

Pero ¿en qué puede beneficiar a las empresas asumir este reto si para ello deben invertir y cambiar su forma de trabajar?. La "hoja de ruta para integrar el modelo circular en la estrategia empresarial", elaborada por Forética[15] (Forética 2018) explica, a través de una serie de pasos, los beneficios que la EC puede brindar a la empresa y qué etapas a seguir para integrarla en su actividad. En la Ilustración 5 se muestran dichas etapas.

Ilustración 5 Hoja de ruta. Cómo integrar el modelo circular en la estrategia empresarial.

Esta hoja de ruta no provee a las empresas de una estrategia definida, pero permite que éstas se realicen las preguntas adecuadas y sigan un determinado orden en el proceso de implantación de la economía circular.

El primero de los pasos, "Conoce, difunde y actúa", conlleva evaluar los riesgos de la economía lineal y las oportunidades que puede generar la economía circular en la cadena de valor de la empresa. Además, es conveniente que la organización investigue las estrategias existentes y evalúe cómo éstas se pueden adaptar a su realidad.

Entre los riesgos, previamente mencionados, se pueden destacar la exposición ante interrupciones de suministro de materias primas, la volatilidad de los precios de las mismas o el encarecimiento de los recursos. Éstos afectan a la actividad empresarial e instan a implantar un modelo más circular con beneficios como:

[15] "Forética es la asociación de empresas y profesionales de la responsabilidad social empresarial/sostenibilidad líder en España y Latinoamérica, que tiene como misión fomentar la integración de los aspectos sociales, ambientales y de buen gobierno en la estrategia y gestión de empresas y organizaciones. Actualmente está formada por más de 200 socios.
Forética es el único representante en España del World Business Council for Sustainable Development y por tanto Consejo Empresarial Español para el Desarrollo Sostenible." (Forética 2018)

- La detección de ineficiencias, pérdidas de recursos y desperdicio de recursos en la cadena de valor que puedan eliminarse.
- La creación de valor al ofrecer un producto y/o servicio más circular (se eliminan las pérdidas de valor asociadas a las ineficiencias detectadas en los procesos).
- La identificación de nuevos modelos de negocio que le supongan beneficios a nivel económico.
- La incorporación de innovaciones y nuevas tecnologías que le permitan ahorrar costes económicos y ambientales.

Con la finalidad de lograr dichos beneficios, el segundo paso de la hoja de ruta plantea la importancia del compromiso interno con los objetivos de la EC (Guía para CEO de la Economía Circular del WBCSD) y, como tercero, la planificación y actuación. La implementación de este tercer paso debe realizarse de forma gradual y, aunque puede hacerse según distintas aproximaciones, algunas claves para conseguirlo podrían ser: priorizar a proveedores que contribuyan a la circularidad, diseñar con visión de futuro, convertir residuos en recursos, repensar el modelo de negocio y/o incorporar la tecnología.

El cuarto paso, que relaciona el compromiso interno y la actuación, pone de manifiesto la necesidad de trabajar en equipo. No solo a nivel interno, con la finalidad de lograr que todos los departamentos se involucren en la implantación de una EC, sino también externo, uniéndose a plataformas, iniciativas conjuntas o proyectos que tengan el mismo objetivo.

Además, Forética pone de relieve la importancia de medir el progreso y buscar la ambición en lo que a este proceso respecta. Para ello existen diferentes indicadores que permiten medir la circularidad de las diferentes iniciativas aplicadas.

Por último, una vez que la estrategia está implantada en la empresa, es importante comunicar las acciones que se han llevado a cabo para fomentar la concienciación y traccionar a más gente hacia este nuevo modelo circular.

6.1. Ahora o nunca: El compromiso de EDP con la Economía Circular

EDP, empresa del sector energético centrada en la generación y distribución de electricidad y la comercialización de energía y servicios energéticos, consciente de la importancia de la Economía Circular y de su papel en la transición hacia la misma, trabaja en la reducción generalizada del consumo de recursos y, al mismo tiempo, se plantea este momento de cambio como una oportunidad para desarrollar nuevos modelos de negocio. Bajo el lema “Ahora o nunca” recoge todas las iniciativas que se realizan, inspiradas en el ODS 12, para reconvertir su actividad y hacerla más circular.

> *“EDP se ha comprometido muy concretamente a eliminar el 100% de los plásticos de un solo uso y mantener una tasa media de recuperación de residuos del 75%, promoviendo la circularidad. Además, EDP, en sus actividades de construcción, operación y mantenimiento de instalaciones, siempre favorece la reutilización y las alianzas con*

operadores autorizados que remiten los residuos a un destino preferencial para su valorización ".

EDP – Ahora o nunca (EDP s.f.)

En lo que respecta a la implantación de una Estrategia de Economía Circular, EDP España ha manifestado su compromiso con la implantación de un modelo más circular a través de diferentes acciones con impacto en toda su cadena de valor y en todas las unidades de negocio, desde el proveedor hasta el cliente, desde la generación hasta la comercialización, alcanzando los siguientes hitos hasta el momento:

Ilustración 6 Hitos de EDP España en materia de Economía Circular

En el presente trabajo se abordará en términos hipotéticos la circularidad de una de las iniciativas que forman parte de los ejes de actuación de EDP dentro de su Estrategia de EC; concretamente, se analizará un proyecto en el que se transforma una central térmica convencional para que pueda funcionar con combustibles más circulares y, de esta forma, alargar su vida útil.

7. SUPUESTO PRÁCTICO: ABOÑO 1, CONVERSIÓN A GAS

La Central Térmica de Aboño es una central térmica convencional formada por dos grupos generadores independientes: el grupo 1, con una potencia eléctrica bruta de 365,5 MW, puesto en servicio en 1974, y el grupo 2, con una potencia eléctrica bruta de 595,2 MW, en servicio desde 1985.

En ambos grupos los combustibles principales son el carbón, nacional e importado, y los gases residuales del proceso siderúrgico procedentes de las instalaciones de Arcelor-Mittal[16]. Este aprovechamiento permite generar energía eléctrica al quemar dichos gases que, en cualquier otro caso, se quemarían en antorcha antes de emitirse a la atmósfera.

Además, se emplean como combustibles de arranque y apoyo, en los momentos en los que se requiere mayor potencia, gasóleo y fuelóleo en el grupo 1, y gas natural y gasóleo en el grupo 2.

7.1. Descripción del proyecto

La legislación ambiental vigente, tanto a nivel europeo como español, establece que las centrales térmicas convencionales no podrán seguir funcionando más allá de 2021[17]. Con el fin de que la Central Térmica de Aboño 1 pueda seguir funcionando a partir de entonces, este proyecto plantea la posibilidad de adaptar las instalaciones para poder generar energía con otros combustibles distintos a los que se emplean en la actualidad. En concreto, se sustituiría el carbón pulverizado por gas de horno alto (GHA) y gas de batería de coque (GBC), como combustibles principales, y el fuelóleo y el gasóleo por gas natural, como combustibles de arranque.

Tabla 1 Cambio de combustible deseado en el grupo 1 de la Central Térmica de Aboño

ABOÑO 1	SITUACIÓN INCIAL	OBJETIVO
PRINCIPAL	Carbón (Importado y nacional) Gases siderúrgicos	Gases siderúrgicos: GHA y GBC
ARRANQUE Y APOYO	Fuelóleo y gasóleo	Gas natural

La finalidad del presente trabajo consiste en evaluar la circularidad de este proyecto en base a la teoría expuesta, y la reducción de los impactos ambientales respecto a la situación inicial, que se logra adicionalmente. Para ello, y usando como base el caso de Aboño 1, se plantearán dos escenarios hipotéticos de producción y se compararán entre sí.

Para la elaboración de este apartado se ha tomado como base la Evaluación de Impacto Ambiental Simplificada del Proyecto de conversión a gas en el Grupo 1 del Centro de Producción

[16] Que se encuentra en Veriña, en las inmediaciones de la central térmica.
[17] Se trata de una consecuencia directa de los esfuerzos por lograr una economía descarbonizada en el año 2050.

Térmica de Aboño. Dicha EIA fue elaborada por la empresa TAUW y publicada en Mayo de 2020 (TAUW 2020).

En este documento se reflejan las modificaciones que es necesario llevar a cabo sobre los equipos existentes en la CT de Aboño y las mejoras ambientales que se esperan a partir de ellas. Empleando esta información se plantearán los dos escenarios estudiados.

7.2. Modificaciones previstas para la adaptación de las instalaciones

La novedad de este proyecto consiste en adaptar las instalaciones existentes para el aprovechamiento energético de los gases siderúrgicos, frente a la alternativa de tener que construir una nueva central térmica. Esta adaptación conlleva una serie de modificaciones estructurales que permitirán la reutilización de los equipos existentes en la central en las nuevas condiciones de funcionamiento. Las reformas más relevantes se describen a continuación:

- Sustitución de los quemadores de carbón pulverizado por quemadores de gas de horno alto, gas de batería de coque y gas natural.
- Adaptación de las infraestructuras existentes para lograr el suministro de los combustibles gaseosos (GN) hasta la caldera del grupo 1.
- Adaptación de los sistemas de aire y de gases de combustión de la caldera a la nueva configuración del sistema de combustión. Se podrán aprovechar los ventiladores de tiro forzado y de tiro inducido existentes en la actualidad.
- Trabajos de renovación, mantenimiento y extensión de vida en la caldera. Este proyecto permitirá alargar la vida útil de la central otros 25 años[18] mediante la adaptación de la caldera para quemar exclusivamente gases. Para garantizar una operación segura y fiable durante este tiempo, se ha calculado la vida residual de los principales equipos y se han planificado así las actuaciones necesarias. Éstas estarán concentradas principalmente en aquellos equipos que soportan temperaturas elevadas o variaciones térmicas importantes: la turbina de vapor, el generador eléctrico y auxiliares, el condensador, los calentadores de baja y alta presión y las tuberías de vapor principal y recalentado.

7.3. Impulso a la Economía Circular

Uno de los factores que permite clasificar el proyecto como un proyecto de Economía Circular es que las modificaciones previstas sobre los equipos existentes resultan más económicas que la construcción, en Arcelor-Mittal, de una nueva central para el aprovechamiento energético de los gases siderúrgicos.

[18] Este grupo de la central cuenta, desde su puesta en marcha en 1974, con más de 290.000 horas de operación.

Sin embargo, al margen de esta ventaja económica, existen otros muchos factores que avalan la circularidad de este proyecto.

Uno de ellos es el objetivo de alargar la vida útil del Grupo 1 de Aboño mediante la adaptación de sus instalaciones para que puedan producir energía con gases siderúrgicos. Esto, a la luz de la teoría expuesta, supone un impulso a la Economía Circular que se puede valorar de forma cualitativa observando cómo se ajusta a los principios que debe de tener una BPEC (vid. página 34).

- En lo que respecta al principio de "pensamiento sistémico y holístico", la modificación prevista permite atajar un problema global como es el Cambio Climático mediante una actuación local.

- Respecto al principio de "repensar", en este proyecto se renueva el modelo actual de producción eléctrica para facilitar el tránsito a la Economía Circular reemplazando un recurso no renovable finito (combustibles fósiles) por una materia prima secundaria (gases residuales siderúrgicos).

- El proyecto contribuye al principio "Cerrar el círculo" porque se cierra el ciclo de vida del gas siderúrgico, que generaría emisiones a la atmósfera sin aprovechamiento energético mediante su combustión en antorcha; a cambio, se aprovechará su poder calorífico para producir vapor en la caldera reformada de una central térmica existente (grupo 1 de Aboño) y generar así energía eléctrica.

- Por último, el proyecto propuesto de reforma de una central térmica existente (grupo 1 de CT Aboño) resulta del acuerdo de colaboración entre una empresa del Sector Siderúrgico (Arcelor-Mittal España) y otra del sector eléctrico (EDP España). Es un negocio colaborativo en el que dicha empresa siderúrgica Arcelor cede los gases residuales del proceso siderúrgico a la central eléctrica para producir electricidad en una instalación ya existente, frente a la alternativa de que Arcelor construya una nueva central en su emplazamiento que pueda aprovechar esos gases siderúrgicos. Por lo tanto, se puede decir que contribuye también al principio "Compartir y colaborar".

Adicionalmente, el proyecto presenta una serie de características que permiten encajarlo dentro del apartado "Actuaciones de Diseño y Producción" mencionado por el MITERD en el catálogo de BPEC.

En este epígrafe de Diseño y Producción se incluyen aquellos proyectos que facilitan un proceso más circular en la producción de bienes (en este caso, en el servicio de generar 1 kWh), para lo cual se han de cumplir los criterios mínimos de circularidad que aparecen reflejados en la Ilustración 7.

ÁMBITO DE ACCIÓN	CRITERIOS MÍNIMOS DE CIRCULARIDAD
GRUPO A: DISEÑO Y PRODUCCIÓN.	a. Una reducción y uso más eficiente de los recursos consumidos (materias primas, agua y energía), incluyendo si: i. aumenta: la durabilidad, resiliencia, eficiencia, funcionalidad, posibilidad de actualización, de reparación y de reciclado de los productos (incluido el de los distintos materiales contenidos) y tasa de reciclabilidad, ii. sustituye los recursos por otros más sostenibles, iii. incrementa el uso de materias primas secundarias. b. Una prevención de los residuos tanto del propio producto como de los generados en su actividad, incluyendo si: i. aporta transparencia de información en todo su ciclo de vida. c. Una reducción de los impactos asociados a su actividad.

Ilustración 7 Criterios mínimos de circularidad de BPEC en el ámbito de diseño y producción

A continuación, se evaluará si el presente proyecto cumple o no cada uno de dichos criterios:

- En lo que respecta a que haya una reducción y un uso más eficiente de los recursos consumidos (materias primas, agua y energía), la modificación de Aboño 1 permitirá el empleo de una materia prima secundaria en vez del carbón, y, además, supondrá un ahorro del agua consumida frente a la situación actual.

- Por otro lado, el proyecto cumple el criterio de que haya una prevención de los residuos generados. Como se ha comentado, el uso de combustibles gaseosos en sustitución del carbón permitirá que desaparezcan las cenizas y escorias, residuos actuales que se generan en grandes cantidades como resultado de la combustión del carbón.

- Además, cumple con la vocación de reducción de los impactos asociados a la actividad de la central. De acuerdo con lo expuesto en apartados anteriores, el proyecto de conversión de Aboño 1 implica una serie de logros ambientales que se detallarán en el apartado de "Ventajas ambientales y beneficios sociales del proyecto".

7.4. Ventajas ambientales y beneficios sociales del proyecto

Tal y como se indica en la parte introductoria, la Economía Circular ofrece una serie de ventajas adicionales de carácter ambiental y social que, en el caso de este proyecto de conversión de Aboño 1, serían las siguientes:

7.4.1.Ambientales

Los cambios previstos, descritos en apartados anteriores, tienen la finalidad de reducir los impactos ambientales de la generación eléctrica. Las mejoras ambientales que suponen dichos cambios pueden agruparse atendiendo a la parte del proceso sobre la que se realizan las modificaciones:

Transporte

- Al dejar de emplear gasóleo y fuelóleo como combustibles de arranque y apoyo, se elimina el riesgo de derrames accidentales durante su transporte hasta la instalación, su descarga en los tanques de almacenamiento y/o su uso en el interior de la planta.
- Además, se reduce en un 25 % el consumo eléctrico en servicios auxiliares al eliminar los equipos que se utilizan en el movimiento, almacenamiento y transporte de los combustibles (carbón, gasóleo y fuelóleo) y los productos secundarios que éstos generan (escorias). Esto supone una mejora en la eficiencia energética del proceso.

Emisiones

- Se reducen las emisiones de gases contaminantes (SO_2, NOx y partículas), propiciando así una mejora de la calidad del aire:
  - Las emisiones de SO_2 se reducen un 97% gracias al bajo contenido en azufre de los gases siderúrgicos.
  - Las emisiones de NO_x se reducen un 76%, principalmente por los nuevos sistemas de combustión que está previsto instalar.
  - La emisión de partículas será prácticamente nula, debido al bajo contenido en las mismas de los gases siderúrgicos.

- Se reduce la emisión de ruido al eliminar los molinos de carbón y otros equipos que resultan importantes focos sonoros.
- Se reduce la contribución al cambio climático gracias al aprovechamiento de los gases siderúrgicos[19] de la fábrica de Arcelor-Mittal. Al emplear dichos gases siderúrgicos se evita, por un lado, que éstos se quemen en antorcha sin aprovechar su poder calorífico para la generación energética y, por otro, se evita el consumo de carbón como combustible. De esta forma se reducen las emisiones totales de CO_2 a la atmósfera.

  - El Gas de Horno Alto (GHA) se genera en el proceso de producción de arrabio en los Hornos Altos, tratándose de un gas de bajo poder calorífico (unas 785 kcal/m3N). La composición del GHA es variable, dependiendo del proceso industrial en el que se produce. Una composición típica en volumen es la mostrada en la Tabla 2.

[19] El sector siderúrgico, en el proceso de elaboración del acero, genera gases residuales de alto contenido en monóxido de carbono que, debido a su toxicidad, es necesario quemar antes de emitirlos a la atmósfera. Los elevados caudales procedentes del proceso siderúrgico, junto con su variabilidad, hacen que estas fuentes energéticas no se puedan almacenar y tengan un carácter fluyente, de forma que si no se quemasen en una central térmica, los gases habrían de ser quemados en antorchas a la atmósfera, con el consiguiente desaprovechamiento energético.

Tabla 2 Composición volumétrica media de los GHA

	Unidad	Valor
Hidrógeno (H_2)	% vol.	5,52
Monóxido de carbono (CO)	% vol.	23,22
Dióxido de carbono (CO_2)	% vol.	22,84
Nitrógeno (N_2)	% vol.	48,00
Oxígeno (O_2)	% vol.	0,42
Metano (CH_4)	% vol.	0,005

- El Gas de Batería de Coque (GBC) es un subproducto del proceso de coquización del carbón[20]. Su poder calorífico está en torno a las 4.950 Kcal/m3N, y su composición típica en volumen aparece en la Tabla 3.

Tabla 3 Composición volumétrica media de los GBC

	Unidad	Valor
Hidrógeno (H_2)	% vol.	54,01
Monóxido de carbono (CO)	% vol.	6,50
Dióxido de carbono (CO_2)	% vol.	3,08
Nitrógeno (N_2)	% vol.	10,10
Oxígeno (O_2)	% vol.	0,83
Metano (CH_4)	% vol.	23,00
Etileno (C_2H_4)	% vol.	1,49
Etano (C_2H_6)	% vol.	0,99

Recursos y residuos

- El consumo de materiales se reduce al evitar que se construya una nueva central para el aprovechamiento de los gases siderúrgicos en las instalaciones de Arcelor-Mittal y, como alternativa, que se reacondicionen las instalaciones del grupo 1 de Aboño para que puedan

[20] El coque es un combustible obtenido de la destilación de la hulla que sólo contiene una pequeña fracción de las materias volátiles que forman parte de la misma. Se obtiene calentándola a temperaturas muy altas en hornos cerrados y aislados. En este proceso de calentamiento de la hulla, se desprenden los Gases de Batería de Coque.

funcionar con dicho combustible. Con ello, se extiende la vida útil de la central y se dejan de consumir, al año, grandes cantidades de recursos no renovables como es el carbón.

- Se reduce la generación de residuos, al desaparecer las cenizas y escorias, residuos de la combustión del carbón.
- Se reducen los vertidos, puesto que se elimina el efluente líquido que procede del sistema actual de extracción de las escorias que, al llevar sólidos en suspensión, debe ser tratado de forma previa a su vertido a la ría de Aboño.
- Se reduce el agua captada para refrigeración por el cambio del modo de funcionamiento. Además, se reduce su vertido posterior a temperaturas superiores en la ría de Aboño, lo que supone un menor impacto en la misma.

7.4.2.Contribución a los Objetivos de Desarrollo de Sostenible

El contexto social actual a nivel internacional está marcado por la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un llamamiento universal de Naciones Unidas para acabar con la pobreza, proteger el planeta y mejorar la calidad de vida de todas las personas. Como parte de esa Agenda, están los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un plan compuesto por 17 objetivos, cada uno con sus metas e interrelacionados entre sí. Las organizaciones públicas y privadas se han comprometido a colaborar en su consecución, haciendo hincapié en aquellos que les son más relevantes.

El proyecto de conversión del grupo de la CT Aboño, se encuentra en el centro del ODS 12 (producción y consumo responsables), al utilizar como combustible una materia prima secundaria como son los gases residuales siderúrgicos. Además, actúa como palanca del ODS 13 (acción por el clima), al conseguir una reducción global de las emisiones de CO_2 con el correspondiente aprovechamiento energético de esos gases residuales que de otro modo se quemarían en antorcha. Por otro lado, al resultar un proyecto fruto del acuerdo entre una empresa del sector siderúrgico y una empresa eléctrica para reutilizar el residuo de la primera como materia prima secundaria en la segunda, se contribuye al ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos).

8. METODOLOGÍAS, INDICADORES DE MEDICIÓN Y HERRAMIENTAS DE APOYO

Una vez establecida la importancia de la transición hacia un modelo circular y del compromiso de los organismos públicos y las empresas con la misma, cabe señalar la relevancia de disponer de herramientas e indicadores de medida. Éstas permiten valorar el grado en el que las diferentes iniciativas contribuyen a avanzar hacia la implantación de la economía circular, sea cual sea el nivel al que se haga (Estado, Comunidad Autónoma, empresa o proyecto).

Por esta razón, se explican a continuación las herramientas utilizadas en este trabajo para la evaluación cualitativa y/o cuantitativa de la contribución a la EC de del proyecto de conversión de la central térmica de Aboño 1.

Se exponen las herramientas disponibles en dos campos complementarios, la Economía Circular y el Análisis de Ciclo de Vida.

8.1. Herramientas disponibles para la medición de la circularidad

8.1.1. Indicadores de Transición Circular

Con el fin de evaluar el rendimiento circular de las iniciativas, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (por sus siglas en inglés, WBCSD) ha desarrollado un marco universal y transparente cuyo objetivo consiste en proveer a las empresas y organismos públicos, independientemente de sus características, con una serie de indicadores que les permitan tomar decisiones claras y comunicarlas a sus stakeholders.

Dichos Indicadores de Transición Circular (CTI, por sus siglas en inglés), actualmente en su segunda edición, se clasifican en los siguientes tres módulos (WBCSD 2020)

1. Cerrar el ciclo: Con estos indicadores se evalúa el rendimiento de circularidad de la empresa en base a los flujos de materiales, de agua y de energía renovable que utiliza en su ciclo productivo. En otras palabras, miden la eficacia de la compañía conectando los extremos de los flujos (entradas y salidas).
   Es el único módulo esencial para evaluar la circularidad según esta metodología; el resto son opcionales.

2. Optimizar el ciclo: En este segundo módulo se incluyen los indicadores que proporcionan información sobre la eficiencia en el uso de recursos. Se incide de forma especial en el uso de materias críticas.

3. Valorar el ciclo: Por último, este módulo cuenta con un solo indicador que mide la productividad de material circular. Para ello, calcula los ingresos que se generan por unidad

de masa de entrada lineal. Por tanto, cuanto mayor sea su valor, más desacoplado estará el rendimiento financiero de una empresa del modelo lineal de consumo de recursos.

8.1.2. Material Circular Indicators (MCI)

La Fundación Ellen MacArthur ha desarrollado una metodología propia para la medición de la economía circular que se centra en evaluar cómo de circulares son los flujos de materiales tanto a nivel producto como a nivel empresa. Además, esta metodología provee a sus usuarios de indicadores complementarios que les permiten evaluar los impactos y riesgos ambientales, regulatorios y relativos a la cadena de valor de cara a la toma de decisiones empresariales (Fundación Ellen MacArthur s.f.).

Los indicadores o MCI a nivel producto buscan medir cómo se minimiza el flujo de materiales lineal[21], cómo se maximiza el circular[22] y cómo se trabaja para alargar la vida útil de dicho producto. Estos indicadores se calculan a partir de la masa de materia virgen empleada, la masa de residuos irrecuperables generada por el producto y el factor de utilización del producto.

Por otro lado, los MCI a nivel de empresa se basa en la hipótesis de que la circularidad de la empresa es igual a la "suma" de lo circulares que son los productos que produce.

8.1.3. Buenas Prácticas de Economía Circular (BPEC)

Otra metodología para evaluar la circularidad de las iniciativas es el ya mencionado Catálogo de Buenas Prácticas de Economía Circular (BPEC) desarrollado por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. En él se definen unos **criterios mínimos de circularidad que permiten identificar aquellas actuaciones que se consideran BPEC**. Estos criterios surgen de la adaptación de los siguientes principios (MITERD 2021) al diseño y producción; consumo, uso y negocio; gestión de residuos y políticas educativas, sociales e I+D+i.

"…

1. *Pensamiento sistémico y holístico: percepción y análisis de la realidad de un modo global, "pensar globalmente para actuar localmente".*
2. *Responsabilidad: asumir la responsabilidad (social, económica y ambiental) de los impactos resultantes de decisiones y actividades de cada actuación. Educar, concienciar y sensibilizar en materia de EC como parte de esta responsabilidad.*
3. *Repensar/Regenerar: renovar los modelos actuales en todos los ámbitos de acción (diseño, producción, consumo, uso, negocio, gestión de residuos, etc.) para su contribución, de manera directa o indirecta, al tránsito a la EC. Restablecer y recuperar la calidad de los ecosistemas degradados y dar valor al capital natural.*

[21] Aquellos que entran, se utilizan y salen del ciclo productivo.
[22] Aquellos que entran, se utilizan y retornan al ciclo productivo.

4. *Innovar y virtualizar: fomento de I+D+i en materia de EC, trabajar en la sustitución de materiales, productos y recursos unidireccionales, de un solo uso o no renovables, por otros más circulares y sostenibles. Desmaterialización directa o indirecta.*
5. *Optimizar: reducción y uso más eficiente de los recursos (materiales, agua y energía). Incrementar la vida útil y rendimiento de los productos.*
6. *"Cerrar el círculo" o "cerrar el ciclo de vida" de los recursos, productos y residuos: reutilizar, reparar/remodelar, remanufacturar (uso de materias primas secundarias), recuperar (obtención de materias primas secundarias y materias críticas), reciclar y revalorizar.*
7. *Compartir y colaborar: nuevos modelos de consumo, uso y negocio colaborativo. Sinergia entre todos los agentes intervinientes.*
8. *Comunicación y transparencia: transmitir la información de manera clara, precisa, oportuna, honesta y completa. Si es posible, en base a estándares de certificación y etiquetas ecológicas.*

…"

8.2. Herramientas disponibles para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El enfoque de la Economía Circular, como se ha descrito en apartados anteriores, tiene ventajas adicionales desde el punto de vista ambiental y social. En concreto, y para este trabajo, se han analizado las mejoras ambientales que implica la conversión de una central térmica convencional de carbón en una central que sólo utiliza gases[23] para la generación de energía.

En este apartado se describirá la herramienta que se ha utilizado para medir cuantitativamente la reducción de los impactos ambientales que suponen dichas mejoras: Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Esta es una técnica que permite evaluar los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto (desde la extracción de las materias primas necesarias para su fabricación, hasta la generación de residuos tras su uso).

Los principios, marco de referencia, requisitos y directrices del ACV se especifican en las normas UNE-EN ISO 14044:2006 y UNE-EN ISO 14040:2006. (EOI 2016)

Se dispone de varias herramientas que permiten llevar a cabo un análisis de ciclo de vida, entre ellas:

8.2.1. Huella Ambiental Corporativa (HAC)

La Huella Ambiental Corporativa (HAC), o Análisis de Ciclo de Vida de la Organización (ACVO), se sustenta sobre la bases del ACV. Se trata de una "medida multicriterio del comportamiento ambiental de una empresa que proporciona bienes y/o servicios, con la perspectiva de todo el ciclo de vida, es decir, considerando todas las etapas desde la extracción de las materias primas hasta la gestión de los productos al final de su vida útil, pasando por las etapas de producción y uso" (GRUNVER 2020).

[23] Gases siderúrgicos y gas natural

Para realizar esta medida, se tienen en cuenta las entradas y salidas que se producen al llevar a cabo cada una de las actividades de la organización:

Entradas: Los flujos de entrada incluyen el uso de recursos y materias primarias, los productos, el transporte, la electricidad, la energía, etc., que se requieren en cada proceso o fase del sistema.

Salidas: Los flujos de salida están constituido por las emisiones, los residuos y subproductos que se generan en cada proceso o fase del sistema.

Estas entradas y salidas es lo que llamamos aspectos ambientales de la organización, puesto que son los elementos ligados a su actividad capaces de generar impactos ambientales.

El proceso de medición de la HAC consta de una serie de pasos. El primero de ellos consiste en definir los objetivos y el alcance de la misma. Después, se debe desarrollar un Inventario de Ciclo de Vida (ICV), que recogerá, precisamente, los datos de flujos de entrada y salida de la actividad de la empresa desde un enfoque operacional. El último paso es la evaluación de los impactos, para la que se empleará una determinada metodología, un software que facilite la realización de los cálculos y una base de datos que relacione cada entrada o salida con su impacto ambiental.

En la Ilustración 8 se muestra una posible combinación de metodología, software y base de datos para el análisis de la HAC.

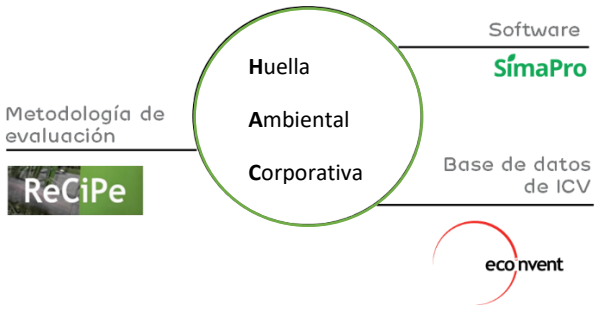

Ilustración 8 Combinación de las herramientas disponibles para el análisis de la HAC

A continuación, se explicará más detalladamente cómo funciona esta herramienta de análisis de ciclo de vida.

8.2.1.1. Metodología ReCiPe

La metodología ReCiPe[24] es la metodología de evaluación de impacto ambiental utilizada en esta herramienta para el cálculo de la huella ambiental.

ReCiPe, basada en las normas UNE-EN ISO 14040:2006 y UNE-EN ISO 14044:2006, es una metodología que permite analizar cuantitativamente el impacto ambiental con una perspectiva de ciclo de vida ("de la cuna a la tumba"[25]) de productos y/o servicios de una compañía.

Esta metodología tiene por objetivo ofrecer un número limitado de indicadores con el fin de facilitar la evaluación. En concreto, dispone de dos formatos de indicadores:

Por un lado, los indicadores **Midpoint** ofrecen una forma objetiva de medir la afección ambiental con perspectiva de ciclo de vida. Los 18 indicadores definen las categorías de impacto diferentes a las que, en mayor o menor medida, contribuyen los aspectos ambientales de la actividad de una empresa. Estas categorías son: Cambio Climático, Formación de ozono troposférico, Acidificación terrestre, Eutrofización del agua subterránea, Eutrofización marina, Toxicidad humana, Formación de oxidantes fotoquímicos, Formación de partículas, Ecotoxicidad de la tierra, Ecotoxicidad del agua marina, Radiación ionizante, Ocupación agrícola, Ocupación de tierra urbana, Transformación de terrenos naturales, Agotamiento del agua, Agotamiento de los metales y Agotamiento de los recursos fósiles.

Por otro lado, están los indicadores **Endpoint** que resultan de la agrupación en tres grandes bloques de los 18 indicadores Midpoint en base a las consecuencias que cada impacto ambiental puede generar en el medio: Daño a la salud, Daño a los ecosistemas o Daño a la disponibilidad de recursos. Se trata de indicadores menos objetivos que los anteriores puesto que se basan en estimaciones que no tienen una base científica comprobada (por ejemplo, no se puede cuantificar exactamente en cuanto se acorta la vida de una persona por estar expuesta a episodios de contaminación de una forma sistemática). Sin embargo, tienen la ventaja de que, mediante factores de normalización y ponderación propios de esta metodología, pueden convertirse en unidades adimensionales (puntos) que sí pueden sumarse y dar lugar a una valoración global del impacto ambiental .

[24] Elaborada por la consultora holandesa PRé Consultants, el Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente de los Países Bajos (RIVM), la Facultad de Ciencias de la Universidad de Leiden (CML) y la Facultad de Ciencias de la universidad de Radboud. (Iberdrola s.f.)
[25] En inglés, "from cradle to grave".

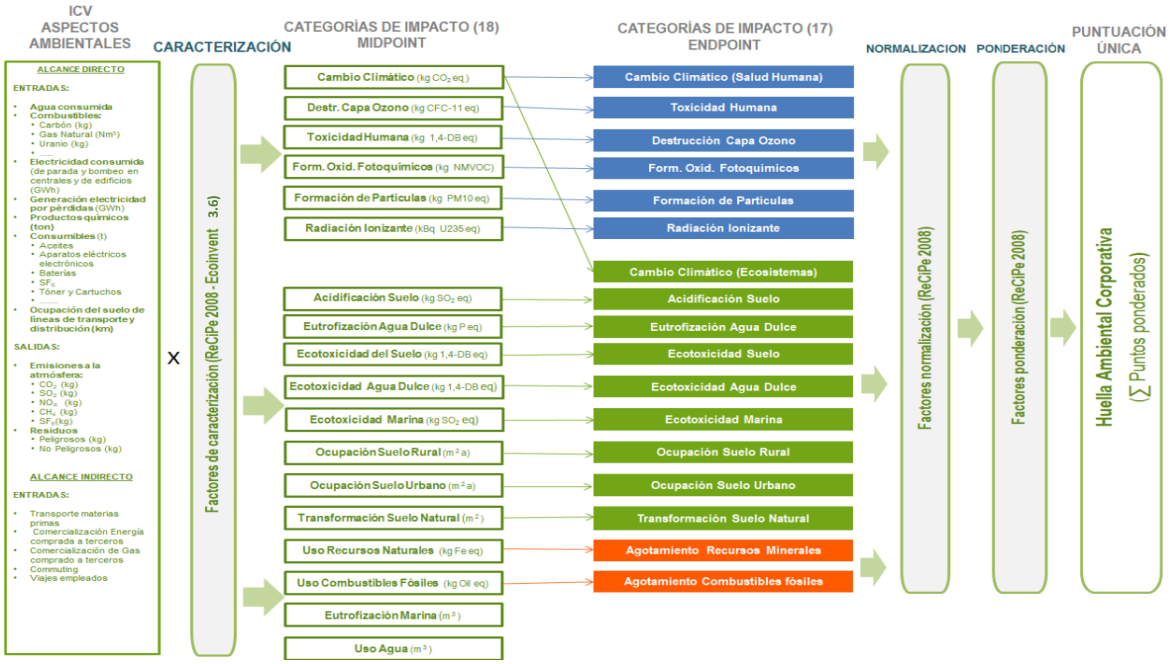

Ilustración 9 Categorías de impacto ambiental Midpoint y Endpoint según la metodología ReCiPe (Pré Consultant 2017)

8.2.1.2. Ecoinvent

La base de datos Ecoinvent cuenta con datos numéricos documentados del impacto ambiental de miles de productos (Ecoinvent s.f.) con perspectiva de ciclo de vida, es decir, teniendo en cuenta desde los aspectos ambientales relativos a la obtención de las materias primas que se emplean para su fabricación, hasta los residuos que se generan cuando el producto alcanza el final de su vida útil.

Estos datos están normalizados según la unidad más significativa del producto en cuestión; para la mayor parte de productos químicos y materias primas esta unidad sería una unidad de peso; en el caso de un transporte, el impacto ambiental está normalizado en función de los kilómetros recorridos.

8.2.1.3. SimaPro

SimaPro es una herramienta de software que permite calcular el impacto de cada uno de los aspectos de entrada y salida según la metodología ReCiPe (Iberdrola s.f.) empleando una base de datos, que en nuestro caso es Ecoinvent.

La siguiente fórmula representa cómo se calculan los impactos ambientales empleando este software:

$$Aspectos\ ambientales\ \times Factores\ de\ caracterización = Impactos\ ambientales$$

8.3. Desarrollo y metodología de la herramienta utilizada en este proyecto

Con el fin de poder evaluar la contribución de este proyecto a la economía circular y, adicionalmente, sus impactos positivos a nivel ambiental, EDP y Grunver SL han desarrollado una herramienta a medida que combina tanto el análisis de circularidad basado en la metodología del WBCSD como la evaluación del impacto ambiental con perspectiva de ciclo de vida basada en la metodología de Huella Ambiental Corporativa.

Esta herramienta se empleará para analizar el proyecto de conversión de la central térmica de Aboño 1. Para ello se plantearán dos escenarios de generación antes y después de llevar a cabo las modificaciones necesarias en la central. Se pretende evaluar la circularidad y los impactos ambientales de cada uno de ellos y comparar los resultados obtenidos entre sí, teniendo en cuenta que en ambos casos la producción total es de 1425 GWh.

A continuación se explicará cómo funciona cada una de las partes de la herramienta y en qué metodología se basan.

8.3.1. Medición de la circularidad

Evaluar el potencial circular de un producto, componente o material a lo largo de todo su ciclo de vida y de la cadena de valor supone un reto porque engloba niveles distintos y complementarios entre sí:

- Macro, propios de una organización,
- Meso, enfocados al análisis de proyectos concretos, y
- Micro, destinados a la valoración de productos o partes de los mismos.

El presente proyecto se categoriza en la escala meso, ya que engloba actividades que comprenden toda la cadena de valor de la energía que se genera en la Central Térmica de Aboño 1.

La herramienta de medición elaborada se basa en los Circular Transition Indicators (CTI), desarrollados por el WBCSD, para establecer la línea base y realizar el seguimiento de las acciones concretas ejecutadas en la reconversión de la central. Este conjunto de indicadores se calcula a partir de datos de flujos de entrada y de salida obtenidos en un periodo de tiempo establecido a nivel de instalación.

8.3.1.1. Indicadores

Para este proyecto se proponen una serie de indicadores basados en los CTI del WBCSD correspondientes al primer bloque, “Cerrar el ciclo" (vid. página 33), dentro del cual se analiza la circularidad de los flujos de materia, agua y energía.

El **flujo de materiales** considera los porcentajes de entrada y salida circular de materiales y residuos. Se incluyen dentro de las entradas circulares aquellas que son recursos renovables o no vírgenes, es decir, que están siendo reutilizadas. Dentro de las salidas circulares se engloban aquellos flujos de materiales que se destinan a la reutilización.

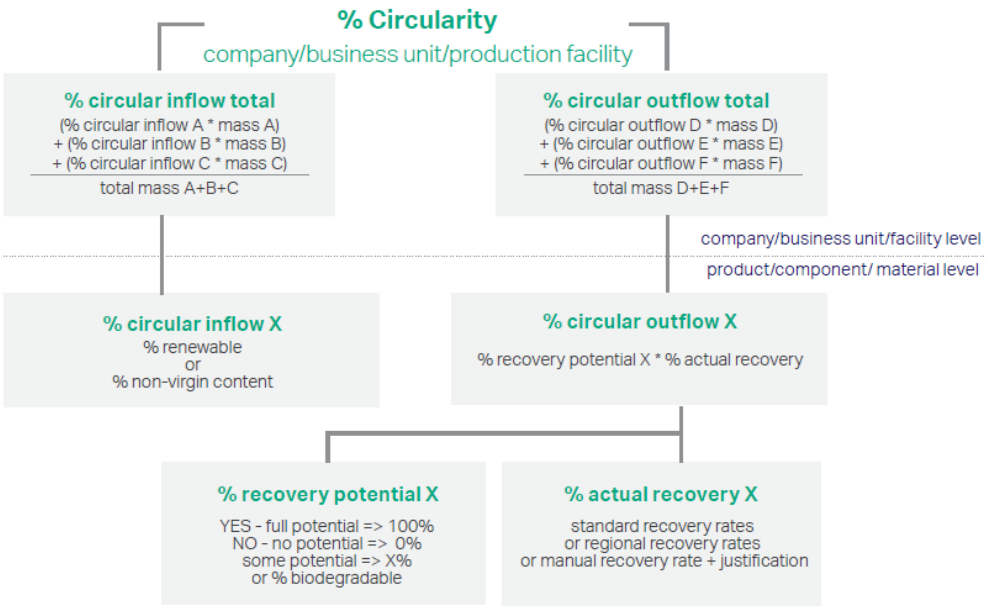

Ilustración 10 Indicadores CTI de circularidad de los flujos materiales

El **flujo de agua**, a pesar de ser un material de entrada, se distingue del anterior porque su efecto en el entorno es más local. En otras palabras, el análisis de los flujos de agua depende de las características de la cuenca hidrográfica de la que se obtiene el recurso y, por ello, depende del contexto en el que se estudie la circularidad. Un ejemplo de ello es el efecto que puede tener la utilización del agua como recurso en las zonas con estrés hídrico.

El indicador de circularidad del agua se calcula como la media de las entradas circulares, entradas de agua recirculada de otros procesos, y salidas circulares de agua, salidas de agua destinadas a ser reutilizadas.

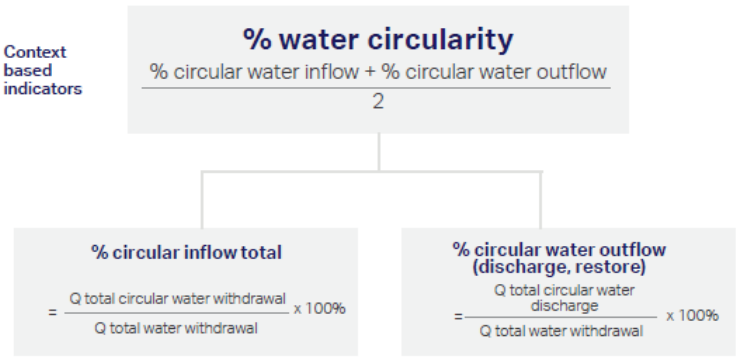

Ilustración 11 Indicadores CTI de circularidad de los flujos de agua

El **flujo de energía** se analiza para medir qué porcentaje de la energía entrante es circular, o lo que es lo mismo, que porcentaje de ésta es energía renovable.

Este indicador no será relevante en la aplicación a este proyecto puesto que, en ambas hipótesis, la energía que se consume en la central será renovable en el porcentaje correspondiente al mix eléctrico nacional del que se alimenta, variable cada año y fuera del alcance de gestión de la instalación mientras ésta siga conectada a la red eléctrica nacional.

Ilustración 12 Indicadores CTI de circularidad de los flujos de energía

La herramienta de circularidad empleada en el proyecto utiliza los siguientes indicadores derivados de los CTI, previamente explicados.

- Materia circular (P), que se corresponde con *% of circular inflow.*
- Residuos reciclados (S), equivalente a *% of circular outflow*.
- Energía renovable (U), correspondiendo con *% of renewable energy*.

Adicionalmente se emplearán otros dos indicadores que permitirán evaluar tanto las entradas totales al proceso analizado, como las salidas del mismo. El objetivo último consiste en lograr una reducción total de entradas y una minimización de los residuos generados respecto a los recursos consumidos.

La selección final de los indicadores empleados en la herramienta se muestra en la Tabla 4. Éstos se calculan en base a los flujos de entrada y salida que se describirán en el siguiente apartado.

Tabla 4 Indicadores empleados para la evaluación de la circularidad

Indicador	Descripción			Fórmula
Input material total a EDP	Es la suma de las entradas a EDP: materia primaria, materia reciclada (interna y externamente) y material renovable.	t	**N**	A + B + R + C
Output material residual total a gestión finalista	Es la suma de todos los residuos que van a eliminación o a valorización energética.	t	**Ñ**	E + F
Material reciclado total	Es el total de residuos reciclados tanto interna como externamente.	t	**O**	C + D
Indicador porcentual de materia circular que	Es el % de material reciclado y renovable respecto al total de material de entrada a EDP.	%	**P**	$\frac{B + R + C}{N}$

entra a EDP respecto al input total				
Indicador porcentual de la generación de residuos respecto al input total	Este indicador calcula el % de residuos generados respecto al total de material de entrada a EDP.	%	**Q**	$\frac{C + D + E + F}{N}$
Indicador porcentual de los residuos reciclados respecto al total generado	Es el % de materia que se recicla respecto a la generación total de residuos de EDP.	%	**S**	$\frac{C + D}{C + D + E + F}$
Indicador porcentual de materias secundarias respecto al input total	Este indicador representa la cantidad de materia prima secundaria respecto al input material total.	%	**T**	$\frac{B + C}{N}$
Indicador porcentual de entrada de energía renovable	Es el % de energía renovable consumida respecto al total del consumo energético.	%	**U**	$\frac{E_R}{E_{tot}}$

8.3.1.2. Análisis de los flujos de entrada y de salida

Por tratarse del análisis de circularidad en una central térmica para la generación de electricidad, se espera que los flujos de entrada necesarios sean, principalmente:

- El agua, utilizada para el proceso, durante el cual se convierte en vapor y mueve la turbina generando energía, y para la refrigeración.
- Los combustibles de entrada a la caldera
- Los consumibles, dentro de los que se incluyen elementos como los productos químicos, los aceites y las grasas.

Por otro lado, los principales flujos de salida esperados serían, respectivamente:

- Para la entrada “agua”, los flujos de salida son agua evaporada y vertida
- Para la entrada de combustibles, se generan emisiones a la atmósfera, cenizas y escorias.
- Por último, para la entrada de consumibles, se genera un flujo de salida de residuos materiales.

Con el fin de simplificar el proceso de análisis de los datos, se ha decidido:

Excluir el análisis de los flujos de agua ya que, a pesar de ser un recurso muy importante para la compañía, se trata de un volumen tan elevado de agua entrante que desvirtúa el análisis del resto de flujos materiales.

De todas formas, se evaluará el impacto ambiental del consumo de agua en la parte de la herramienta basada en el ACV.

No incluir en el análisis las emisiones producidas por el uso de combustibles fósiles. La razón principal es que para ello se deberían tener en cuenta también otros compuestos, como por ejemplo las entradas de aire necesarias para la combustión, de las cuales no se dispone de información. Es por eso por lo que, este flujo se ha utilizado únicamente para cuadrar el balance, pero no como un indicador de flujo material.

Sin embargo, de cara al futuro, se pretende desarrollar en la herramienta un indicador que tenga en cuenta las emisiones con el objetivo de estudiar la implementación de mejoras en la reducción de contaminantes, siempre y cuando se demuestre su viabilidad y fiabilidad.

Así todo, y como en el caso del agua, el impacto ambiental de la variación de estos flujos derivada del proyecto de conversión de Aboño 1 se analizará en la parte de la herramienta basada en el ACV.

Con todo ello, se pueden representar, empleando un diagrama de Sankey los flujos de entrada y salida que serán la base del presente análisis con su consiguiente descripción.

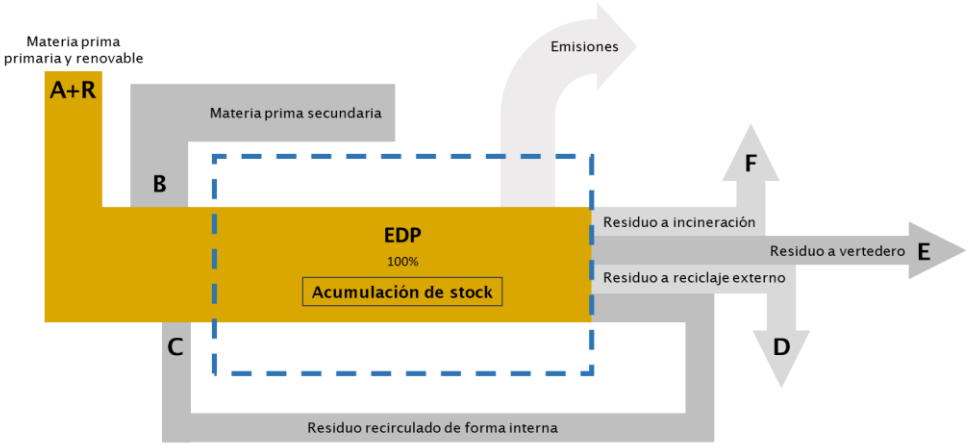

Ilustración 13 Flujos materiales de entrada y de salida

Tabla 5 Descripción de cada uno de los flujos materiales de entrada y salida

Indicador	Descripción	Unidades	Identificación
Entrada de materia prima primaria a EDP	Es el sumatorio de toda la materia primaria que entra en EDP. Incluye: consumibles, hidrocarburos, etc.	t	**A**
Entrada de materia prima secundaria a EDP	Es el sumatorio de todos los materiales secundarios que entran en EDP: materiales reciclados, etc.	t	**B**
Entrada de materia prima renovable a EDP	Es el sumatorio de todos los materiales renovables que entran en EDP.	t	**R**
Material recirculado internamente en EDP	Es la cantidad de material reutilizado / reciclado en la propia empresa (EDP).	t	**C**

Salida de residuos de EDP que van a valorización de material externo	Es la cantidad de residuos generados en EDP (peligrosos, no peligrosos, inertes, etc.) que es reciclada por agentes externos a EDP.	t	**D**
Salida de residuos de EDP que van a gestión final eliminación	Es la cantidad total de residuos (peligrosos, no peligrosos, inerte, etc.) producidos por EDP y gestionados en vertederos.	t	**E**
Salida de residuos de EDP que van a gestión final valorización energética	Es la cantidad total de residuos (peligrosos, no peligrosos, inerte, etc.) producidos por EDP y gestionados en incineradoras.	t	**F**

8.3.1.3. Proceso de cálculo de los indicadores seleccionados

El proceso para el cálculo de estos indicadores comprende una serie de pasos que son:

1. Identificación de los datos para cada uno de los flujos de entrada y salida de la central térmica. Dichos datos se categorizan en 13 grupos: consumo eléctrico, materias primas, productos químicos, aceite, consumibles, combustibles edificios, agua, transporte, emisiones al aire, emisiones al agua, gestión de residuos no peligrosos y de residuos peligrosos, transporte de personas y ocupación del suelo.
2. Normalización de los datos para poder trabajar con ellos. Las unidades de los diferentes datos de entrada descritos en el apartado anterior han de convertirse a unidades de masa, con el fin de poder realizar operaciones con ellos.
3. En algunos datos de entrada, no toda la cantidad asignada se puede identificar con un recurso de un tipo u otro (es decir, no siempre es 100% renovable, o 100% recirculado); por ello, se analizan cada uno de los aspectos registrados y se define el porcentaje del mismo que, bien porque se dispone del dato real, bien porque se utilizan datos medios existentes, se puede considerar material virgen, material renovable o material recirculado.
4. El siguiente paso consiste en asignar cada uno de los datos de entrada a los flujos correspondientes que se utilizan para el cálculo de los indicadores (Vid. Tabla 5), multiplicándolos por factores de multiplicación.

$$Contribución\ a\ Indicadores\ EC = Dato\ de\ entrada\ o\ salida \times Factor\ de\ normalización \times \%\ entradas\ o\ salidas \times Factor\ de\ multiplicación$$

8.3.2. Medición de la Huella Ambiental Corporativa

La herramienta de medida empleada en este proyecto permite complementar la evaluación de la circularidad con una evaluación ambiental con perspectiva de ciclo de vida. Los objetivos que se persiguen con ello son: obtener una visión holística y evitar el traspaso de cargas a otras etapas fuera de los límites organizativos o a otros vectores ambientales.

Para ello, y teniendo en cuenta la experiencia de EDP en la integración y evaluación del ciclo de vida completo a nivel de producto y organización, se empleará la Huella Ambiental Corporativa.

Ésta se calculará utilizando las herramientas expuestas anteriormente (vid. página 35). En este sentido, la metodología ReCiPe será la base de la herramienta para la medición del impacto ambiental aunque solo se analizarán los resultados obtenidos para los 18 indicadores Midpoint por ser estos más objetivos.

Para obtener dichos resultados se emplearán la herramienta SimaPro y la base de datos Ecoinvent aplicadas a los flujos de entrada y salida analizados en el caso de la medición de la circularidad.

8.3.2.1. Proceso de cálculo de los indicadores seleccionados

El proceso de cálculo de la Huella Ambiental Corporativa se estructura en cuatro fases:

1. Definición de los objetivos y alcance del proyecto. En esta fase se establecen los límites organizativos, los operativos y la unidad funcional. Éstos son, respectivamente, la central térmica de Aboño 1, la cadena de valor completa de la actividad que en ella se desarrolla y la contabilización de todos los aspectos de entrada y salida que se producen en un año como consecuencia de dicha actividad. Se toma como referencia una generación eléctrica anual de 1425 GWh.
2. Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV). Consiste en contabilizar todas las entradas y salidas (aspectos ambientales) tomando como referencia la unidad funcional de análisis (actividad desarrollada en Aboño 1 para lograr una generación, establecida de 1425 GWh).
3. Evaluación del Inventario del Ciclo de Vida. Como ya se ha mencionado, la metodología empleada para el cálculo de los impactos ambientales en la HAC es la metodología ReCiPe. Para obtener los resultados de los indicadores, en este caso de los Midpoint, se emplean el ICV de todas las entradas y salidas y la base de datos Ecoinvent. Con todo ello, se obtiene el impacto ambiental unitario para cada entrada y salida, categorizado en los 18 tipos de impactos ya mencionados (llamados factores de caracterización). El producto de ambos datos permite obtener el impacto global ligado a la actividad anual de la central en cada una de las categorías. En la Ilustración 14 se representa la secuencia de este paso:

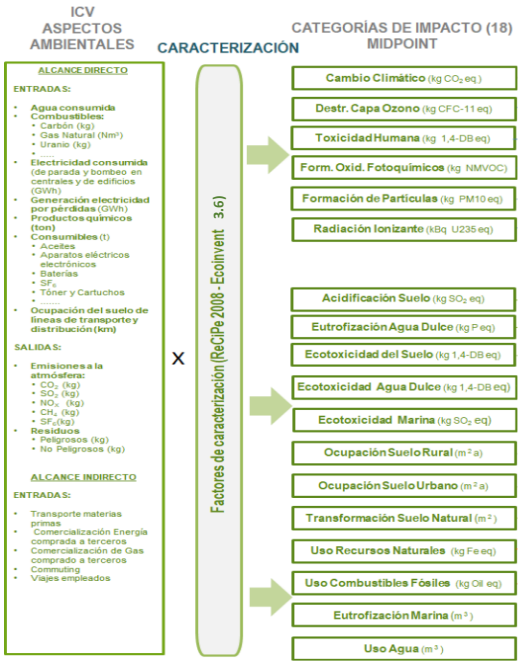

Ilustración 14 Proceso de cálculo de la HAC

8.4. Resultados

En este capítulo se presentarán las hipótesis planteadas y los resultados obtenidos al simular los datos del funcionamiento de la central, antes y después de la reforma prevista, en las herramientas de circularidad y de cálculo de la Huella Ambiental Corporativa. La comparación de los resultados de ambas hipótesis permitirá evaluar de forma cuantitativa si realmente el proyecto de reconversión de Aboño 1 contribuye a la circularidad y reduce el impacto ambiental de la generación eléctrica, teniendo en cuenta de que esta valoración ya se ha hecho de forma cualitativa (vid. página 27).

8.4.1. Hipótesis de cálculo planteadas

A fin de poder calcular la circularidad y la reducción de impactos ambientales del proyecto de reconversión de la central térmica de Aboño 1, se han planteado dos escenarios de funcionamiento de la misma, antes y después de las modificaciones previstas y, en ambos casos, para una producción eléctrica de 1425 GWh/año.

Dicha producción hipotética, con la que se trabajará, se ha calculado tomando como referencia la producción que sería esperable en la nueva central teniendo en cuenta los gases siderúrgicos que podría recibir de Arcelor Mittal. Más concretamente, multiplicando las horas de

funcionamiento previstas con este combustible por la potencia del grupo térmico reformado (237,6 MW brutos[26]).

Para determinar los aspectos ambientales asociados a esta generación eléctrica, se ha partido de los datos reales de entradas y de salidas de Aboño 1, en 2018, y se han normalizado dividiéndolos por la producción real de la instalación en ese ejercicio, 1815 GWh. De esta forma, se han obtenido flujos unitarios por GWh generado.

Conocidos los aspectos ambientales (flujos de entrada y salida) de la instalación actual, los correspondientes a la instalación futura se han estimado sobre esa base aplicando factores de corrección a partir de los datos de proyecto (tipos y cantidades de combustibles empleados, emisiones a la atmósfera y al agua previstas, generación de residuos…). Todos estos datos se pueden consultar en el ANEXO.

A continuación, se analizará cada uno de los escenarios planteados y cuáles son las diferencias más significativas entre ambos.

8.4.1.1. Generación convencional

Este primer escenario supone una generación convencional con los combustibles existentes antes de la rehabilitación de la central térmica de Aboño 1. En la Ilustración 15 se muestran los flujos de entradas y salidas que, básicamente hacen referencia al consumo de combustibles fósiles y la generación de residuos para poder obtener el producto “gigavatio-hora”.

Ilustración 15 Diagrama de Sankey del flujo de materia en la hipótesis de generación convencional

[26] La potencia instalada de la central se reduce un 65% tras las reformas.

8.4.1.2. Generación con gases siderúrgicos

En el segundo escenario, la reutilización de una materia prima secundaria externa, GHA y GBC, como combustible es la base de la producción eléctrica.

Ilustración 16 Diagrama de Sankey del flujo de materia en la hipótesis de generación con gases siderúrgicos

8.4.1.3. Comparación de ambos escenarios

La principal diferencia entre ambos escenarios y, a su vez, justificación última del proyecto de modificación de la central, es la eliminación de los combustibles fósiles carbón, fuel oil y gasoil y su sustitución por gases residuales siderúrgicos y gas natural (aunque es un combustible fósil, es mucho menos contaminante que el carbón, el fuel o el gasoil). Debido a que los gases siderúrgicos tienen un poder calorífico muy inferior al del carbón, se explica que el volumen de gases a utilizar en la nueva central sea muy superior a la del escenario antiguo, tal y como se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 6 Comparación del combustible empleado en ambos escenarios

MATERIAS PRIMAS	**Carbón importación**	**t**	437.241,24	-
	Gas natural	**m³**	-	32.522.552,31
	Gasoil	**t**	510,36	-
	Fuel oil	**t**	611,64	-
	GHA	**m³**	1.005.825.476,86	3.606.241.507,22
	GBC	**m³**	-	31.644.687,18

Además de las materias primas, se presenta una comparación entre los siguientes bloques de datos. Este análisis pretende poner de manifiesto cuáles son las características diferenciadoras entra ambas hipótesis para entender, a la luz de las mismas, los resultados obtenidos en los siguientes apartados.

Estos datos reflejan las ventajas ambientales y circulares mencionadas previamente en el texto:

- El **consumo eléctrico** de los equipos auxiliares se reduce en un 25% al hacer desaparecer los equipos relacionados con el consumo de combustibles fósiles, como los molinos de carbón , las calderas de precalentamiento del fuel oil, y los equipos que se utilizan para su movimiento, transporte y almacenamiento.
- Los **productos químicos,** el **aceite** empleado y los **consumibles** se suponen iguales en ambas hipótesis. Se trata de productos necesarios para la correcta operación y mantenimiento de la central, independientemente del combustible empleado. La cantidad requerida de los mismos se calcula en función de la producción.
- Tal y como se ha mencionado previamente, el **agua captada** para refrigeración se reduce al emplear gases siderúrgicos como combustible principal y, por tanto, no tener que utilizar una parte importante para el enfriamiento de las escorias (residuo generado en la combustión del carbón).
- En lo que respecta al **transporte**, como es de esperar, el transporte de materias primas al producir con gases siderúrgicos y gas natural se reduce a cero (estos combustibles llegan a la central a través de gasoductos) y el transporte de productos químicos se mantiene porque los productos químicos de entrada son los mismos para ambas hipótesis (entendiendo que se utilizan principalmente para el tratamiento de agua que se lleva a la caldera para su producción de vapor).
- La variación en las **emisiones al aire** se evaluará en función de cada gas o componente.
  Por un lado, las emisiones de CO_2 procedentes de la combustión aumentan considerablemente al quemar gases siderúrgicos como consecuencia de su menor poder calorífico que implica que, para producir los mismos GWh, se requiera un mayor volumen de combustible.
  Sin embargo, si se analiza de donde provienen estas emisiones, se puede comprobar que una parte de las mismas procede directamente del proceso siderúrgico y se expulsa por la chimenea de la central, sin aprovechamiento energético (es lo que se conoce como CO2 transferido[27]). Además, si se contabilizan las emisiones de CO_2 a nivel global cabe señalar que éstas no aumentan; en el caso de que no existiese un aprovechamiento energético del GHA y el GBC en la central, dichos gases (por su carácter tóxico) deberían quemarse en antorcha antes de emitirse a la atmósfera.
  En lo que a otras emisiones respecta, cuando se genera con gases siderúrgicos, el NO_x se reduce en un 76%, el SO_2 en un 97% (por el menor contenido en azufre de los gases siderúrgicos) y las partículas y el resto de emisiones desaparecen (ya que están ligadas a la composición mineral del carbón).
- En la categoría de **gestión de residuos**, los residuos peligrosos generados son iguales en ambas hipótesis (entendiendo que proceden principalmente del uso de aceites) y, en lo que respecta a residuos no peligrosos, se mantienen también iguales a excepción de las cenizas y escorias que desaparecen al no usar carbón; los lodos se reducen a la mitad teniendo en cuenta que proceden de la depuración de las aguas y que desaparece el flujo de aguas procedentes del sistema de extracción de escorias.

[27] Vid. Tabla 2 Composición volumétrica media de los GHA y Tabla 3 Composición volumétrica media de los GBC

- Por último, la **ocupación del suelo** es la misma en ambas hipótesis.

Una vez explicado el funcionamiento de ambas herramientas y los datos introducidos en las mismas, se puede pasar al análisis de los resultados obtenidos.

8.4.2. Resultados de circularidad

Del análisis de los datos de entradas y salidas de la actividad de Aboño 1 en la herramienta de circularidad, se han obtenido los resultados que aparecen reflejados en la Tabla 7. Estos resultados son los flujos (Tabla 5) necesarios para calcular los indicadores de circularidad (Tabla 4).

Tabla 7 Resultados de circularidad de ambas hipótesis

	Generación con gases siderúrgicos	**Generación convencional**
Entrada de materia prima primaria (A)	26.229,47	438.804,08
Entrada de materia prima secundaria (B)	4.946.629,15	1.375,97
Entrada de materia prima renovable (R)	-	-
Material recirculado internamente (C)	-	-
Salida de residuos que van a valorización de material externo (D)	139,04	68.005,55
Salida de residuos que van a gestión final eliminación (E)	179,39	4.131,04
Salida de residuos que van a gestión final valorización energética (F)	-	-
Energía total consumida (Etot)	17.651,60	23.535,46
Energía renovable consumida (E_R)	6.531,09	8.708,12
Input total	4.972.858,62	440.180,05
Materia circular que entra a EDP = B+R+C	4.946.629,15	1.375,97
Entrada de materias primas secundarias = B+C	4.946.629,15	1.375,97
Output total	318,44	72.136,59
Output total residual a gestión finalista	179,39	4.131,04
Material reciclado total	139,04	68.005,55

De los resultados obtenidos para los flujos de entrada y salida en la herramienta de circularidad, se deben realizar varias observaciones:

1. El flujo total de entrada en el caso de la generación con gases siderúrgicos es, aproximadamente, igual a 11 veces el flujo total para la generación convencional. La razón que subyace a esta diferencia es que los gases siderúrgicos tienen un poder calorífico menor que el carbón y, por tanto, para producir los mismos GWh exclusivamente con este combustible se necesita una cantidad mucho mayor.
2. Por el contrario, el flujo total de salidas de la generación con gases siderúrgicos tan solo supone un 0,44 % de las salidas que tienen lugar cuando se genera con carbón (como combustible principal). Esto es una consecuencia directa de la eliminación de los residuos

procedentes de la combustión del carbón (escorias y cenizas) y la reducción a la mitad de los lodos que se producen.

Al emplear estos flujos para el cálculo de los indicadores de economía circular de la Tabla 4, se obtienen los siguientes valores:

Tabla 8 Cálculo de los principales indicadores de Economía Circular

INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR	Generación con gases siderúrgicos	Generación convencional
Indicador porcentual de materia circular que entra a EDP respecto al input total	**99,47%**	**0,31%**
Indicador porcentual de materias secundarias respecto al input material total	99,47%	0,31%
Indicador porcentual de la generación de residuos respecto al input total	**0,01%**	**16,39%**
Indicador porcentual de los residuos reciclados respecto al total generado	**43,66%**	**94,27%**
Indicador porcentual de entrada de energía renovable	37,00%	37,00%

De los indicadores calculados, hay dos que se descartan por no ser relevantes para el análisis:

- El primero de ellos es el "indicador porcentual de materias secundarias respecto al input de materia total". Este indicador es exacto al "indicador porcentual de materia circular que entra a EDP respecto al input de materia total" puesto que el sumando diferenciador que se corresponde con la "entrada de materia prima renovable" es nulo en ambas hipótesis.
- El segundo es el "indicador porcentual de entrada de energía renovable". Este indicador no es relevante puesto que refleja el tipo de energía consumida de la red en servicios auxiliares y, en ambos casos, equivale a un 37% que es el porcentaje de penetración de las renovables que se ha supuesto como dato del mix eléctrico español.

El resto de indicadores son un reflejo de la circularidad del proyecto en cuestión. A través de ellos, se puede observar cómo:

↑ Aumenta notablemente el porcentaje de entrada materia circular desde un 0,31% hasta un 99,47%. Esto es consecuencia de la sustitución del carbón como combustible principal por gases siderúrgicos (materias primas secundarias).

↓ Disminuye el porcentaje de generación de residuos frente al total de entradas, de un 16,39% hasta un 0,01%. Cuando se genera con gases siderúrgicos se evitan todos los residuos procedentes de la combustión del carbón: escorias y cenizas, y se reducen a la mitad los lodos que se generan.

↓ Disminuye el porcentaje de residuos reciclados respecto al total de residuos. Los residuos que se generaban en la combustión del carbón se valorizaban o se reciclaban. Al desaparecer

esta fuente de generación de residuos, disminuye también la cantidad de los mismo que son reciclables.

En la Ilustración 17 se observan los indicadores calculados para cada hipótesis y su comparación:

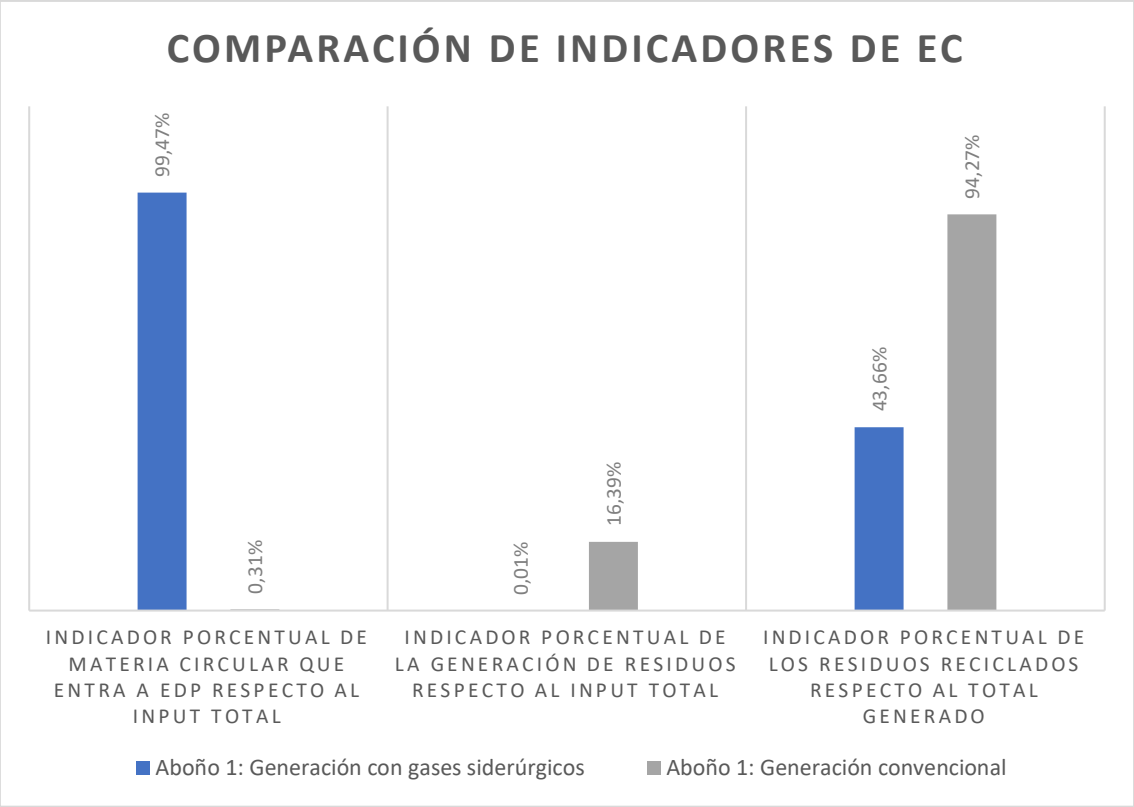

Ilustración 17 Comparación de los resultados de los indicadores para cada hipótesis

8.4.3. Resultados de Huella Ambiental Corporativa

Aprovechando los datos de los flujos de entrada y salida de la central térmica de Aboño 1, que constituyen los aspectos ambientales de la central, y la disponibilidad de una herramienta para evaluar sus impactos, se estudia cómo éstos aumentan o disminuyen al comenzar a producir con gases siderúrgicos. Para llevar a cabo este análisis se emplearán los indicadores Midpoint (vid. página 37) de la metodología ReCiPe por ser más objetivos que los Endpoint.

En la Tabla 9 se refleja el impacto total que supone cada uno de los escenarios planteados en cada categoría Midpoint. Además, se evalúa también cómo dicho impacto ambiental total crece o decrece al realizar el cambio de combustibles en la central térmica. Para ello se ha calculado la diferencia entre impactos de una misma categoría; si ésta es positiva, indica que el impacto decrece al realizar el cambio de combustibles; si, por el contrario, es negativa, el impacto aumenta.

En un primer análisis se puede observar cómo todos los impactos ambientales se reducen al realizar las modificaciones en la central, a excepción de la categoría de “Cambio Climático”, tal y como se ha expuesto cualitativamente (vid. página 29). A continuación, se analizará detalladamente cada uno de los impactos más relevantes, de dónde procede y por qué aumenta o se reduce como consecuencia del cambio de combustible.

Tabla 9 Resultados del impacto ambiental del proyecto en función de los indicadores Midpoint

	Climate change	Ozone depletion	Terrestrial acidification	Freshwater eutrophication	Marine eutrophication	Human toxicity	Photochemical oxidant formation	Particulate matter formation	Terrestrial ecotoxicity
Unidades	(kg CO2 eq)	(kg CFC-11 eq)	(kg SO2 eq)	(kg P eq)	(kg N eq)	(kg 1,4-DB eq)	(kg NMVOC)	(kg PM10 eq)	(kg 1,4-DB eq)
Generación con gases siderúrgicos	2,48E+09	1,35E+00	3,97E+05	1,27E+04	2,16E+04	1,18E+07	4,48E+05	1,29E+05	8,13E+03
Generación convencional	1,27E+09	4,02E+01	6,66E+06	4,64E+05	2,13E+05	3,12E+08	3,23E+06	1,85E+06	1,53E+04
Diferencia	-1,21E+09	3,89E+01	6,27E+06	4,51E+05	1,92E+05	3,00E+08	2,78E+06	1,72E+06	7,14E+03

	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Ionising radiation	Agricultural land occupation	Urban land occupation	Natural land transformation	Water depletion	Metal depletion	Fossil depletion
Unidades	(kg 1,4-DB eq)	(kg 1,4-DB eq)	(kBq U235 eq)	(m^2a)	(m^2a)	(m^2)	(m^3)	(kg Fe eq)	(kg oil eq)
Generación con gases siderúrgicos	1,02E+06	6,44E+05	8,53E+05	1,50E+05	1,13E+05	6,12E+03	2,95E+05	1,42E+06	2,93E+07
Generación convencional	2,10E+07	1,88E+07	1,07E+08	3,06E+07	9,67E+06	7,87E+04	1,54E+06	1,38E+07	3,14E+08
Diferencia	1,99E+07	1,82E+07	1,06E+08	3,05E+07	9,56E+06	7,26E+04	1,24E+06	1,24E+07	2,85E+08

Cambio climático

Los resultados obtenidos en la Tabla 9 reflejan que esta categoría Midpoint es la que tiene, para ambas hipótesis, un mayor impacto ambiental. Los impactos en esta categoría están estrechamente ligados a las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente, de CO_2, por ser éstas intrínsecas a la generación eléctrica analizada.

Este impacto es superior cuando se genera con gases siderúrgicos como consecuencia del CO_2 transferido (es aquel que procede del proceso siderúrgico que forma parte de la composición de los gases residuales) y de la necesidad de un mayor volumen de combustible para generar los mismos GWh (vid. explicación en la página 48: Emisiones al aire). Sin embargo, estas emisiones están justificadas puesto que permiten el aprovechamiento energético de los gases que, de otra forma, habrían sido quemados en antorcha generando las mismas emisiones a nivel global.

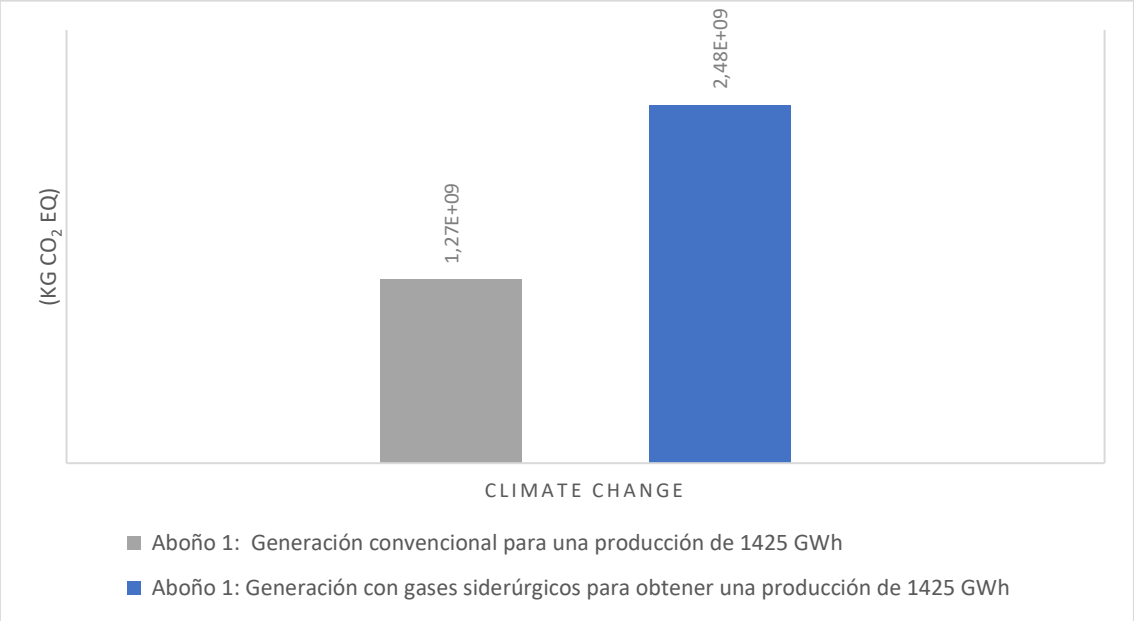

Ilustración 18 Comparación del impacto total en la categoría Midpoint de "Cambio Climático"

Por detrás de "Cambio Climático", las categorías Midpoint que registran mayores impactos ambientales se muestran en las siguientes ilustraciones:

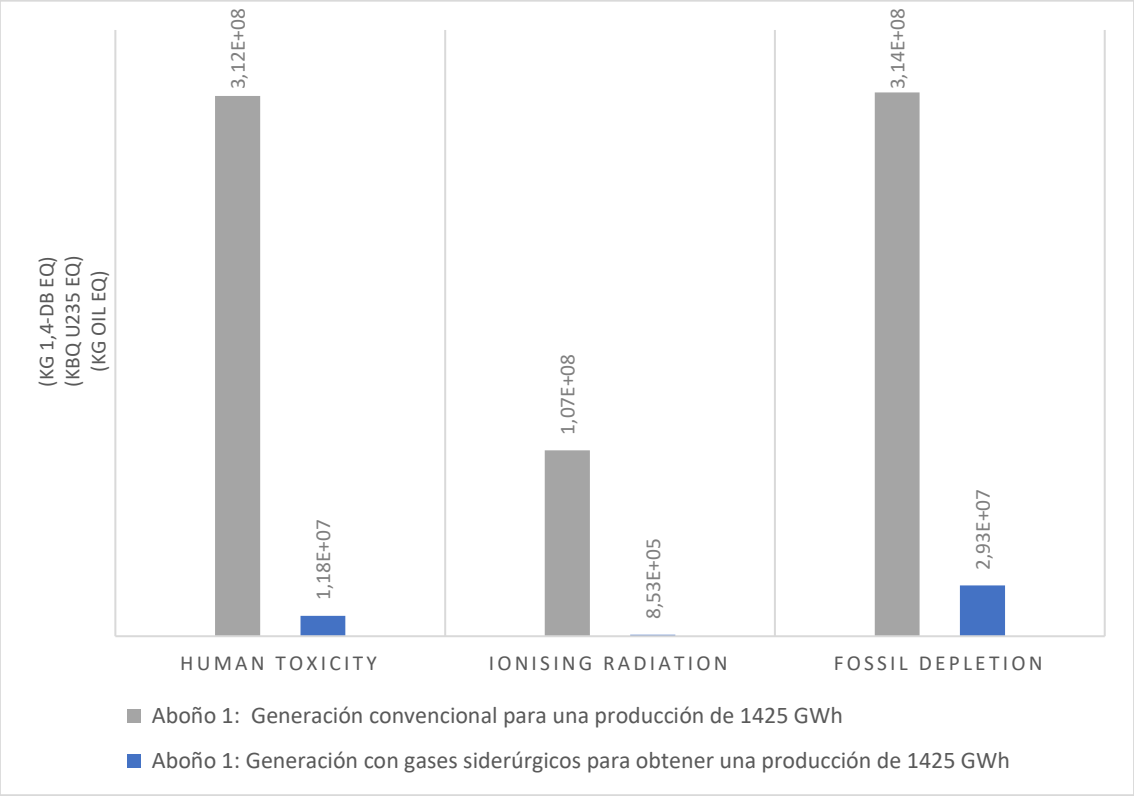

Ilustración 19 Comparación del impacto total en la categoría Midpoint de "Toxicidad humana", "Radiación Ionizante" y "Agotamiento de los recursos fósiles"

Toxicidad humana

Tal y como se puede observar en la Ilustración 19, la "Toxicidad humana" es la categoría Midpoint en la que más se reduce el impacto ambiental total al llevar a cabo el cambio de combustible en la central térmica.

Esto se debe a que la contribución mayoritaria a este impacto la tienen todos los aspectos derivados del consumo de carbón de importación. Entre ellos, los que tienen un mayor impacto son:

- El transporte por barco del carbón, desde el país en el que se extrae hasta la central térmica en la que se consume, tiene un impacto ambiental elevado como consecuencia del uso de gasóleo en el transporte marítimo de manera generalizada.
- Las emisiones de HF, Hg y As son propias de la combustión del carbón (por su composición mineral) y no se producen al generar con gases siderúrgicos.
- Las cenizas que se generan como residuo no peligroso al utilizar carbón como combustible en una central térmica, que suponen una emisión de partículas que afectan negativamente a la calidad del aire.

La reducción del impacto ambiental total se justifica porque, para la generación con gases siderúrgicos, todos los aspectos mencionados son nulos.

Agotamiento del combustible fósil

En lo que respecta a la categoría de "Agotamiento del combustible fósil" se experimenta una reducción muy significa de los impactos ambientales derivada de dejar de emplear carbón como combustible principal.

La circularidad implícita en el aprovechamiento de los gases siderúrgicos, materia prima secundaria, hacen que no sea necesario explotar la tierra en busca de más recursos fósiles para la producción de energía mediante su combustión. Por lo tanto, con este proyecto se contribuye a reducir el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles existentes en la Tierra.

El impacto que se refleja en el nuevo escenario deriva de la utilización de Gas Natural como soporte de los gases siderúrgicos.

Radiación ionizante

En el gráfico mostrado previamente, se puede observar cómo el impacto ambiental total correspondiente a la "Radiación ionizante" se reduce significativamente al evitar el consumo de carbón, sustituyendo dicho combustible por gases siderúrgicos. El motivo de ello es que los aspectos ambientales que más peso tienen en este indicador son:

- El uso de combustibles fósiles: Carbón, gasoil y fueloil. Éstos, al ser quemados, dan lugar a elementos que son radioactivos de forma natural y que se concentran en las cenizas suponiendo un riesgo para la salud humana.
- El transporte de materias primas por barco cuyo combustible principal es el gasóleo. Al quemarse genera residuos que pueden tener isótopos inestables
- El consumo eléctrico de alta tensión. Este impacto es una consecuencia directa del consumo eléctrico de la red para la alimentación de los equipos auxiliares y de la presencia de energía nuclear en el mix eléctrico español. Al generar energía con gases siderúrgicos, como el consumo de auxiliares se reduce en un 25 %, disminuye este impacto.

Al desaparecer o reducirse los aspectos mencionados, se reduce considerablemente el impacto en esta categoría.

Otras cuatro categorías muy significativas en el análisis de los impactos ambientales son las mostradas en la

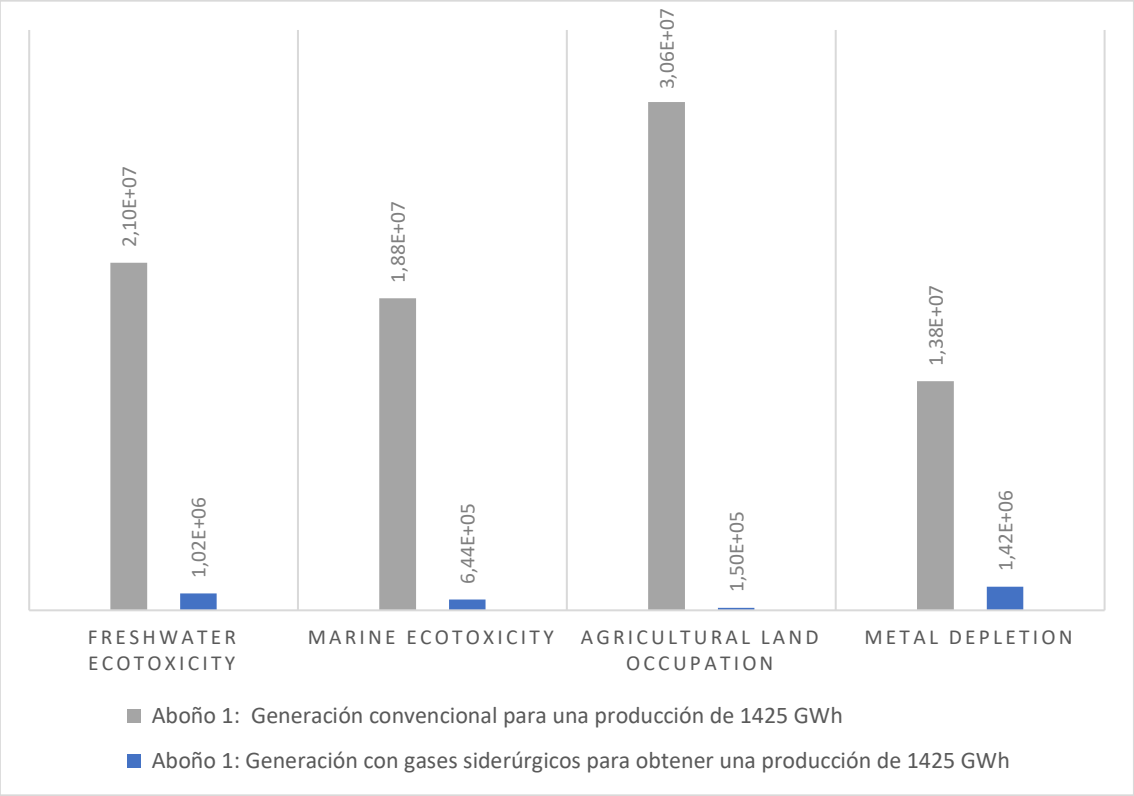

Ilustración 20 Comparación del impacto total en la categoría Midpoint de "Ocupación de tierras agrícolas", "Ecotoxicidad del agua dulce", "Ecotoxicidad del medio marino" y "Agotamiento de los recursos mineros"

Ocupación de tierras agrícolas

Este impacto está ligado esencialmente al consumo de carbón ya que para poder consumirlo se requiere la extracción del recurso de la tierra y dicha tierra queda inutilizada para el uso agrícola.

Al sustituir el carbón, como combustible principal, por una materia prima secundaria el impacto total de esta categoría se reduce notablemente (dos órdenes de magnitud).

Ecotoxicidad de agua dulce

Este impacto ambiental asociado a la categoría Midpoint “Ecotoxicidad del agua dulce”, es una consecuencia directa del uso de carbón y del transporte de materias primas por barco. Al consumir combustibles fósiles se generan emisiones de NO_X y SO_2 que pueden dar lugar a la lluvia ácida y a la consiguiente acidificación del agua dulce.

Al cambiar el tipo de combustible principal y evitar el transporte de materias primas por barco, y tal y como se puede observar en la Ilustración 20, este impacto se reduce significativamente.

Ecotoxicidad del medio marino

Este impacto, está ligado también a los aspectos ambientales mencionados en la categoría "Ecotoxicidad del agua dulce" y, además, incluye el impacto ocasionado por los equipos eléctricos y electrónicos.

En el nuevo escenario de generación, los impactos asociados a los aspectos mencionados desaparecen.

Agotamiento de los metales

Por último, aunque no menos importante, las diferencias en el impacto ambiental total de la categoría "Agotamiento de los recursos naturales" es significativa porque se eliminan los aspectos de extracción de carbón de importación y su transporte por barco, en los que están implícitos el consumo de recursos necesarios tanto para la construcción de los barcos como de maquinaria utilizada en las minas.

El resto de categorías no mencionadas se ven también reducidas como consecuencia, directa o indirecta, de que se deje de importar y consumir carbón como combustible principal.

9. CONCLUSIONES

Tras haber analizado el concepto de Economía Circular, el marco normativo que la regula, su normalización y su aplicación a un proyecto de una empresa del sector eléctrico, se presentan a continuación una serie de conclusiones:

1. En la actualidad, los problemas asociados a la escasez de recursos y su consiguiente encarecimiento son uno de los mayores riesgos a los que la industria está expuesta.
   La Economía Circular es el único modelo productivo que no expone a las empresas a los riesgos económicos derivados de esta situación de escasez de materias primas y logra, a su vez, beneficios a nivel ambiental y social.

2. El sector energético es uno de los sectores claves de cara a la implantación de este nuevo modelo económico. Esto se debe a que, como consecuencia de la legislación ambiental, se encuentra en un momento de transformación de las tecnologías de generación. El objetivo de la misma es maximizar el aprovechamiento de los recursos renovables, lo que implica la necesidad de desarrollar nuevas infraestructuras y, por tanto, un alto consumo de materias primas.
   Todo ello pone de manifiesto el potencial de este sector para adaptar su actividad al nuevo modelo económico expuesto, logrando así impulsar la Economía Circular al mismo tiempo que se aprovecha de los beneficios que ésta le brinda.
   El hecho de que las energéticas (en los negocios de generación, distribución y comercialización) funcionen según un modelo económico circular favorece su implantación en tanto en cuanto traccionan a su cadena de valor, consumen menos recursos, generan menos residuos y, adicionalmente, reducen sus impactos ambientales.
   Además, esto supondría una serie de beneficios para las empresas como pueden ser la reducción de costes asociados al transporte de materias primas, al tratamiento de residuos, o a la emisión de gases de efecto invernadero (derechos de emisión); la inclusión de la perspectiva de ciclo de vida en su actividad con el fin de reducir los impactos ambientales más allá de los vinculados a la propia generación; y por último, la contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

3. El proyecto que se analiza en este trabajo, la conversión del Grupo 1 de la Central Térmica de Aboño 1, supone un claro ejemplo de iniciativa de economía circular dentro del sector energético. Sus objetivos se alinean, entre otros, con las siguientes premisas de la economía circular: alargar la vida útil de una instalación existente, aprovechar como materia prima lo que para otra empresa es un residuo y desvincular el crecimiento económico de la extracción de recursos.

4. Cabe señalar que la existencia de herramientas de medición corrobora tanto el impulso a la circularidad como la reducción de impactos ambientales que puede suponer el proyecto analizado. Además, permite a EDP, en este caso, identificar qué aspectos contribuyen a cada uno de ellos para, así, poder minimizarlos.

En este sentido, tanto la metodología del WBCSD como la metodología ReCiPe se consideran herramientas clave ya que establecen criterios de evaluación claros. Éstos se han empleado en la herramienta utilizada y han permitido analizar comparativamente la situación, en términos de circularidad e impactos ambientales, en el caso de generar energía con gases siderúrgicos, respecto a la generación convencional con carbón.

5. Por último, el proyecto planteado es, tanto en el ámbito económico como en el ambiental, la mejor de las alternativas puesto que con ella se logra:
   - Alargar la vida útil de la central térmica otros 25 años. En el caso de que se decidiese no llevar a cabo el proyecto, ésta debería ser desmantelada como consecuencia de las imposiciones ambientales a las centrales térmicas convencionales, que impiden que sigan funcionando a partir de 2021 a no ser que realicen importantes inversiones para reducir las emisiones de contaminantes (NOx, SO2 y partículas principalmente).
   - Evitar la inversión económica asociada a la construcción de una central nueva de aprovechamiento de los gases siderúrgicos en las propias instalaciones de Arcelor-Mittal.
   - Aprovechar el rendimiento energético de los gases siderúrgicos. Tal y como se ha expresado en numerosas ocasiones, por su elevado contenido en CO deben ser quemados en antorcha antes de emitirse a la atmósfera, generando así las mismas emisiones de CO_2 que cuando se utilizan en la caldera de una central térmica.

BIBLIOGRAFÍA

Acebron Group. *Economía Circular.* s.f. https://www.acebrongroup.com/economia-circular/ (último acceso: Junio de 2021).

ACLIMA. *¿Cuáles son las materias primas críticas que contienen mis aparatos eléctricos y electrónicos?* Noviembre de 2020. https://aclima.eus/cuales-son-las-materias-primas-criticas-que-contienen-mis-aparatos-electricos-y-electronicos/ (último acceso: Junio de 2021).

AppandWeb. *Definición de "Internet of Things".* Octubre de 2017. https://www.appandweb.es/blog/internet-de-las-cosas-iot/#:~:text=El%20Internet%20de%20las%20Cosas%20o%20Internet%20of%20Things%20(IoT,a%20Internet%20en%20tiempo%20real. (último acceso: Junio de 2021).

Calidad y Gestión. *Definición de aspecto e impacto ambiental.* Julio de 2017. https://calidadgestion.wordpress.com/tag/aspectos-e-impactos-ambientales-significativos/ (último acceso: Junio de 2021).

CERTUS. *¿Qué es una cadena de valor y para qué sirve?* Abril de 2020. https://www.certus.edu.pe/blog/que-es-cadena-valor/ (último acceso: Junio de 2021).

Comisión Europea. *Alianza Mundial para la Economía Circular y la Eficiencia de los Recursos.* Febrero de 2021. https://ec.europa.eu/environment/international_issues/gacere.html (último acceso: Mayo de 2021).

—. «Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular.» 2 de Diciembre de 2015. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614 (último acceso: Abril de 2021).

—. «Nuevo Plan de Acción para la Economía Circular: por una Europa más limpia y competitiva.» Marzo de 2020. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF (último acceso: Mayo de 2021).

—. *Un Pacto Verde europeo.* 11 de Diciembre de 2019. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (último acceso: Mayo de 2021).

ECOACSA. *Definición de Capital natural.* 2019. https://ecoacsa.com/capital-natural/ (último acceso: Junio de 2021).

ECODES. «Definición de Ecodiseño.» 4 de Abril de 2020. https://ecodes.org/hacemos/produccion-y-consumo-responsable/economia-baja-en-carbono-y-circular/coeplan/ecodiseno-y-economia-circular (último acceso: Abril de 2021).

Ecoinvent. *The ecoinvent database.* s.f. https://www.ecoinvent.org/database/database.html (último acceso: Junio de 2021).

EDP. «Economía Circular.» s.f. https://www.edp.com/pt-pt/sustentabilidade/economia-circular-papel-da-edp (último acceso: Junio de 2021).

El País. «La industria española tiembla ante el acaparamiento de materias primas en China.» Junio de 2021.

EOI. «Análisis de Ciclo de Vida.» 2016. file:///C:/Users/e701403/Downloads/teoria_acv_migma1.pdf (último acceso: Junio de 2021).

Equipo de prensa de la Comisión Europea. «Closing the loop: Commission adopts ambitious new Circular Economy Package to boost competitiveness, create jobs and generate sustainable growth.» 2 de Diciembre de 2015. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_15_6203 (último acceso: Abril de 2021).

Equipo de prensa del Gobierno . «El Gobierno aprueba el I Plan de Acción de Economía Circular, con un presupuesto de 1.529 millones de euros.» 25 de Mayo de 2021. https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-el-i-plan-de-acci%C3%B3n-de-econom%C3%ADa-circular-con-un-presupuesto-de-1.529-millones-de-euros/tcm:30-526709 (último acceso: Junio de 2021).

European Environment Agency. *Paving the way for a circular economy: insights on status and potentials.* Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019.

European Parliament. *Legislative Train.* s.f. https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-noKey/package-circular-economy-package (último acceso: Mayo de 2021).

Forética. «El business case de la Economía Circular.» 2018. https://www.foretica.org/business_case_economia_circular_foretica.pdf (último acceso: Junio de 2021).

Fundación Ellen MacArthur. «Hacia una Economía Circular, motivos para una transición acelerada.» 2015.

—. *Material Circularity Indicator.* s.f. (último acceso: Junio de 2021).

Global Footprint Network. *Overshoot Day.* 2021. https://www.overshootday.org/ (último acceso: Marzo de 2021).

GRUNVER. Noviembre de 2020. http://www.grunver.com/2020/11/09/como-medir-el-comportamiento-ambiental-de-tu-empresa-huella-ambiental-y-analisis-de-circularidad/ (último acceso: Junio de 2021).

Grupo Iñesta. Junio de 2018. https://www.grupoinesta.com/que-es-el-estres-hidrico/ (último acceso: Junio de 2021).

Iberdrola. «Informe Huella Ambiental Corporativa 2019.» s.f. https://www.iberdrola.com/wcorp/gc/prod/es_ES/sostenibilidad/docs/IB_Informe_Huella_Ambiental.pdf (último acceso: Junio de 2021).

IONOS. *Definición de stakeholders.* Febrero de 2019. https://www.ionos.es/startupguide/creacion/stakeholders/ (último acceso: Junio de 2021).

McKinsey & Co, Sun, Fundación Ellen MacArthur. «Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe.» 2015. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf (último acceso: Marzo de 2021).

McKinsey Global Institute Analysis et al. «Resource revolution: Tracking global commodity markets.» s.f. https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Not%20Mapped/TEST%20Copy%20of%20Resource%20revolution%20Tracking%20global%20commodity%20markets/MGI_Resources_survey_Full_report_Sep2013.pdf (último acceso: Marzo de 2021).

MITECO. «Pacto por una Economía Circular: El compromiso de los agentes económicos y sociales.» Septiembre de 2017. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/210316pactoecdef_tcm30-425902.pdf (último acceso: Junio de 2021).

MITERD. *Buenas Prácticas en Economía Circular.* Abril de 2021. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/buenas-practicas-economia-circular/ (último acceso: Junio de 2021).

—. *Economía Circular en la Comisión Europea.* Abril de 2020. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/comision-europea/ (último acceso: Mayo de 2021).

—. «Estrategia Española de Economía Circular.» Junio de 2020. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030_def1_tcm30-509532.PDF (último acceso: Mayo de 2021).

—. «I Plan de Acción de Economía Circular 2021- 2023.» 25 de Mayo de 2021. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/plan_accion_eco_circular_tcm30-527269.pdf (último acceso: Junio de 2021).

—. «Informe de Indicadores del Pacto por una Economía Circular.» 2019. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/iinformedeindicadores2017-2019_tcm30-510491.pdf (último acceso: Junio de 2021).

Organización de las Naciones Unidas. *Previsión de crecimiento de la población mundial.* 2019. https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2019.html (último acceso: Marzo de 2021).

Parlamento Europeo. «EUR-Lex.» Junio de 2020. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=EN (último acceso: Junio de 2021).

Pré Consultant. «Report ReCiPe.» Octubre de 2017. https://pre-sustainability.com/legacy/download/Report_ReCiPe_2017.pdf (último acceso: Junio de 2021).

TAUW. «EIA del proyecto de conversión a gas en el Grupo 1 del Centro de Producción Térmica de Aboño.» Evaluación de Impacto Ambiental Simplificada, 2020.

TECPA. *¿Qué es el Análisis de Ciclo de Vida?* Marzo de 2020. https://www.tecpa.es/que-es-el-analisis-de-ciclo-de-vida-acv/ (último acceso: Junio de 2021).

UNE. *La Economía Circular y la Normalización.* Marzo de 2020. https://www.une.org/normalizacion_documentos/La%20Econom%C3%ADa%20Circular%20y%20la%20Normalizaci%C3%B3n.pdf (último acceso: Junio de 2021).

WBCSD. «Circular Transition Indicators V1.0 - Metrics from business by business.» *World Business Council for Sustainable Development.* Enero de 2020. https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/11123/164399/1 (último acceso: Junio de 2021).

Wikipedia. *Definición de computación en la nube.* Junio de 2021. https://es.wikipedia.org/wiki/Computaci%C3%B3n_en_la_nube (último acceso: Junio de 2021).

—. *Diagrama de Sankey.* Agosto de 2020. https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Sankey (último acceso: Junio de 2021).

World Economic Forum. «The limits of linear consumption.» s.f. https://reports.weforum.org/toward-the-circular-economy-accelerating-the-scale-up-across-global-supply-chains/the-limits-of-linear-consumption/.

ANEXO I: Datos de entrada a la herramienta

En este anexo se muestran los datos de entradas y salidas para ambas hipótesis. Serán la base del cálculo de la circularidad y la Huella Ambiental Corporativa del proyecto:

Tabla 10 Flujos de entradas y salidas para los dos escenarios de producción planteados

DATOS DE ENTRADA				
	Aspecto	**Unidad**	**Aboño 1: generación convencional para una producción de 1425 GWh**	**Aboño 1: Generación con gases siderúrgicos para obtener una producción de 1425 GWh**
CONSUMO ELÉCTRICO	**Consumo eléctrico Alta Tensión (grupo parado)**	**GWh**	6,54	4,90
	Consumo eléctrico Media Tensión (Bombeo)	**GWh**	-	-
	Consumo eléctrico Baja Tensión (oficinas)	**GWh**	-	-
MATERIAS PRIMAS	**Carbón nacional**	**t**	-	-
	Carbón importación	**t**	437.241,24	-
	Gas natural	**m^3**	-	32.522.552,31
	Gasoil	**t**	510,36	-
	Fuel oil	**t**	611,64	-
	GHA	**m^3**	1.005.825.476,86	3.606.241.507,22
	GBC	**m^3**	-	31.644.687,18
	GLD	**m^3**	-	-
	Caliza	**t**	-	-

PRODUCTOS QUÍMICOS	**Ácido sulfúrico**	**kg**	58.686,49	58.686,49
	Ácido clorhídrico	**kg**	231,97	231,97
	Antiincrustante	**kg**	-	-
	Hidracina	**kg**	531,31	531,31
	Soluciones amoniacales/amoniaco	**kg**	216.091,81	216.091,81
	Hipoclorito sódico	**kg**	35.875,25	35.875,25
	Hidróxido sódico	**kg**	45.073,85	45.073,85
	Agua oxigenada	**kg**	629,60	629,60
	Cloruro Férrico (coagulante)	**kg**	303,91	303,91
	Policloruro de aluminio (coagulante)	**kg**	2.438,72	2.438,72
	Otros coagulantes	**kg**	-	-
	Gas industrial N_2	**kg**	344,29	344,29
	Gas industrial O_2	**kg**	1.393,10	1.393,10
	Gas industrial H_2	**kg**	1.681,07	1.681,07
	Biodispersante	**kg**	-	-
	Cal	**kg**	-	-
	Anticorrosivo	**kg**	-	-
	Antiespumante	**kg**	2.013,67	2.013,67
	Nitrógeno líquido	**kg**	54.305,40	54.305,40

ACEITE	**Aceite**	**kg**	15.526,61	15.526,61
	Aceite biodegradable	**kg**	-	-
	Aceite calidad alimentaria	**kg**	-	-
	Grasa	**kg**	-	-
	Taladrina	**kg**	-	-
	Otros lubricantes	**kg**	-	-
CONSUMIBLES	**Anticongelante**	**kg**	-	-
	Disolvente halogenado y no halogenado	**kg**	-	-
	Disolvente no halogenado	**kg**	111,10	111,10
	Aerosoles	**kg**	7,85	7,85
	Baterías de plomo	**kg**	-	-
	Material Refractario	**kg**	-	-
	Filtros de aceite	**kg**	11,78	11,78
	Pintura	**kg**	-	-
	LED	**kg**	535,13	535,13
	Tubos fluorescentes	**kg**	-	-
	Trapos	**kg**	1.664,94	1.664,94
	Equipos eléctricos y electrónicos	**kg**	1.284,14	1.284,14
	Absorbentes	**kg**	-	-
	Envases de plástico	**kg**	-	-
	Envases metálicos	**kg**	-	-
	Papel y cartón	**kg**	2.099,14	2.099,14
	Vidrio	**kg**	-	-

AGUA	Agua red	**Agua oficinas**	**kg**	-	-
		Agua procesos industriales	**kg**	208.672.779,55	208.672.779,55
	Agua río, mar	**Consumida (captada río o mar-vertida-vapor generado cog)**	**kg**	7.105.766,40	7.105.766,40

TRANSPORTE	Transporte Materias Primas	**Camión**	**tkm**	8.315.175,42	-
		Tren	**tkm**	1.007.194,73	-
		Barco	**tkm**	3.991.253.964,77	-
		Camión para caliza	**tkm**	-	-
	Transporte Productos Químicos	**Camión**	**tkm**	-	-
		Camión cisterna	**tkm**	175.423,79	175.423,79

EMISIONES AL AGUA	**N total**	**t**	0,12	0,12
	P Total	**t**	0,00	0,00
	DQO	**t**	0,61	0,61
	Cloruro	**t**	-	-
	Cobre	**t**	-	-

EMISIONES AL AGUA	**N total**	**t**	0,12	0,12
	P Total	**t**	0,00	0,00
	DQO	**t**	0,61	0,61
	Cloruro	**t**	-	-
	Cobre	**t**	-	-

EMISIONES AL AIRE	**CO_2**	**t**	1.669.499,68	2.467.280,46
	CO	**t**	91,85	91,85
	NO_x	**t**	1.570,97	377,03
	Partículas	**t**	123,85	-
	SO_2	**t**	3.847,95	115,44
	NH_3	**t**	-	-
	HCl	**t**	5,53	-
	HF	**t**	8,24	-
	SF_6	**t**	-	-
	Hg	**t**	0,00	0,00
	Se	**t**	-	-
	As	**t**	0,03	-
	Cd	**t**	0,00	-
	Cu	**t**	0,03	-
	Cr	**t**	0,03	-
	Ni	**t**	0,04	-
	Pb	**t**	0,02	-
	V	**t**	-	-
	Zn	**t**	-	-
	Co	**t**	-	-
	Sb	**t**	-	-
	Mn	**t**	-	-
	Tl	**t**	-	-

GESTIÓN RESIDUOS	Gestión residuos Peligrosos	**Aceites, grasas y lubricantes [D]**	**kg**	250,07	250,07
		Aceites, grasas y lubricantes [R]	**kg**	14.337,09	14.337,09
		Aerosoles vacíos [R]	**kg**	7,85	7,85
		Aguas aceitosas e hidrocarburos [D]	**m^3**	2,94	2,94
		Aguas aceitosas e hidrocarburos [R]	**m^3**	-	-
		Anticongelante [R]	**kg**	-	-
		Baterías de Ni-Cd [R]	**kg**	-	-
		Baterías de plomo [R]	**kg**	-	-
		Coagulante [D]	**kg**	-	-
		Disolvente no halogenado [R]	**kg**	111,10	111,10
		Envases contaminados [R]	**kg**	1.560,12	1.560,12
		Filtros de aceite [R]	**kg**	11,78	11,78
		Material o equipos electrónicos [R]	**kg**	1.284,14	1.284,14
		Otros residuos peligrosos [D]	**kg**	3.228,99	3.228,99
		Otros residuos peligrosos [R]	**kg**	6,87	6,87
		Pintura [D]	**kg**	-	-
		Pintura [R]	**kg**	-	-
		Productos químicos caducados [D]	**kg**	1,57	1,57
		Trapos [R]	**kg**	1.664,94	1.664,94
		Tubos fluorescentes [R]	**kg**	159,78	159,78

	Gestión residuos No peligrosos	**Cenizas [D]**	**kg**	-	-
		Chatarra metálica [R]	**kg**	52.087,77	52.087,77
		Escorias [D]	**kg**	3.879.905,72	-
		Lodos [D]	**kg**	143.486,11	71.743,06
		Lodos [R]	**kg**	82.321,48	41.160,74
		Madera [D]	**kg**	-	-
		Madera [R]	**kg**	4.789,50	4.789,50
		Otros residuos no peligrosos [D]	**kg**	80.377,22	80.377,22
		Otros residuos no peligrosos [R]	**kg**	67.825.348,16	-
		Papel y cartón [R]	**kg**	2.099,14	2.099,14
		Plástico [R]	**kg**	705,86	705,86
		Residuos industriales inertes [D]	**kg**	21.293,64	21.293,64
		Residuo Sólido Urbano [D]	**kg**	-	-
		Residuo Sólido Urbano [R]	**kg**	-	-
		Residuos de construcción y demolición [R]	**kg**	19.055,93	19.055,93
		Vidrio [D]	**kg**	-	-
		Vidrio [R]	**kg**	-	-
		Yesos [D]	**kg**	-	-
OCUPACIÓN SUELO		**EEPP**	**m^2**	-	-
		EENPP	**m^2**	40.102,24	40.102,24