

INFORME

3-2021

POTENCIAL DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR ENERGÉTICO

Joan Batalla-Bejerano
Director general de Funseam

Elisenda Jové-Llopis
Cátedra de Sostenibilidad Energética (IEB-UB)
Universitat de Barcelona

Manuel Villa-Arrieta
Investigador de Funseam



Funseam

Fundación para la Sostenibilidad
Energética y Ambiental

NOTA DE AUTOR. Este documento ha sido realizado para Funseam -Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental-. Tanto el contenido como las conclusiones del documento reflejan la opinión de los autores. Estas opiniones no vinculan a las Empresas Patronas de Funseam.

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Situación y perspectivas de la economía circular	5
3. Soluciones circulares para el sector energético	8
3.1. Ciclos de actuación y medidas concretas en España	10
3.2. Seguimiento de la economía circular	14
4. Oportunidades por vectores energéticos	15
4.1. Electricidad	15
4.2. Gases renovables	18
4.3. Hidrógeno	20
4.4. Biocarburantes de nueva generación	24
4.5. Consumo intensivo de energía	26
5. Conclusiones	32
6. Referencias	34

POTENCIAL DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR ENERGÉTICO

1. Introducción

Se entiende por economía circular (EC) el modelo económico orientado a la creación de nuevas oportunidades de negocio y formas innovadoras que permiten producir y consumir de manera más eficiente en base a la “reducción, reutilización y reciclaje” de materias primas. Este nuevo modelo económico reduce la necesidad de materias primas, disminuye los costes energéticos aumentando la eficiencia, minimiza la generación de residuos, transforma los residuos en nuevos insumos, incrementa la permanencia de los materiales y productos más tiempo en el círculo económico, genera oportunidades sociales y fomenta modelos de carácter colaborativo a diferencia del modelo lineal basado en “comprar, usar y desechar” (Ellen MacArthur Foundation 2012, 2015). Dominante desde la revolución industrial, el modelo lineal se basa en la producción de bienes a partir de la extracción de recursos naturales consumidos y posteriormente desechados como residuos. Por lo cual, es un modelo altamente extractivo, intensivo en el uso de recursos y generador destacado de los gases de efecto invernadero causantes de la crisis climática en la que estamos inmersos actualmente. De cara a este problema, el modelo circular se posiciona para reemplazar el lineal con el propósito de optimizar el uso de los recursos y materiales y desacoplar el desarrollo económico del consumo de recursos finitos. Además de dar respuesta a desafíos globales, la economía circular presenta una serie de oportunidades económicas, empresariales y sociales que se traducen en una mejora de la competitividad. El elevado potencial de creación de empleo, fomento de la innovación y notables ahorros de costes de las materias primas y energía, son beneficios claros que se pueden conseguir con la economía circular.

El avance hacia una economía circular se ha traducido ya en resultados concretos. Las cifras demuestran que entre 2012 y 2018, el empleo relacionado con la economía circular en la Unión Europea creció un 5% hasta alcanzar unos 4 millones de puestos de trabajo. Las proyecciones realizadas estiman que una apuesta decidida por la consolidación de la economía circular podría aumentar el PIB de la Unión Europea en un 0,5% adicional de aquí a 2030 y crear unos 700.000 puestos de trabajo nuevos, especialmente en las industrias relacionadas con la reutilización, reparación, rediseño o reciclaje (Comisión Europea, 2020). La transformación de la economía al

modelo circular no está exenta de dificultades, y para solventarlas se deben implementar estrategias y planes de acción que aceleren la economía de ciclos cerrados.

Promoviendo este proceso, el sector energético ha venido adaptando en su funcionamiento los pilares de la economía circular. No obstante, el sector de la energía ha tenido siempre como derrotero el incremento de la eficiencia de sus procesos. Sin embargo, son aún muchas las actividades que deben transformarse para que el sector pueda incorporarse de lleno a este cambio de paradigma de lineal a circular. Recordemos además que el sector energético se encuentra inmerso en un proceso de transición energética que nos debe permitir descarbonizar nuestra economía. Incorporarse a los procesos de la economía circular en este momento será beneficioso para potenciar la consecución de una economía descarbonizada. En este contexto el sector ya ha adoptado la expresión “energía circular” para referirse a la estrategia de integración de la economía circular en las actividades competentes del abastecimiento energético. Al tradicional trabajo de eficiencia en el manejo de los recursos en la generación eléctrica, el abastecimiento de gas y de los hidrocarburos líquidos, el sector ha avanzado en el desarrollo de otros vectores de denotada importancia para la transición energética. Nos referimos al hidrógeno, los gases renovables y los biocarburantes de nueva generación. Con la entrada de la estrategia de energía circular estos “nuevos” vectores han recibido un impulso alentador ya que han encontrado nuevos mecanismos técnicos y de insumos para su generación, fruto de las sinergias que se consiguen con otros sectores en el marco de la economía circular.

Sobre esta base, la variedad de vectores y sinergias con otros sectores ofrecen al sector energético un amplio abanico de posibilidades hacia la conectividad de la transición energética. Conseguir que lleguen a buen puerto depende de la correcta demarcación del contexto. Sumado a esta tarea, el país cuenta ahora con un plan de medidas concretas a corto plazo que deben ser abordadas de forma efectiva: el I Plan de Acción de Economía Circular 2021-2023 de la Estrategia Española de Economía Circular (PAEC). En este sentido, este informe aborda las posibilidades de la estrategia de energía circular desde el marco del contexto de la economía circular hasta llegar a las ejes y líneas de acción del PAEC. A continuación, se asocian las medidas de este Plan con tres ciclos de actividades que demarcan el contexto del sector energético y sirven de referencia para las sinergias sectoriales por las que aboga el modelo económico circular. Finalmente se presenta una amplia y específica descripción de las posibilidades de la economía circular en la cadena de producción de la electricidad, los gases renovables, el hidrógeno y los biocarburantes de nueva generación.

2. Situación y perspectivas de la economía circular

Comprender la situación y la evolución de la economía circular requiere, en primer lugar, examinar los diversos marcos de referencia orientados a definir el camino idóneo que permita avanzar a paso firme hacia un futuro más sostenible. Ante un desafío urgente y de carácter mundial como lo es el cambio climático, se articula una respuesta internacional y cohesionada. En este sentido, son dos los grandes marcos de referencia internacional que están guiando las políticas europeas en materia de desarrollo sostenible: el Acuerdo de París (Conferencia de París sobre el Clima, COP21) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Aunque ninguno de estos dos marcos cita explícitamente a la economía circular, sí que se encuentra recogido en ellos la necesidad de tratar de desacoplar el crecimiento económico del consumo de recursos y el deterioro del medio ambiente debido a los patrones de producción y consumo actuales, así como fomentar un uso eficiente de los recursos y un desarrollo sostenible.

Frente a estos habilitadores globales, la Unión Europea ha confirmado reiteradamente su firme compromiso para liderar la lucha contra el cambio climático. Así lo demuestran los distintos esfuerzos orientados a cohesionar la política de medio ambiente y de energía y la implementación de sucesivos paquetes legislativos de gestión de residuos, vertidos, envases o residuos procedentes de los vehículos al final de su vida útil, así como la promoción de las energías renovables, fomento de la eficiencia energética, sistema de comercio de derechos de emisiones, entre otros. Ahora bien, el punto de inflexión lo marca la aprobación en 2019 del Pacto Verde Europeo, estrategia de crecimiento orientada a transformar Europa en el primer continente climáticamente neutro en 2050, estimulando la economía, mejorando el bienestar de los ciudadanos y protegiendo la naturaleza (Comisión Europea, 2019). Si bien la acción del Pacto Verde Europeo se centra en una serie de áreas de carácter transversal que se consideran prioritarias para la consecución del objetivo final de abordar la gran transición hacia la sostenibilidad de la economía europea, este presta especial atención a la movilización de la industria a favor de una economía limpia y circular.

Durante estos últimos años, han sido varias las políticas y medidas que desde la Comisión Europea se han ido definiendo con el propósito de abandonar progresivamente un modelo económico lineal en favor de uno más circular y sostenible. La crisis actual provocada por la pandemia de Covid-19 no ha hecho más que activar el ritmo de avance de las medidas adoptadas, y es que la economía circular se posiciona como uno de los ejes centrales de la

recuperación económica. Se espera que los fondos europeos procedentes del paquete de estímulo *Next Generation* EU representen una oportunidad para reconfigurar el panorama industrial europeo y agilicen la transformación hacia una economía circular.

Actualmente contamos con el Plan de Acción para la Economía Circular (PAEC) aprobado el pasado mes de mayo. Específicamente el Plan busca establecer un marco legislativo sobre una política de productos sostenibles, aplicable de la forma más amplia posible, para abordar el diseño de los productos y conseguir que sean más circulares. Respecto a la participación de los consumidores, el Plan busca empoderarlos velando por brindarles información fiable y de calidad que les permita tomar decisiones óptimas y sostenibles. En sectores como la electrónica y las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), los vehículos sostenibles y las baterías, los plásticos y los embalajes, el textil, el alimentario y la construcción, el Plan busca establecer actuaciones concretas para reducir el uso intensivo de recursos. Finalmente, el Plan busca fomentar las iniciativas transversales para mejorar el papel de la circularidad en las futuras revisiones de los planes nacionales de energía y clima con el propósito último de aumentar e intensificar sinergias que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A nivel nacional, destacan varias medidas desarrolladas en materia de economía circular. Por un lado, el Pacto por una Economía Circular impulsado por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, del año 2019 que tiene como objetivo involucrar a los principales agentes económicos y sociales en esta transformación del modelo económico. Por otro lado, la Estrategia Española de Economía Circular (España Circular 2030) aprobada en junio de 2020 y tiene como objetivos específicos reducir en un 30% el consumo nacional de materiales en relación con el PIB (respecto a 2010), reducir la generación de residuos un 15% (respecto a 2010), reducir la generación residuos de alimentos en toda cadena alimentaria, incrementar la reutilización y preparación para la reutilización hasta llegar al 10% de los residuos municipales generados, reducir la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas de CO₂eq, y mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua. Por su parte, la reciente Ley de Cambio Climático y Transición Energética es una guía para la descarbonización de la economía española a 2050, apuntando al fomento de la economía circular y a la introducción de medidas para alargar la vida útil de los productos. Por último, el Plan de Acción de Economía Circular 2021-2023 (PAEC), que presenta más de 100 medidas concretas que deberán permitir el desarrollo de los objetivos marcados por la Estrategia.

Dada su relevancia en el corto plazo de sus medidas, a continuación, se describen los ejes y líneas de actuación del PAEC:

Eje de actuación “Producción”: promover el diseño/rediseño de procesos y productos para optimizar el uso de recursos naturales no renovables en la producción, fomentando la incorporación de materias primas secundarias y materiales reciclados y minimizando la incorporación de sustancias nocivas, de cara a obtener productos que sean más fácilmente reciclables y reparables, reconduciendo la economía hacia modos más sostenibles y eficientes.

Eje de actuación “Consumo”: reducir la huella ecológica mediante una modificación de las pautas hacia un consumo más responsable que evite el desperdicio y las materias primas no renovables.

Eje de actuación “Gestión de los Residuos”: aplicar de manera efectiva el principio de jerarquía de los residuos, favoreciendo de manera sustancial la prevención (reducción), la preparación para la reutilización y el reciclaje de los residuos.

Eje de actuación “Materias primas secundarias”: garantizar la protección del medio ambiente y la salud humana reduciendo el uso de recursos naturales no renovables y reincorporando en el ciclo de producción los materiales contenidos en los residuos como materias primas secundarias.

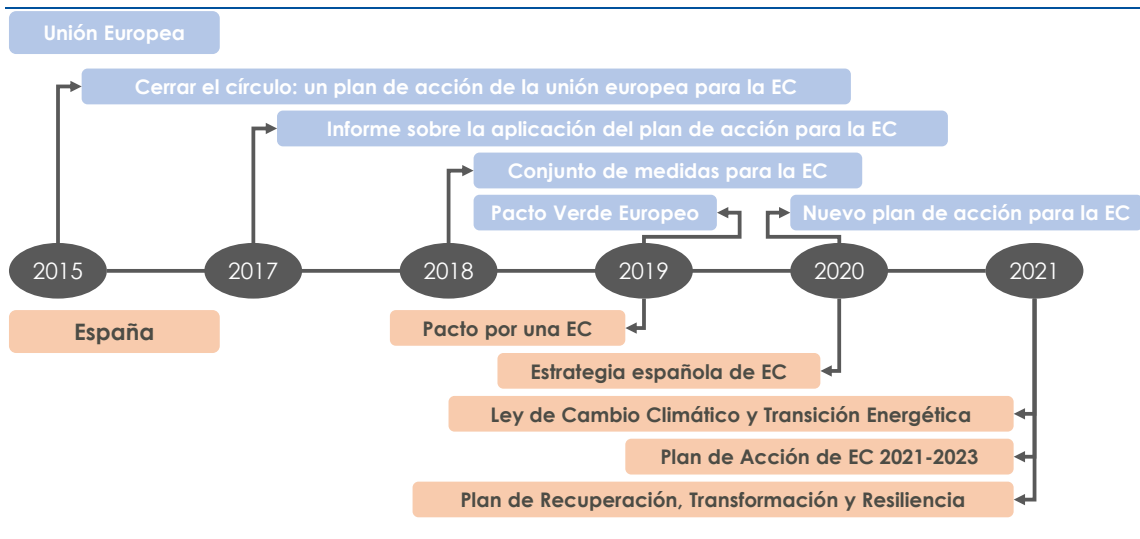
Eje de actuación “Reutilización y depuración del agua”: promover un uso eficiente del recurso agua, que permita conciliar la protección de la calidad y cantidad de las masas acuáticas con un aprovechamiento sostenible e innovador del mismo.

Línea de actuación “Investigación, innovación y competitividad”: impulsar el desarrollo y aplicación de nuevos conocimientos y tecnologías para promover la innovación en procesos, productos, servicios y modelos de negocio, impulsando la colaboración público-privada, la formación de investigadores y personal de I+D+i y favoreciendo la inversión empresarial en I+D+i.

Línea de actuación “Participación y sensibilización”: fomentar la implicación de los agentes económicos y sociales en general, y de la ciudadanía en particular, para concienciar de los retos medioambientales, económicos y tecnológicos actuales, y de la necesidad de generalizar la aplicación del principio de jerarquía de los residuos.

Línea de actuación “Empleo y formación”: promover la creación de nuevos puestos de trabajo, y la mejora de los ya existentes, en el marco que ofrece la EC.

Figura 1: Situación de la economía circular



Fuente: Elaboración propia.

3. Soluciones circulares para el sector energético

Como sabemos, la energía es determinante para el crecimiento y desarrollo de las sociedades y también una importante fuente de emisión de gases de efecto invernadero (responsable actual en Europa del 75% de estas emisiones). No es extraño, por tanto, que el sector energético en su compromiso con los objetivos europeos climáticos a 2030 y 2050 haya estado buscando la manera para alcanzarlos de una forma que sea eficiente en costes y sostenible desde el punto de vista de la competitividad. Consciente de que no existe una única vía para su consecución, el sector ve con aprobación la combinación de oportunidades que ofrece la economía circular en su modelo de negocio.

Aunque los desafíos globales son inmensos, el sector energético cuenta con una denotada experiencia en la gestión eficiente de los recursos. La eficiencia es una actividad constante en toda la cadena del suministro energético, por lo que el sector puede apoyarse en su experiencia para potenciar aún más las ventajas de la economía circular en su funcionamiento. El abanico de opciones que brinda el modelo circular refresca el campo de actuación de los sectores energéticos tradicionales eléctrico, gasista y petrolero. Gracias a ello, para cumplir los objetivos climáticos globales hablamos ahora no solo de la electricidad, sino también del potencial de los

gases renovables, el hidrógeno y los biocarburantes de nueva generación en el marco de la economía circular.

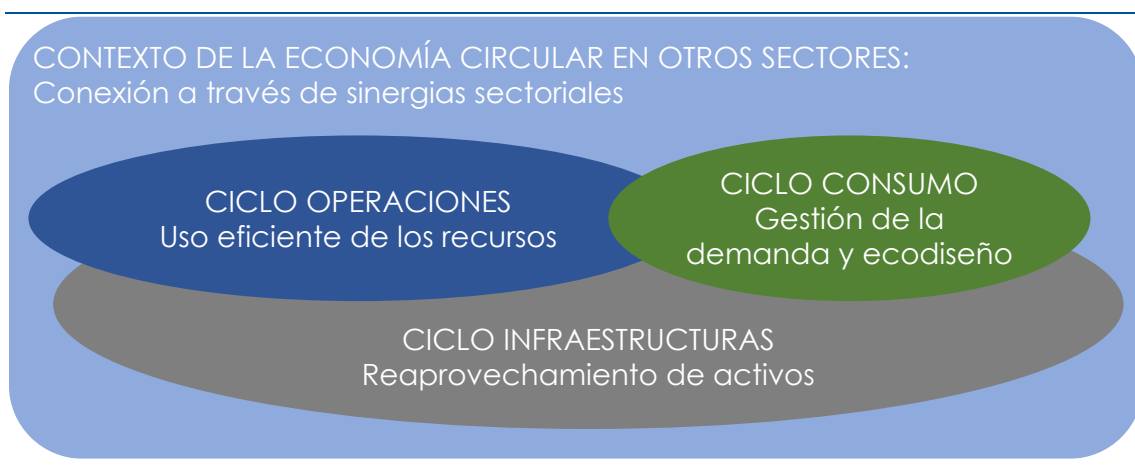
El sector energético tiene por lo tanto un importante papel en el Pacto Verde Europeo. Su contribución se basa en tres principios clave: dar prioridad a la eficiencia energética y desarrollar un sector eléctrico basado en gran medida en fuentes renovables, conseguir un suministro energético seguro y asequible, y un mercado de la energía plenamente integrado, interconectado y digitalizado. Son dos los objetivos del Pacto Verde: que a 2023 los Estados miembros actualicen sus planes nacionales de energía y clima para reflejar el nuevo nivel de ambición climática, y que a 2050 las emisiones que no se hayan eliminado sean absorbidas con tecnologías de captura y almacenamiento de carbono. El Pacto refuerza estas metas con objetivos específicos relacionados con la economía circular, como son la interconexión de los sistemas energéticos y el incremento de las fuentes renovables en la red, la promoción de tecnologías innovadoras y de infraestructuras modernas, impulsar la eficiencia energética y el diseño ecológico de los productos, descarbonizar el sector del gas, fomentar la integración inteligente en todos los sectores y promover las normas y tecnologías energéticas de la Unión Europea a nivel mundial.

En este contexto, los aspectos a abordar por el sector son el empoderamiento de los consumidores, la gestión de materiales y residuos en las cadenas de valor de los suministros como las baterías, los aerogeneradores, los paneles fotovoltaicos, los edificios y otros activos; además la revalorización de residuos y el autoconsumo energético. La economía circular constituye en sí misma un modelo de negocio con un enorme potencial, capaz de generar competitividad combinando innovación y sostenibilidad. Asimismo, la Estrategia Española de Economía Circular para 2030 tiene en cuenta la importante relación entre la economía circular y la transición energética, resaltando la existencia de las sinergias entre ambos conceptos y la convergencia en la necesidad de racionalizar al máximo el uso de los recursos y la descarbonización de la economía. En la transformación del modelo industrial lineal en uno circular, son por lo tanto determinantes el uso eficiente de la energía, el incremento de las energías renovables, y el ecodiseño de productos con consumo de mínimo de energía durante su ciclo de vida.

3.1. Ciclos de actuación y medidas concretas en España

La estrategia integrada de economía circular en el sector energético puede resumirse entonces en tres ciclos de aplicación: el ciclo de operaciones del suministro de energía, basado en el uso eficiente de los recursos; el ciclo del consumo, basado en la gestión de la demanda y el ecodiseño de los productos que consumen energía; y el ciclo de vida de las infraestructuras, basado en el reaprovechamiento de los activos. La conexión entre estos ciclos se desarrolla dentro del ciclo de funcionamiento circular de la economía. El objetivo es potenciar las ya marcadas sinergias entre el sector energético y los demás sectores. La propuesta del diseño de tres ciclos de actuación tiene como fin establecer un marco diferencial para las soluciones circulares en el sector energético. Dada la complejidad de la matriz de posibilidades energéticas que surgen en función de los sistemas de generación y consumo de los diferentes vectores energéticos existentes, es necesario abordar su interdependencia desde un marco diferencial para las medidas o soluciones que deben aplicarse para avanzar hacia un escenario de energía circular. En este sentido, a continuación, se presentan los tres ciclos de actuación de la economía circular en el sector energético y las medidas del PAEC que se pueden tomar en consideración en cada uno de ellos.

Figura 2: Ciclos de actuación de la EC en el sector energético



Fuente: Basado en [1].

Ciclo de producción

El primer ciclo está relacionado con el control eficiente de los recursos en las operaciones habituales: consumo de materia prima, pérdidas en la generación, transporte y distribución, etc. Este ciclo genera, transporta y distribuye un producto final que debe ser maximizado, y

emisiones y residuos que deben ser minimizados. El aprovechamiento de los recursos energéticos renovables y las sinergias empresariales o sectoriales son sus principales actividades. A los importantes recursos solar y eólico se le suman otros, como los desechos de ciertas industrias revalorizados energéticamente como materia prima en la generación energética. Las medidas que pueden ser adoptadas del PAEC para este ciclo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1: Medidas del PAEC para el ciclo de producción del sector energético

Eje y línea de actuación	Medida	Descripción
Producción	Circularidad en ciclos biológicos	Iniciativas para mejorar la gestión de deyecciones ganaderas de restos de cosecha y su aprovechamiento como biomasa.
	Circularidad en los ciclos tecnológicos	Priorizar el ecodiseño y el etiquetado.
Gestión de residuos	Revisión del Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario	Promueve la identificación de los lodos de depuración similares a los procedentes de aguas residuales urbanas. (Nota de los autores, no del PAEC: estos lodos podrían llegar a beneficiar la generación de hidrógeno).
	Aprobación de la Hoja de Ruta de Biogás	Definirá un marco que permita guiar y fomentar el despliegue y desarrollo del biogás en España, identificando los retos y oportunidades asociados al mismo, con especial atención a la transposición a la normativa nacional de los requisitos establecidos para el fin de condición de residuo de los digeridos en el Reglamento (UE) 2019/1009, así como la definición de medidas para tal fin.
	Fortalecer el sistema de inspección de traslados de residuos	Gestión de residuos de la generación eléctrica nuclear, y otros residuos que busquen ser revalorizados energéticamente.
	Nuevo marco para facilitar el aprovechamiento de los aceites industriales usados	Revisión del Real Decreto 679/2006 para incorporar las novedades normativas en materia de RAP, y mejorar la calidad de información para satisfacer las nuevas obligaciones exigidas por la normativa comunitaria e incrementando la trazabilidad de los residuos de aceites industriales y la optimización de su tratamiento, a fin de garantizar su idoneidad como posibles materias primas secundarias de calidad. (Nota de los autores, no del PAEC: estas materias primas pueden entrar a la producción de biocarburantes de nueva generación).
Materias primas secundarias	Subproductos y fin de condición de residuo (FCR)	Definición de los residuos que pasan a formar parte de los residuos con revalorización energética.
Participación y sensibilización	Impulso de la economía circular en el ámbito profesional	Promoción de actividades de sensibilización en la esfera profesional para promover la EEEC.
Investigación, innovación y competitividad	Apoyo a la innovación relacionada con la bioeconomía y la EC en el sector agroalimentario y forestal	Apoyo a las energías renovables en el soporte a la recuperación económica resiliente, sostenible y digital del sector agrícola y las zonas rurales, tras la crisis de la Covid19.
Empleo y formación	Nuevos programas de escuelas taller y casas de oficio que favorezcan a la transición hacia el nuevo modelo productivo	Programas relacionados con nuevos nichos de empleo, especialmente los que supongan el desarrollo de servicios de utilidad colectiva como la gestión de residuos, entre otros.
	Programa Empleaverde	Impulsa la creación de empleo y empresas en el marco de una economía verde y azul, promoviendo una EC, la transición a una economía baja en carbono y a un uso más eficiente de los recursos naturales.

Fuente: Basado en [2].

Ciclo de consumo

El segundo ciclo está relacionado con el empoderamiento de los consumidores en la gestión energética que surge gracias a las tecnologías inteligentes y a la innovación social. El despliegue

de redes y contadores inteligentes, sistemas de autoconsumo energético y la creación de comunidades energéticas, son actividades incluidas en este ciclo que ayudan a incrementar el aprovechamiento de los recursos energéticos locales y por consiguiente a mejorar la eficiencia global de los sistemas energéticos nacionales. Son también parte de este ciclo el consumo intensivo de electricidad y gas que se lleva a cabo en algunas industrias. En este ciclo podemos incluir también el ecodiseño orientado a mejorar el desempeño de dispositivos de consumo energético a lo largo de su vida útil. El etiquetado energético y de circularidad está directamente relacionado, ya que proporciona información sobre la sostenibilidad de los productos y servicios y es una herramienta de comunicación clave para permitir que el consumidor discierna entre la oferta de estos en el mercado. Las medidas que pueden ser adoptadas del PAEC para este ciclo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2: Medidas del PAEC para el ciclo de consumo del sector energético

Eje y línea de actuación	Medida	Descripción
Consumo	Etiquetado para la economía circular	Las etiquetas constituyen la herramienta de comunicación clave para el consumidor, permitiéndole discernir entre productos y servicios. Pero para que realmente sean útiles es necesario que las etiquetas aporten información agregada y sencilla de interpretar por cualquier persona independientemente de su experiencia y conocimiento en la materia. Incluye: impulso de la etiqueta ecológica de la Unión Europea (ECOLABEL) y obligaciones de etiquetado sobre la vida útil del producto.
	Consumo sostenible	Promueve impulsar el consumo de productos y materiales incluidos dentro del ciclo biológico, favorecer un consumo sostenible de productos del ciclo tecnológico, promoviendo su reutilización y reparación, alargando así su vida útil y evitando la generación de residuos. Además, promueve la evolución hacia la venta de servicios en vez de productos: pasar la consideración de “consumidor” a “usuario”. Incluye: fomento de la compra y utilización de productos forestales sostenibles y renovables; mercados de bienes de segunda mano; y el impulso al proyecto Ecomilla.
Producción	Nueva normativa de ecodiseño	Se desarrollará la normativa de Ecodiseño a distintos niveles. Asimismo, se participará en el recientemente creado Comité Europeo de Normalización CEN-CENELEC TC 10 “Productos relacionados con la energía-aspectos de la eficiencia de materiales en el ecodiseño” y en el fomento de la aplicación de estas normas de acuerdo con UNE.
Gestión de residuos	Revisión del régimen jurídico de pilas y baterías y sus residuos	Se incrementará la recogida cuantitativa y cualitativamente para su preparación para la reutilización y reciclado, y contribuir así a la Estrategia de Almacenamiento energético.
	Refuerzo del régimen jurídico para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Se llevará a cabo una revisión del régimen jurídico aplicable a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos para transponer la modificación que la Directiva (UE) 2018/849 introduce en la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y se aprovechará para reforzar el cumplimiento del Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero.
	Nuevo marco para facilitar el aprovechamiento de los aceites industriales usados	Dado que los aceites industriales usados presentan un elevado potencial como materia prima secundaria, es necesaria una correcta gestión de estos residuos.

	Elaboración y aprobación de los nuevos Programa de Prevención de Residuos y Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR)	Creación de una base de datos nacional en la que figuren los centros de preparación para la reutilización que permitan alargar la vida útil de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).
	Medidas para la mitigación del cambio climático en el sector residuos	Sector residuos alineado con el PNIEC para contribuir al objetivo europeo con una reducción del 23 % de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 2030 con respecto a los niveles de 1990, el sector residuos, considerado como sector difuso no energético no sujeto al comercio de emisiones, debe reducir los GEI en un 28 % respecto a los niveles de 2005.
Materias primas secundarias	Creación de un inventario nacional de Residuos de la Industria Extractiva (RIE) que contengan materias primas fundamentales	La recuperación de residuos supone un ahorro energético y menor huella de carbono en el consumo intensivo de la industria extractiva
Participación y sensibilización	Impulso de la economía circular en la sociedad	Promoción de campañas para el consumidor final sobre aprender a comprar con criterios responsables; a utilizar los productos e insumos de forma eficiente; y aprender a no desechar, sino a reutilizar y reciclar
Empleo y formación	Programa de Formación e Inserción laboral de Trabajadores Excedentes de la minería del carbón, de centrales térmicas de carbón y de centrales nucleares	Líneas formativas orientadas hacia los nuevos proyectos de generación de energías renovables, en edificación y rehabilitación sostenible

Fuente: Basado en [2].

Ciclo de infraestructuras

Por otro lado, el tercer ciclo está vinculado con la extensión del ciclo de las infraestructuras: reaprovechamiento de las centrales, redes y otros activos. Los impactos ambientales que la economía circular puede evitar aquí se derivan de la construcción, desmantelamiento y demolición de las infraestructuras (Basque Ecodesign Center, 2020). Por ejemplo, debido a la antigüedad de los parques eólicos de España, en los próximos años puede esperarse un crecimiento notable de residuos de aerogeneradores asociados al desmantelamiento y repotenciación de los parques existentes. Por lo cual, existe todo un campo de trabajo para que a partir de soluciones innovadoras puedan ser reciclados de la mejor forma los componentes de los aerogeneradores (MITECO, 2021). Las medidas que pueden ser adoptadas del PAEC para este ciclo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3: Medidas del PAEC para el ciclo de infraestructuras del sector energético

Eje y línea de actuación	Medida	Descripción
Gestión de residuos	Nuevo marco jurídico para la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición	Se desarrollará un marco normativo que fomente la aplicación de la jerarquía de residuos, incentive la demolición selectiva y la separación en origen, potencie tratamientos que obtengan materiales con elevada calidad gracias a la identificación y trazabilidad de los RCD, garantizando la protección de la salud y del medio ambiente, especialmente respecto a determinadas sustancias peligrosas tales como las fibras de asbestos.
	Guía para el desarrollo de criterios ambientales a tener en cuenta en el desmantelamiento y repotenciación de instalaciones de generación de energía eólica	Mediante esta guía se desarrollarán unos criterios básicos, que podrán ser tenidos en cuenta tanto por los técnicos competentes en materia de energía como por los redactores de los proyectos de cierre o proyectos de repotenciación de instalaciones existentes, facilitando la aplicación de criterios de EC
	Proyecto piloto de reutilización de módulos fotovoltaicos y baterías de litio de automoción en aplicaciones de autoconsumo doméstico	Se pretende desarrollar una experiencia piloto para comprobar la viabilidad de esta propuesta desde un punto de vista de eficiencia y operatividad de estas instalaciones. Se buscaría la colaboración público-privado, a través de organismos públicos y empresas privadas vinculadas al sector
Investigación, innovación y competitividad	Apoyo a la innovación relacionada con la bioeconomía y la EC en el sector agroalimentario y forestal	Apoyo a las energías renovables dentro de las ayudas para la recuperación económica resiliente, sostenible y digital del sector agrícola post-COVID19
	Proyectos de I+D+i incentivadores de soluciones de EC para las palas de los aerogeneradores eólicos	Debido a la antigüedad de los parques eólicos en España, de 2023 en adelante puede esperarse un crecimiento notable de residuos de aerogeneradores asociados al desmantelamiento y repotenciación de los parques existentes
Empleo y formación	Programa de Formación e Inserción laboral de trabajadores excedentes de la minería del carbón, de centrales térmicas de carbón y de centrales nucleares	La formación está orientada a los planes de restauración ambiental para explotaciones mineras en cierre o abandonadas y al desmantelamiento y rehabilitación de las centrales térmicas de carbón

Fuente: Basado en [2].

3.2. Seguimiento de la economía circular

La transversalidad del consumo energético en la economía debe ser abordada desde la monitorización de las métricas de las organizaciones en conjunción a las métricas territoriales, de la EC. Para dar un seguimiento acertado al avance del modelo circular es posible por ejemplo considerar el seguimiento de los flujos ocultos de la gestión de materiales que se utiliza en la medición de la huella ambiental, en la medición de la EC dentro de las organizaciones [Basque Ecodesign Center, 2020]. En este sentido, se recomienda el uso de indicadores internos propios del sector energético pero conectados con los ciclos de actuación y su relación con indicadores externos relacionados con emisiones y residuos que puedan ser aprovechados en otras industrias y viceversa.

4. Oportunidades por vectores energéticos

Dadas las particularidades específicas del sector en función del vector energético de análisis, las soluciones de circularidad difieren. Es por ello por lo que, en el análisis del potencial de la economía circular en el sector energético, hayamos optado por examinar a continuación, de forma independiente, las particularidades propias en el ámbito de la electricidad, los gases renovables, el hidrógeno y los biocarburantes de nueva generación.

4.1. Electricidad

La electrificación es uno de los principales caminos para descarbonizar la economía. La importancia de la economía circular en el sector eléctrico se relaciona con la importancia de este vector en la economía. Por lo que la promoción de la economía circular en el sector depende de las sinergias empresariales y las sectoriales para conseguir acoplar la cadena de valor eléctrica a las etapas de la circularidad.

Potencial

La electricidad es el vector energético de referencia en el aprovechamiento de las principales fuentes renovables, como el recurso solar y el recurso eólico, indispensables a la hora de descarbonizar el sector y descentralizar su funcionamiento empoderando a los consumidores finales. Asimismo, en la generación eléctrica el uso de fuentes bajas en carbono, como el gas natural y los gases renovables, son importantes vectores en el proceso de transición energética. De igual forma, respecto a la gestión energética, la eficiencia ha sido desde siempre una meta constante de la operación eléctrica para conseguir reducir costes y/o aumentar ingresos. A la mejora de la gestión en toda la cadena de valor y en el control de las operaciones, el sector eléctrico tiene un amplio potencial de mejora en el control de las corrientes residuales¹ [Basque Ecodesign Center, 2020].

Para aprovechar el potencial de la economía circular en el sector eléctrico es necesario avanzar, dentro del ciclo de operaciones, en la simbiosis industrial para revalorizar energéticamente los residuos de otras industrias, o aprovechar excedentes energéticos; y sumado al incremento de energía primaria renovable en la generación, es necesario avanzar en el uso del hidrógeno como

¹ La corriente residual es aquella que queda almacenada en un circuito eléctrico una vez que se corta la fuente de alimentación.

vector de generación o almacenamiento energético, y en general avanzar en el almacenamiento para la gestión de la intermitencia de las renovables. En el ciclo de consumo es necesario avanzar en la atención al cliente para aumentar el ahorro y la eficiencia a través de la gestión activa de la demanda eléctrica con el uso de los contadores inteligentes y la retroalimentación gamificada y de precios de la información energética; Asimismo, en el ciclo de consumo es necesario avanzar en el autoconsumo energético y en la creación de comunidades de energía positiva. Por último, en el ciclo de consumo es necesario avanzar en el reciclaje de las infraestructuras y los materiales de producción: como puede ser la recuperación de las partes de aerogeneradores una vez que estos hayan finalizado su periodo de vida, y el reciclaje de las baterías, los paneles fotovoltaicos y las infraestructuras.

Barreras al cambio

Respecto a las barreras internas, el seguimiento de la EC en el sector no es fácil puesto que sus métricas pueden ser confundidas con mecanismos ya utilizados, como las métricas de eficiencia, gestión de residuos y huella ambiental. Sin embargo, la gestión de las infraestructuras desechadas y otros activos aún presenta un amplio campo de acción. Por otra parte, respecto a las barreras externas, hay incertidumbre al riesgo asociado a la transición energética; además, las innovaciones tecnológicas en el sector avanzan a un ritmo que supera el curso regular de los cambios regulatorios. Los nuevos servicios e incentivos a los consumidores vinculados al ciclo de consumo también deben abordar la protección de sus intereses, y esto crea una variable a tener en cuenta en la salida al mercado de los nuevos modelos de negocio o tecnologías. Si embargo, es una variable que al ser bien gestionada puede convertirse en una ventaja competitiva para los nuevos proyectos. Respecto al ciclo de operaciones, la principal barrera externa del sector en el país es la falta de un calendario de concreto de subastas de energías renovables que permita cumplir la previsión del PNIEC (50 GW de potencia instalada eólica y 39GW de potencia de generación fotovoltaica, a pesar de ser este un elemento crítico para el cumplimiento de los objetivos de descarbonización, no existe aún un calendario.

Habilitadores

Los habilitadores de la economía circular en el sector eléctrico se encuentran en la validación de nuevos modelos de negocio y acompañamiento regulatorio a la innovación tecnológica y social. La integración circular de todo el ciclo de generación, distribución y consumo local en la planificación estratégica a través del impulso de comunidades de energía positiva, la gestión

activa de la demanda, los vehículos eléctricos, el almacenamiento, el hidrógeno verde y la captura y uso del carbono, requieren de la innovación social y regulatoria. En este sentido, el sector debe impulsar el uso de herramientas de innovación, como pueden ser los *Sandboxes* regulatorios, para crear escenarios de validación de nuevos modelos de negocio que no encuentran cabida en los marcos regulatorios vigentes. Por otra parte, para cumplir con la previsión del PNIEC en materia de generación renovable, es necesario eliminar la incertidumbre asociada a su implantación y penetración en la en la matriz energética.

Recomendaciones

Existe un consenso mundial sobre la importancia de la electrificación para conseguir los objetivos de descarbonización. Sin embargo, la transición energética presenta ciertas incertidumbres. Pasar a un sistema descentralizado y flexible conlleva la transformación del funcionamiento de los mercados para integrar la participación activa de los consumidores como nuevos agentes productores, agregados o no. En este sentido, la transición debe ser abordada desde un enfoque holístico y *bottom-up*, desde las nuevas innovaciones hasta el marco regulatorio vigente, para reducir los riesgos a las empresas y permitir la entrada al mercado de nuevos servicios a los consumidores protegiendo al mismo tiempo sus intereses. En este sentido, las recomendaciones que se plantean a continuación están relacionadas con la solución a los gaps regulatorios con la innovación regulatoria y con el seguimiento y monitorización de la economía circular en el sector y principalmente en las empresas del sector.

Recomendaciones encaminadas a innovar en el ámbito regulatorio facilitando la innovación tecnológica y social que demandan los nuevos sistemas eléctricos. En esta medida, los *Sandboxes* regulatorios se presentan como instrumentos de apoyo a esta innovación integral. Su aplicación serviría para avanzar en el desarrollo de nuevos productos para la gestión de la energía, el acoplamiento sectorial, el diseño de nuevos servicios de flexibilidad, la creación de plataformas tecnológicas de contabilidad distribuida respaldadas con *Blockchain*, el diseño y validación de nuevos modelos tarifarios a partir de precios dinámicos, y la creación y validación de nuevos modelos de negocio que contemplen nuevos ámbitos.

4.2. Gases renovables

Potencial

Dada la dificultad de alcanzar los objetivos de descarbonización sólo con la electrificación, surge de nuevo el interés en los gases renovables, bien sea el biometano, el gas de síntesis o el hidrógeno, como vector necesario y complementario al vector eléctrico. Todo ello, con la virtud adicional de poder usar en gran medida las infraestructuras existentes, evitando costosas y poco populares nuevas instalaciones, y contribuyendo en los procesos de economía circular con la gestión de determinados residuos, cada vez más complicados de tratar.

Los gases renovables, en particular los obtenidos a partir de las tecnologías de digestión anaerobia y gasificación, constituyen una pieza clave para la implantación de soluciones de economía circular, ya que pueden obtenerse de la transformación de residuos de naturaleza orgánica y subproductos biodegradables. En el caso concreto de España, se produce un volumen de residuos con un enorme potencial de valorización energética y con potencial de producción de gases renovables: Residuos Estaciones de Aguas Residuales (EDAR) urbana, residuos de vertedero o Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), residuos ganaderos y residuos de la industria alimentaria como lodos EDAR, entre otros.

En el caso concreto del biometano las ventajas son múltiples. El biometano puede utilizar directamente las instalaciones de gas natural sin necesidad de adecuarlas ni de realizar inversiones en infraestructuras por parte de los consumidores, que lo pueden usar directamente. Además, es equivalente al gas natural en cuanto a producción de energía con una eficiencia y poder calorífico prácticamente idénticos. Es un recurso renovable respetuoso con el medio ambiente, incluso, con emisiones netas negativas. Es fácilmente almacenable y transportable por lo que es más flexible que cualquier otra fuente de energía renovable. Este tipo de gas renovable puede ser utilizado para usos convencionales mezclado con el resto del gas natural, para generar electricidad con sistemas de cogeneración o calefacción de alta eficiencia, o como combustible renovable en vehículos de gas.

Barreras al cambio

En las próximas tres décadas está previsto un incremento en la generación de desechos a nivel mundial, impulsado por el crecimiento poblacional y la urbanización. Una gestión eficiente y mejor aprovechamiento de este volumen de residuos no solamente genera oportunidades

económicas, sino que contribuye a la consecución de los objetivos climáticos. Los gases de efecto invernadero provenientes de los desechos son un factor fundamental que contribuye al cambio climático, por lo que es necesario avanzar en las nuevas fórmulas y soluciones en su gestión en el marco de la EC. Para que este enorme potencial pueda ser una realidad, deberá superarse la barrera interna de su coste, CAPEX y OPEX, ya que está por encima de los costes de los vectores convencionales, aunque son una tecnología madura y competitiva con otras tecnologías de descarbonización.

Respecto a las barreras externas, es necesario un marco normativo de gestión de residuos que favorezca el desarrollo tecnológico e industrial, redefiniendo o finalizando la consideración de residuo, que es un vacío legal en estos momentos. Actualmente, un gran número de materias susceptibles de ser valorizadas energéticamente no lo pueden ser porque reciben la consideración de residuos. El desarrollo de este tipo de proyectos circulares exige de la disponibilidad de estas materias para que, con las correspondientes medidas encaminadas a garantizar la seguridad en el uso y transporte, puedan ser reincorporadas en el proceso productivo. El hecho de ser una competencia autonómica puede provocar la paradoja de que existan criterios diferentes en la consideración de los residuos, con el consiguiente riesgo de ruptura de la unidad de mercado. Además, es necesario superar la falta de garantías de origen y certificación de los gases renovables generados, y diseñar un marco de incentivos acorde con los objetivos planteados.

Habilitadores

La mayor penetración de gases renovables en el mix energético exige del apoyo político, económico y regulatorio; de la creación de mecanismos económico-financieros de apoyo e incentivos al gas renovable: Como pueden ser:

- Incentivos a la producción: *Feed-in-Tariffs* (FIT) a biogás para electricidad, compensación de costes superiores al precio de mercado, biogás *Feed-in-Premium* (FIP), incentivos fiscales, subsidios directos...
- Incentivos al consumo: incentivos a la inyección (FIT/FIP al biometano, incentivos fiscales, incentivo extra para uso en movilidad).
- Sistemas de certificación (garantías de origen) en el marco de la nueva directiva de renovables (RED II) donde los agentes interesados puedan adquirir gases renovables para uso energético y medioambiental.

Recomendaciones

En las experiencias internacionales de éxito en el desarrollo de esta industria ha sido fundamental el apoyo político y legislativo encaminado a facilitar su desarrollo, así como los mecanismos de apoyo económico/financiero al impulso de los gases renovables. Es necesario tomar en consideración los marcos de apoyo existentes en países como Alemania, Francia, Italia, Dinamarca, Reino Unido o Suecia, si bien no cuentan con mecanismos de apoyo explícitos sí tienen mecanismos de certificación o cuotas obligatorias.

La experiencia internacional muestra que no existe un marco homogéneo europeo de promoción de los gases renovables a partir de un mejor aprovechamiento de los residuos orgánicos si bien la certificación constituye un aspecto crítico.

4.3. Hidrógeno

Potencial

El proceso de electrificación del consumo final de energía, de la mano de una penetración creciente de la generación de origen renovable, se ha apuntado como uno de los ejes sobre los que va a pivotar el proceso de descarbonización. No obstante, siendo muy relevante el potencial de electrificación, se sitúa entre un 50% y un 60% de la demanda final de energía, por lo que es necesario dar respuesta a las necesidades de descarbonización en sectores como el industrial o el del transporte pesado.

Alineado con la estrategia europea, para dar respuesta a este reto ha surgido el interés por el hidrógeno como activo clave en el proceso de descarbonización total de todos los sectores económicos en el horizonte de 2050. Su capacidad de almacenamiento es la idónea para ser utilizado en momentos en los que determinadas renovables no pueden ser la solución a la generación eléctrica. Además de esta aportación al funcionamiento y operación del sistema eléctrico, los gases renovables, y en particular el hidrógeno, son especialmente relevantes en la descarbonización de la industria ya que dan respuesta a sus necesidades térmicas, produciendo calor a altas temperaturas o como materia prima en la industria química, del refino de petróleo, de fertilizantes o el propio sector siderúrgico.

En el caso concreto del transporte y la movilidad, el hidrógeno tiene una especial relevancia. El ámbito de la movilidad, siendo uno de los sectores que más CO₂ emiten a la atmósfera, es uno

de los más complejos a la hora de su descarbonización. Es entonces cuando la contribución de los gases renovables, tales como el hidrógeno verde y el biometano, pueden ser más cruciales, aportando soluciones basadas en gas natural comprimido o líquido, o en pilas de combustible alimentadas con hidrógeno. El sector del transporte es el causante del 25% de las emisiones mundiales de CO₂, siendo el transporte terrestre por carretera el responsable de más del 75% de las mismas y el que mayores perspectivas de crecimiento tiene en los próximos años —hasta un 210% en el segmento mercancías en el horizonte 2050—.

El hidrógeno no es una fuente primaria de energía por lo que es necesaria su producción a partir de otras fuentes primarias o vectores energéticos. Las tecnologías disponibles para la producción de hidrógeno son variadas, y surgen a partir de diversas fuentes energéticas con diferentes grados de madurez y descarbonización:

- Hidrógeno “verde”: a partir de procesos de electrólisis del agua, utilizando electricidad renovable. Es una opción libre de carbono.
- Biohidrógeno: a partir de métodos biológicos y catalíticos donde el hidrógeno se obtiene a partir del biometano, siendo por ello también renovables.
- Hidrógeno “gris”: hidrógeno producido a partir de gas natural con tecnologías de reformado de metano con vapor, *Steam Methane Reforming* (SMR) en su acepción inglesa. Es una opción baja en emisiones, pero no 100% neutra.
- Hidrógeno “azul”: hidrógeno “gris” en el que las emisiones de CO₂ provenientes de su producción son capturadas y almacenadas.
- Hidrógeno “turquesa”: se refiere a la producción de hidrógeno a partir de gas natural mediante pirólisis. Cuando se alimenta con electricidad renovable, este proceso también es una opción con cero emisiones de carbono, siempre que se compensen las posibles emisiones fugitivas de metano del gas natural utilizado.

Actualmente el hidrógeno se utiliza como materia prima en procesos productivos, situándose la demanda europea en alrededor de los 10 millones de toneladas. El 96% de la energía con la que se produce esta cantidad proviene de fuentes no renovables. En el caso español, anualmente se consumen alrededor de 500.000 toneladas de hidrógeno, principalmente de tipología gris. Prácticamente la totalidad de este hidrógeno se produce en las plantas de producción de productos industriales como el amoníaco, y en las refinerías, mayoritariamente en las situadas en Huelva, Cartagena, Puertollano y Tarragona. La sustitución de este hidrógeno gris por alternativas más ecológicas supone un alto potencial para la descarbonización de la industria.

Alrededor del 65% del coste de la generación del hidrógeno se lo lleva la energía necesaria para su obtención, por lo que el aprovechamiento de los excedentes de la generación renovable (principalmente la solar y eólica que el país prevé incrementar) para producir hidrógeno verde presenta un enorme potencial.

Barreras al cambio

Para que todo el potencial asociado al desarrollo del hidrógeno, en particular al del origen renovable, pueda ser una realidad, es necesario superar una serie de barreras tanto internas como externas. Una de las internas son las barreras tecnológicas en el ciclo de operaciones: actualmente la madurez tecnológica del hidrógeno de nulas o bajas emisiones está en un nivel inferior. La electrólisis es la tecnología más madura (a una escala de comercialización reducida), la captura y almacenamiento del carbono están al nivel de grandes demostraciones y el hidrógeno obtenido por pirólisis a un nivel de demostración en una escala relativamente pequeña.

Otra barrera interna en el ciclo de operaciones es la de competitividad en costes de capital (CAPEX) de la producción de hidrógeno de nulas o bajas emisiones respecto al hidrógeno gris, obtenido a partir de gas natural. A medida que se amplían las escalas de producción, podemos esperar que los CAPEX se reduzcan significativamente, si bien las estimaciones varían en función de cada tipología de hidrógeno. Las barreras internas en el ciclo de consumo están relacionadas con su coste al ingresar en los procesos productivos: los principales sectores industriales en los que se utilizará el hidrógeno a gran escala son el de los fertilizantes, el metanol y el acero como materia prima y las industrias que usan intensivamente energía en forma de calor (cemento, acero). Para estos sectores el coste de la energía representa entre el 20-40% de los costes productivos, costes que están sujetos a una gran competencia internacional.

Respecto a las barreras externas, encontramos barreras comunes a todos los ciclos del sector energético. Existen objetivos vinculantes de participación en la demanda energética final de los gases renovables y en particular del hidrógeno. Además, es necesario desarrollar la cadena de valor de la economía del hidrógeno y posicionar España como referente tecnológico; los Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) pueden suponer una oportunidad para desarrollar estas cadenas a partir de proyectos estructurales y con capacidad transformadora. Se requiere de simplificación administrativa y eliminación de las barreras regulatorias. Actualmente la producción de hidrógeno está considerada una actividad industrial, dado que se clasifica como una industria química para la producción de gas

inorgánico. A efectos prácticos, esto implica que sólo se puede desarrollar en suelo calificado como industrial, sometiendo a estas actividades a rigurosas evaluaciones de impacto ambiental, independientemente de la fuente empleada para la producción del hidrógeno. Además, no hay un marco de garantías de origen y certificación. Este sistema todavía no existe para los gases renovables en general, lo que supone un freno importante al desarrollo de la demanda. Por último, no existe un marco de incentivos acorde con los objetivos planteados.

Habilitadores

La mayor penetración del hidrógeno en el mix energético exige de apoyo político, económico y regulatorio. En este sentido, es necesario revisar los aspectos técnicos, regulatorios y de calidad de los gases necesarios para la inyección y el uso de hidrógeno en la red de gas natural, con especial énfasis en el uso de determinadas instalaciones existentes para el transporte y/o almacenamiento dedicado de hidrógeno renovable. Son habilitadores determinantes los mecanismos económico-financieros de apoyo a su producción a partir de fuentes renovables y para su consumo por parte de la industria española consumidora intensiva de hidrógeno. También lo son los sistemas de certificación (garantías de origen) en el marco de la nueva directiva de renovables (RED II) en los que los agentes interesados puedan adquirir gases renovables para uso energético y medioambiental. Por otra parte, desarrollar el marco normativo para su inyección en red redundará en un mejor aprovechamiento de las infraestructuras existentes, evitando costosas y poco populares nuevas instalaciones. En esta línea, en la estrategia de implementación del desarrollo del hidrógeno será sin duda clave el desarrollar el modelo de “valles de hidrógeno” que permita traccionar la demanda, todo ello combinado con la flexibilidad necesaria que apoya la red de gas para apoyar la descarbonización de otras industrias.

Recomendaciones

En las experiencias internacionales de éxito en el desarrollo de esta industria ha sido fundamental el apoyo político y legislativo encaminado a facilitar su desarrollo, así como los mecanismos de apoyo económico/financiero al impulso de los gases renovables. La experiencia internacional muestra que no existe un marco homogéneo europeo de promoción de los gases renovables a partir de un mejor aprovechamiento de los residuos orgánicos, si bien la certificación constituye un aspecto crítico.

4.4. Biocarburantes de nueva generación

Potencial

El sector de la movilidad es uno de los que históricamente más ha trabajado para reducir sus emisiones. La electrificación es una de las soluciones que se considera más viable, aunque cuenta con barreras que deben salvarse mediante otras tecnologías, especialmente en el transporte de mercancías por carretera, el transporte aéreo o el marítimo. Para estos sectores los biocombustibles son una alternativa sostenible y viable a corto plazo, ya que sería posible su implantación de forma inmediata, y cuentan con diversas ventajas frente a otras opciones como la electrificación.

Se denomina biocarburantes avanzados a aquellos que utilizan como materia prima para su obtención biomasa que no compite con el sector alimentario, como son los residuos agroindustriales, forestales, municipales, o bien de cultivos energéticos cuyo fin es, desde el principio, la obtención de energía. Al tener propiedades similares a los combustibles actuales, son compatibles con los vehículos de combustión. Esto permite aprovechar la red de distribución y repostaje que existe sin necesidad de desarrollar infraestructuras de recarga o renovar el parque automovilístico. Para su producción y distribución también se pueden utilizar las instalaciones existentes, invirtiendo en la transformación de algunos de los procesos actuales. En el marco de este proceso, en la actualidad, las refinerías europeas se están transformando en polos energéticos capaces de tratar todo tipo de residuos orgánicos y convertirlos en combustibles de baja huella de carbono. Para que los biocarburantes constituyan una alternativa renovable para la sustitución de los combustibles fósiles, es necesaria una transformación de la industria del refino con el objetivo de que todos sus procesos y productos sean cero emisiones netas de la mano de la economía circular para así reforzar su papel clave en la transición energética.

Barreras al cambio

La nueva Directiva (UE) 2018/2001, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (RED II), establece la obligación de alcanzar para 2030 un 14% de consumo de energías renovables en transporte, para lo cual los biocarburantes aportarán una importante contribución. Además, la Directiva contempla unos objetivos específicos de biocarburantes avanzados, que en 2030 deben llegar al 3,5%. Todo ello pone de manifiesto el potencial de los biocarburantes y su contribución para la satisfacción de las demandas energética del transporte

en las próximas décadas. Sin embargo, para ello es necesario superar una serie de barreras internas y externas.

En el ciclo de operaciones encontramos barreras internas tecnológicas que se deberán superar con un alto nivel de investigación: a pesar de sus indudables ventajas, la producción de biocarburantes avanzados presenta una mayor complejidad en su proceso de producción. En la cadena de suministro encontramos barreras relacionadas con la falta de una cadena de suministro de residuos dotada con nuevas y más eficaces infraestructuras de recolección y reciclaje que garantice un aprovisionamiento continuado de materias primas para el proceso productivo de los biocarburantes avanzados. Otra barrera interna son los costes de producción: los biocarburantes avanzados son aún más caros de producir que los convencionales, pero tiene como ventaja una menor sensibilidad a la evolución del precio de las materias primas; además, dado que sus costes de capital son más altos que para los convencionales, su potencial de reducción es mayor, siempre y cuando se consiguiera superar la etapa de aprendizaje de los primeros proyectos que han empezado a ponerse en marcha. No obstante, las alternativas tecnológicas de transformación (como la pirolisis rápida) han ido reduciendo sus costes de capital (CAPEX), si bien todavía no se encuentran en fase comercial.

En este mismo ciclo de operaciones se debe considerar que, a pesar de que la economía circular permite una mejor utilización y optimización tanto de los materiales como de los residuos, todavía subsisten barreras externas a tomar en consideración para promover todo el potencial que presentan. En este sentido, es deficiente el tratamiento de los subproductos y residuos derivados de las actividades económicas y, sobre todo, es deficiente la gestión de residuos domésticos y urbanos. Resulta fundamental fomentar la prevención, reutilización y valorización de los residuos antes de llevarlos a vertedero como última opción deseable. Este es un aspecto relacionado con la regulación del fin de la condición de residuo, cuestión recogida en la Directiva REDSII y que constituye la piedra angular de la economía circular (estando íntimamente ligado a los Objetivos de Sostenibilidad de la Agenda 2030). Con todas las medidas de control necesarias para garantizar la seguridad en el uso y transporte de estos residuos, es necesario evitar desperdiciar residuos con un alto poder calorífico siendo necesaria la creación de las oportunas condiciones de mercado.

Por otra parte, existe riesgo de ruptura de la unidad de mercado: la protección del medio ambiente en materia de producción y gestión de residuos tiene en las comunidades autónomas (CC.AA.) a su principal agente. A ellas corresponden, además del desarrollo normativo de la

legislación básica estatal, las competencias de control, inspección y sanción, núcleo duro de todo sistema de protección ambiental. En cuanto a la declaración del fin de la condición de residuo, la autorización autonómica será necesaria más que nunca, junto a la coordinación con el Estado, a fin de evitar la aplicación de criterios que puedan resultar divergentes.

Habilitadores

Los biocarburantes son un elemento importante en el porfolio de medidas necesarias para un transporte de bajo carbono. La mayor penetración de soluciones circulares en este ámbito es necesaria para establecer marcos de políticas estables que aceleren su desarrollo. En este sentido, cabe destacar las propuestas normativas en el marco de transposición de la Directiva de Energías Renovables (RED II) que fijen objetivos mínimos ambiciosos de biocarburantes avanzados. Además, los objetivos concretos de consumo de biocarburantes en la aviación y en la navegación darán un gran impulso al sector. Asimismo, lo será la revisión del marco fiscal con la adopción de medidas que favorezcan e incentiven la adecuada inversión en las rutas tecnológicas descritas y estimulen la demanda de los biocombustibles.

Recomendaciones

La industria de los biocarburantes debe hacer frente a múltiples retos de cuya adecuada resolución dependerá que consiga o no desplegar su potencial para la consecución de los objetivos de incorporación de energía renovable en el transporte. Entre los retos más ambiciosos se encuentra, sin duda, el de asegurar la transición hacia procesos de producción que signifiquen mayor ahorro de emisiones y sin impacto en el precio de las materias primas alimentarias. La definición de un marco regulatorio que facilite las inversiones imprescindibles para esa transición y la determinación de objetivos realistas pero ambiciosos son, a estos efectos, esenciales.

4.5. Consumo intensivo de energía

En términos económicos la optimización de recursos representa un importante pilar para que la industria y la industria intensiva en consumo energético apuesten por la economía circular. La industria ha sido, tradicionalmente, el segundo mayor consumidor de energía en España, después del sector transporte. Del total de consumo energético de la industria, cerca de dos terceras partes corresponden al cubrimiento de la demanda de energía térmica de los diferentes

procesos, mientras que la fracción restante se utiliza para satisfacer su demanda de energía eléctrica. Sin entrar en el detalle de cada tipología de industria, este consumo puede variar, encontrándonos con industrias gasointensivas y/o electrointensivas con un importante peso de los costes energéticos en los costes de producción. A continuación, abordamos la situación y las posibilidades de la economía circular en esta área.

Potencial

Frente al alto peso del consumo energético en la producción de los bienes del mercado, el sector industrial ha sido un importante promotor de la utilización de fuentes de energía más respetuosas con el medio ambiente. En el actual contexto de descarbonización, la economía circular y las energías bajas en carbono, aunque presentan algunas dificultades, pueden aportar amplios beneficios en el cubrimiento de la demanda térmica y la demanda eléctrica. Respecto a la demanda de energía térmica de los procesos de la industria, un alto porcentaje es la demanda constante durante todo el día, que actualmente se cubre con gas natural. Como se expuso anteriormente, los gases renovables y el hidrógeno, en el marco de sus propias particularidades, son un excelente sustituto para el gas natural en cuanto a reducir el impacto en el medio ambiente. En el caso de la demanda eléctrica en los procesos productivos, la industria electrointensiva tiene un importante peso en la matriz eléctrica de España. Los grandes consumidores de electricidad son aquellos que tienen un elevado consumo en horas de baja demanda eléctrica y una curva de consumo estable y predecible. Menos de cien plantas de industrias en esta categoría suponen un peso de cerca del 10% de la demanda eléctrica peninsular anual. El potencial de la economía circular en esta industria es amplio y está vinculado a la integración de las ventajas del autoconsumo fotovoltaico, la gestión activa de la demanda y el continuo avance de la eficiencia energética.

El potencial de aprovechamiento eficiente de la energía ha tenido su mayor desarrollo en la industria, dada la concentración del consumo de energía térmica en puntos específicos de relativa fácil gestión. En este sentido, la tecnología de cogeneración tiene un amplio recorrido en la industria y aún presenta un alto potencial de mejora dentro de los modelos de negocio vinculados a la economía circular. Las instalaciones de cogeneración en la industria pueden llegar a suponer el 75% de las instalaciones y el 90% de la potencia instalada del país, alcanzando a suministrar el 23% de la energía térmica demandada por la industria. Así, a través de instalaciones de alta eficiencia energética como son las instalaciones de cogeneración, la

industria ha sido y es un actor fundamental para contribuir de forma directa en el ahorro de energía primaria y la reducción de emisiones de CO₂.

En este sentido, la economía circular está relacionada en estas industrias con el uso de nuevos vectores energéticos en la generación térmica, como pueden ser la biomasa y el hidrógeno; asimismo, hay un alto potencial con la integración de la cogeneración y el autoconsumo fotovoltaico, la gestión activa de la demanda y la simbiosis industrial para revalorizar residuos y aprovechar al máximo los residuos energéticos.

Barreras al cambio

Aunque la EC presenta enormes ventajas en la industria, y en especial en la industria con consumo intensivo de energía, la principal barrera interna está relacionada con las inversiones iniciales que permitan instalar las tecnologías requeridas en los sistemas de producción circular. Son ya muchas las industrias que analizan las inversiones tecnológicas en eficiencia energética, autoconsumo o revalorización energética de residuos y de residuos energéticos desde su importante aporte al OPEX asumiendo los CAPEX como perdidos. En la línea de las barreras técnicas, la adopción de los nuevos vectores energéticos aún está limitada por su madurez, como es el caso del hidrógeno, que es un vector de difícil incorporación en el corto plazo.

Como ya se ha comentado, implantar el concepto de EC en la industria exige la transformación de un sistema productivo lineal en el que no solo los activos y los procesos deben ser adaptados sino también los que son los principales valores de las empresas: el conocimiento y la experiencia de sus empleados. La industria se está adaptando y esto provoca un déficit de personal formado adecuadamente en los ámbitos técnicos y técnicos superiores que puedan dar respuesta en los procesos productivos diarios, en el marco de las estrategias de EC asumidas por las empresas. La resistencia al cambio, como sabemos, juega un papel determinante dentro de las variables de control de las empresas.

Respecto a las barreras externas, en concreto, están relacionadas con las normativas y regulaciones para las industrias de consumo intensivo: Los costes derivados de las políticas climáticas pueden ser una barrera importante en la competitividad de las empresas nacionales en el mercado internacional. La industria de consumo intensivo de energía es una de las industrias con mayor tendencia hacia la fuga de carbono. Mediante un marco retributivo actualizado, las industrias que han realizado el esfuerzo de inversión pueden recibir la necesaria compensación para poder operar la instalación y obtener una rentabilidad razonable. Existe

también incertidumbre por la prohibición del uso de lodos biológicos en calderas de biomasa. Igualmente, sobre la pérdida de competitividad ante los productos importados por la ausencia del pasaporte de circularidad para estos, que informaría sobre la eficiencia y el uso de recursos energéticos renovables en su fabricación. La información sobre la trazabilidad de los procesos es clave para conocer si los competidores internacionales tienen en cuenta los objetivos e inversiones que son realizados por la industria nacional. La pérdida de competitividad de la industria nacional, y la tendencia de fuga de carbono pueden derivarse de la existencia de costes energéticos más bajos en otros países.

Ante la creciente tendencia del autoconsumo eléctrico en la industria internacional, esta posibilidad tecnológica en el ciclo de consumo debe asumirse como una ventaja competitiva para la industria española de cualquier sector (automóvil, textil, etc.). En el caso contrario, si no se apoya su despliegue, los beneficios en coste y en impacto medioambiental pueden llevar a una clara desventaja en los mercados internacionales en los que competirán los productos nacionales. El exceso de procedimientos administrativos, barreras técnicas y fiscales, pueden llevar a desincentivar la adopción del autoconsumo en las empresas españolas. Con lo cual, esta solución de ahorro que sí aprovecharán sus rivales internacionales podrá lastrar el futuro de la economía nacional. Por otra parte, en el caso concreto de la industria electrointensiva, los servicios interrumpibilidad le han servido para reducir sus costes energéticos. Actualmente existe incertidumbre en torno a las subastas de interrumpibilidad (bloques de disponibilidad de potencia subastados por los que las empresas reciben una remuneración, que se adjudican de acuerdo con el precio al que ganan la puja), ya que ante la normativa europea este mecanismo de capacidad tiene que modificarse de la forma en la que ha hecho hasta ahora.

Habilitadores

Podemos destacar los siguientes tipos de habilitadores de la EC en la industria con alto consumo energético: los habilitadores técnicos, los habilitadores normativos y la innovación. Respecto a los primeros, el almacenamiento de energía mediante calor o frío, y sus transformaciones adecuadas a sus usos también hacen posible la circularidad de los balances energéticos y materiales en las industrias que cogeneran. Otro aspecto técnico en el caso de algunas industrias es el aprovechamiento del calor débil en otros subprocesos. Este aspecto es necesario a la hora de aumentar la eficiencia de los ciclos energéticos industriales, y en los que las estrategias de simbiosis industrial pueden crear sinergias a su favor. Existe otro reto técnico relacionado con la generación de vapor en calderas de biomasa para reducir costes. Por otra parte, el mercado de

CO₂ debe marcar un precio adecuado que incentive la inversión en calderas eléctricas; sin embargo, el coste fijo de la conexión eléctrica impediría el avance de esta tecnología. Un habilitador sería el uso de otros vectores energéticos en esta industria, como lo puede ser el hidrógeno. Otro aspecto importante será el reconocimiento del riesgo de fuga de carbono, que habilitará la conversión hacia la EC de forma paralela a la mejora de los costes productivos y cumplimiento de objetivos climáticos.

Otro habilitador importante para adoptar la EC en la industria será la apuesta por la I+D+i. La investigación y la innovación siempre han sido un habilitador destacado en el crecimiento económico de las empresas. Sin embargo, con la economía circular, toma un nuevo carácter al requerir necesariamente que se involucre a otros agentes del mercado y principalmente a otras empresas para optimizar o reaprovechar nuevos recursos en las cadenas de valor industriales. La integración de agentes en torno a la innovación permite potenciar las sinergias innovadoras. En este sentido, los avances en la investigación deben seguir la senda que desde ya hace unos años se han planteado desde las plataformas tecnológicas. En el país este tipo de agentes de la investigación se han enfocado hacia la obtención de productos de alto valor añadido a partir de materias primas de origen biológico, obtención de biocombustibles a partir de aguas residuales, valorización de escorias siderúrgicas en el sector de la construcción, valorización energética de residuos, recuperación de metales, y fabricación de membranas inorgánicas a partir de residuos cerámicos.

Recomendaciones

La economía circular aborda una profunda transformación de la industria, y requiere de una amplia gama de políticas y una fuerte inversión en normalización y regulaciones, así como una decidida apuesta por la innovación. Son muchos ámbitos de trabajo, combinaciones tecnológicas y nuevos retos que se pueden abordar en el sector industrial y principalmente en el sector de consumo intensivo de energía. Se requiere avanzar en la armonización regulatoria, diseñar una fiscalidad mediante la reforma y definición de impuestos e incentivos combinados para la reducción de insumos materiales y energéticos, incentivando eficiencia y sostenibilidad en la producción y consumo. La definición de estrategias de formación y capacitación a largo plazo, desde la formación continua hasta el desarrollo de planes vinculados a la I+D+i, será un habilitador destacado.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones específicas relacionadas con el potencial de acción de la EC en la industria intensiva en consumo energético.

Autoconsumo fotovoltaico y consumo en horas de baja demanda eléctrica de la industria electrointensiva

El autoconsumo es un mecanismo de generación eléctrica en el mismo, o muy cerca, del punto de consumo. Dada la uniformidad del recurso solar en el planeta (por encima de cualquier otro recurso energético), la tecnología fotovoltaica destaca como mecanismo de generación in situ en las instalaciones industriales, siendo ya rentable en los consumos conectados a la red. Dado el elevado consumo en horas de baja demanda eléctrica de la industria electrointensiva, y las características de la curva de carga diaria del país (con un marcado periodo valle en horas de presencia del recurso solar), el autoconsumo fotovoltaico es un importante mecanismo de aprovechamiento de los recursos que impulsa la EC en las cadenas de producción.

La relación entre la coincidencia de horarios de actividad industrial/comercial y el recurso solar, presenta altos beneficios en los costes energéticos y asegura precios de la electricidad estables durante toda la vida útil de estos sistemas, que pueden superar los 20 años.

En términos de autoconsumo en la industria electrointensiva podemos incluir el potencial de los proyectos de generación eléctrica solar y eólica de energías renovables destinados netamente al cubrimiento de su demanda y basados en acuerdos de compra de energía (PPA) a largo plazo.

Gestión de la demanda – servicios de interrumpibilidad y curva de consumo estable y predecible de la industria electrointensiva

La previsibilidad del consumo en la industria electrointensiva tiene una gran ventaja a la hora acoplar su curva a la intermitencia de las energías renovables. La gestión activa de la demanda en este sentido presenta mecanismos que favorecen los intereses económicos relacionados con el uso eficiente de los recursos. Una herramienta que permite flexibilizar la operación del sistema eléctrico desde el lado de la demanda es el servicio de interrumpibilidad para la industria electrointensiva. Dada la previsibilidad de su consumo, los grandes consumidores de energía eléctrica pueden dar respuesta a una orden dada por el operador del sistema para reducir su consumo y mantener el equilibrio entre generación y demanda nacional, sin perjuicio a sus cronogramas de producción y a cambio de una retribución económica. En términos de descarbonización y aprovechamiento óptimo de los recursos renovables, la interrumpibilidad se

propone en caso de puntas de consumo extraordinarias o pérdida súbita de generación renovable por cambios bruscos de las condiciones meteorológicas, por ejemplo.

Cogeneración y simbiosis industrial

La cogeneración responde a la visión de EC en el uso eficiente de los recursos energéticos en la industria al aprovechar al máximo la energía, minimizando las pérdidas de calor. La cogeneración optimiza el aprovechamiento de los combustibles empleados en la industria, con máximo rendimiento energético y menos pérdidas, al vincular el proceso con el cubrimiento de la demanda de calor y electricidad (alcanzando en algunos casos eficiencias superiores al 90%).

Aunque la cogeneración es una tecnología madura, la EC supone la oportunidad de transformar y ampliar sus beneficios generando mayores ventajas competitivas a través de simbiosis industriales en el abastecimiento de las necesidades de electricidad, calor y frío de comunidades energéticas industriales. Necesidades que también pueden ser cubiertas a través de simbiosis con las ciudades. La tecnología ya se utiliza en el país en procesos mineralógicos y químicos, como transformación de calor residual en electricidad; también en depuradoras de agua de las industrias al transformar la materia orgánica en biogás por medio reactores anaerobios, y en la reprocesamiento de biocombustibles sólidos o gaseosos mediante biometanización. Más del 80% de la energía producida por las instalaciones de cogeneración se transforma a partir de gas natural, lo que supone alrededor del 40% del total de consumo de gas natural de la industria nacional. Dado este peso en la industria, es necesario que se desarrollen planes que incentiven la apuesta por los biocarburantes y gases renovables en la generación de calor. Las ventajas de estos vectores ya han sido expuestas anteriormente.

5. Conclusiones

Además de permitir desacoplar el desarrollo económico del consumo de recursos finitos, la economía circular da respuesta a desafíos globales y presenta una serie de oportunidades económicas, empresariales y sociales que se traducen en una mejora de la competitividad. Desde comienzos de 2021 el país cuenta con un plan de medidas concretas para impulsar en el corto plazo la estrategia nacional de economía circular. Este plan comprende más de cien medidas y establece, además, indicadores de seguimiento específicos que nos permitirán llegar a conocer en detalle los pormenores del cambio del paradigma lineal al circular.

Para delimitar el campo de actuación de una estrategia integrada de economía circular entre los diferentes subsectores que comprenden el sector energético, como son el subsector eléctrico, el subsector gasista, el subsector petrolífero, y los sectores industriales que participan como proveedores de productos y servicios vinculados a la energía, este trabajo ha abordado tres ciclos de actuación: un primer ciclo de operaciones basado en la eficiencia de los recursos y relacionado con la generación, el transporte y la distribución de energía; un segundo ciclo de consumo, basado en la demanda activa y el ecodiseño; y un tercer ciclo de infraestructuras, basado en el reciclaje y reaprovechamiento de las infraestructuras energéticas y de sus instalaciones. En estos ciclos este trabajo se han identificado medidas concretas del plan de actuación actual del país.

Este modelo refuerza el propósito de eficiencia inherente del sector energético y además define marcos de actuación que el sector ha venido buscando para potenciar nuevos vectores energéticos, como pueden ser el hidrógeno, otros gases renovables y los biocarburantes de nueva generación. En el caso del vector eléctrico, pilar de la transición energética, la economía circular ayuda al objetivo de descentralizar su generación y acoplarla a la participación del consumidor en la gestión de la demanda. Acoplar la cadena de valor eléctrica a las etapas de la circularidad está relacionada con un amplio abanico de actividades que van desde la revalorización energética o el aprovechamiento de excedentes energéticos en la generación o en el consumo, pasando por el uso del hidrógeno como vector de generación o almacenamiento, hasta la gestión de la intermitencia de las renovables con otros sistemas de almacenamiento. También se relaciona con el ahorro y eficiencia conseguida del lado de la demanda, el autoconsumo energético y la creación de comunidades de energía positiva.

Dada la dificultad para alcanzar los objetivos de descarbonización sólo con la electrificación, surge de nuevo el interés en los gases renovables -biometano, gas de síntesis o hidrógeno-, como vectores complementarios a la electricidad. Nuevos vectores que tienen la virtud adicional de poder usar en gran medida las infraestructuras existentes, evitando costosas y poco populares nuevas instalaciones. Los gases renovables, en particular los obtenidos a partir de las tecnologías de digestión anaerobia y gasificación, constituyen una pieza clave para la implantación de soluciones de economía circular, ya que pueden obtenerse de la transformación de residuos de naturaleza orgánica y subproductos biodegradables en el marco de simbiosis industriales. En el caso del hidrógeno, su potencial se sitúa en la capacidad para dar respuesta a las necesidades de descarbonización en sectores como el industrial o el transporte pesado. Respecto a los biocarburantes de nueva generación, aquellos que utilizan como materia prima para su

obtención biomasa que no compite con el sector alimentario, no cabe duda de que son sumamente relevantes para la transformación del sector petrolero. Su potencial se sitúa en la capacidad de conexión que puede llegar a existir con el sector agroindustrial para aprovechar sus residuos. Además, en las propiedades que los hacen compatibles con los vehículos actuales de combustión, por lo que permiten aprovechar la red de distribución y repostaje actual, sin necesidad de desarrollar infraestructuras de recarga o renovar el parque automovilístico. En el caso del consumo intensivo de energía, el potencial de aprovechamiento eficiente de la energía tiene un amplio campo de actuación, dada la concentración del consumo de energía térmica en puntos específicos de relativa fácil gestión. En este sentido, la economía circular está relacionada en estas industrias con el uso de nuevos vectores energéticos en la generación térmica, como pueden ser la biomasa y el hidrógeno; asimismo, existe un alto potencial con la integración de la cogeneración y el autoconsumo fotovoltaico, la gestión activa de la demanda y la simbiosis industrial para revalorizar residuos y aprovechar al máximo los residuos energéticos.

6. Referencias

Basque Ecodesign Center (2020). *¿Cómo definir una política corporativa en economía circular en el sector eléctrico?*

Batalla, J., Villa-Arrieta, M., Jové Llopis, E. (2021). El potencial de la economía circular en el sector energético. *Revista Ambienta*, MITECO.

Comisión Europea (2020). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*. COM/2020/98 final

Comisión Europea (2019). *The European Green Deal*. COM/2019/640 final

Comisión Europea (2015). *Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy*. Brussels. COM/2015/0614 final

Ellen MacArthur Foundation (2012). *Towards the Circular Economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*.

Ellen MacArthur Foundation (2015). *Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*.

Elisenda Jové-Llopis (2020). *Economía Circular: Situación y perspectivas*. Informes Funseam 2020.

MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España (2021). *Plan de acción de Economía Circular 2021-2023*.