

**CÁTEDRA
DE TRANSICIÓN
ENERGÉTICA**



CÁTEDRA FUNDACIÓN REPSOL DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Descarbonización de la industria

OBSERVATORIO DE DESCARBONIZACIÓN EN LA INDUSTRIA
MEDIDAS DE DESCARBONIZACIÓN EN LA
INDUSTRIA DEL AUTOMÓVIL. SITUACIÓN ACTUAL
Y VIABILIDAD DE NUEVAS PROPUESTAS

Madrid

Septiembre de 2021

1. Introducción.....	3
2. Situación actual.....	4
3. Medidas propuestas por los fabricantes de componentes	8
3.1 Medidas sociales y de Gobernanza.....	8
3.2 Medidas Tecnológicas.....	10
4. Medidas propuestas desde la Cátedra	14
4.1 Recuperación de calores residuales	14
4.2 Empleo de colectores solares tipo Fresnel.....	16
4.3 Empleo de colectores solares de tubo de vacío	18
4.4 Reducción del consumo de agua	19
5. Conclusiones.....	23
6. Referencias.....	27

Resumen

Los fabricantes de automóviles (componentes y vehículos) llevan muchos años embarcados en la mejora de la eficiencia de sus procesos productivos. Eso ha conducido a que la sostenibilidad forme parte inseparable de su manera de actuar, y a que para poder incorporar nuevas medidas sea preciso recurrir a nuevas tecnologías, o a otras que, aunque conocidas, estaban poco implantadas en el sector.

En los fabricantes de componentes se ha detectado un amplio conjunto de medidas no sólo tecnológicas, sino también de gobernanza, sociales y de financiación que tratan de forma conjunta los criterios ESG (*Environmental, Social and Governance*), la economía circular, la descarbonización y, en suma, la descarbonización. Dichas medidas abarcan desde buenas prácticas ya consolidadas (renovación de componentes, aislamientos, variadores de velocidad...) hasta la inclusión de nuevos materiales, digitalización y plataformas colaborativas.

Se ha llevado a cabo la determinación de la huella de carbono de una fábrica de vehículos concreta (Centro de Madrid de STELLANTIS) mediante la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, para posteriormente pasar a proponer diferentes medidas innovadoras, de las que se ha evaluado tanto su viabilidad técnica como económica. Las medidas han consistido en la recuperación de calores residuales, integración de energía solar térmica con distintos tipos de colectores y la propuesta de diversas tecnologías para reducir el consumo de agua, muy elevado por la sección de pintura. El retorno de las inversiones ha quedado condicionado por la estacionalidad y volumen de la demanda y por los espacios disponibles para las nuevas instalaciones. Dos de las medidas (suministro energético a una red de distrito y creación de un tanque de tormentas) invitan a integrar los servicios energéticos de la factoría con la población vecina, lo que abre nuevas posibilidades de relación entre la industria y la sociedad.

Sin contar las medidas que suponen un intercambio de servicios con la población cercana o que reducen el consumo de la climatización de las oficinas (no incluidas en la huella de carbono del proceso productivo), la reducción de las emisiones de las medidas viables económicamente asciende a 7,4 kg de CO₂ anuales/vehículo (recuperación de calores residuales para el apoyo a los hornos de pintura), que se podrían ver incrementados en 3,9 kg si se dispusiese de espacio en la cubierta para los colectores Fresnel y en 12 kg adicionales

con los actuales precios del gas (50 €/MWh en mercado mayorista), que habrían viable el empleo de colectores de tubo de vacío. El conjunto de estas reducciones supone hasta un 13,6 % de las emisiones del proceso de pintura y un 4,4 % del total¹.

¹ Nótese que las medidas propuestas reducen el CO₂ real emitido en la combustión del gas natural, mientras que el total calculado en la producción es una cifra equivalente en CO₂ a las emisiones consideradas en el análisis de ciclo de vida.

1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta una exploración de medidas de descarbonización aplicables a la industria de la automoción, incluyendo tanto los fabricantes de componentes como los de vehículos. Quedan fuera del alcance las emisiones de CO₂ del vehículo en su uso y desmantelamiento. Por tanto, el foco no está puesto en el vehículo en sí, donde la motorización (eléctrico, híbrido, térmico...) y el combustible (hidrocarburo natural, eco-combustible, hidrógeno...) serían un elemento clave, sino en el proceso productivo del vehículo, es decir, el sector industrial, objeto natural de análisis de la Cátedra.

La exploración presentada en este “observatorio”, llevada a cabo durante el curso 2020/21, ha empleado la siguiente metodología:

- Selección de un fabricante representativo, que aportase datos reales de una factoría. Sobre dicho fabricante se ha determinado la huella de carbono actual y se ha analizado la viabilidad técnico-económica de la aplicación de medidas innovadoras encaminadas a su reducción.
- Revisión del estado del arte sobre buenas prácticas y medidas del sector.
- Debate con empresas del sector.
- Investigación propia para llevar a cabo el análisis de viabilidad de las medidas. Dicha investigación se ha elaborado con alumnos de último curso del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales y del Máster en Ingeniería Industrial de Comillas – ICAI.

El debate con las empresas ha sido principalmente en acceso abierto, a través del [Seminario de la Cátedra](#). En cuanto a la participación de los alumnos, se ha llevado a cabo mediante sendos [Proyectos Fin de Carrera](#) y un [hackathon o desafío tecnológico](#) integrado en una asignatura de último curso de máster.

Este informe presenta, de forma estructurada, el resumen de los resultados alcanzados en las diversas actividades. En todo momento se incluyen los enlaces a los documentos (presentaciones, grabaciones o textos) completos con objeto de que la persona interesada pueda profundizar en el tema.

2. SITUACIÓN ACTUAL

Para conocer la situación de partida respecto a la huella de carbono de la industria del automóvil se ha llevado a cabo un análisis de ciclo de vida (ACV) sobre el Centro de Madrid de STELLANTIS. Como dato inicial se parte de su [Informe Ambiental CPMA 2019-2020](#), donde se refleja (Figura 1) que la fabricación supone apenas un 16% de las emisiones de carbono de la vida del vehículo, distribuidas en la extracción y producción de materias primas y componentes, así como su transporte, y los procesos de transformación llevados a cabo en la propia fábrica. La mayor contribución (81,6%) viene dada por el uso del vehículo debido a las emisiones por el escape y a las producidas en la generación del combustible o de la electricidad que lo acciona. Con objeto de cuantificar las emisiones de la fabricación se ha acometido, a través de un [Trabajo Fin de Grado \(TFG\)](#), el análisis de ciclo de vida de dicho proceso, de cara a plantear medidas que contribuyan a reducir la huella de carbono, evaluando su efecto en el ACV mediante un [Trabajo Fin de Máster \(TFM\)](#) (Sección 4).

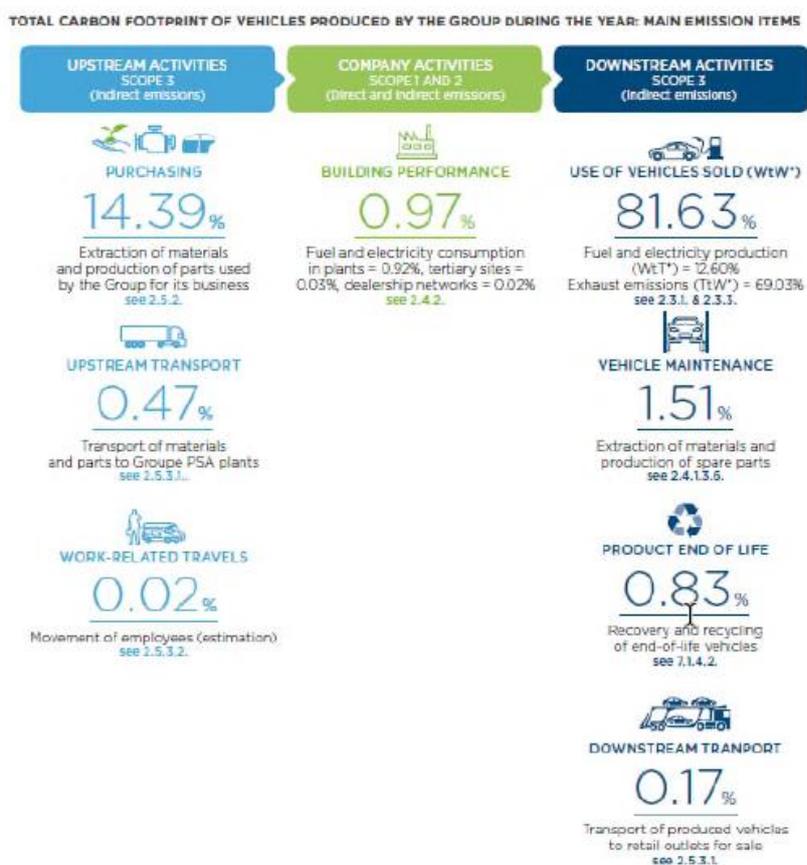


Fig. 1 Huella de carbono del Centro de Madrid de STELLANTIS. [[Informe Ambiental CPMA 2019-2020](#)]

El proceso de fabricación de un vehículo en el Centro de Madrid de STELLANTIS, tomado como representativo de la industria española, engloba tres fases: chapa, pintura y montaje (Figura 2). En el módulo de chapa se lleva a cabo la soldadura de la chapa y la incorporación de las masillas de estanqueidad; en la pintura la carrocería pasa por diferentes etapas, como los baños de pintura, lavados y horneados, de modo que se van depositando capas que aportan a la carrocería diferentes propiedades; finalmente en el montaje se lleva a cabo ensamblado de componentes y la puesta a punto y pruebas de funcionamiento del vehículo.

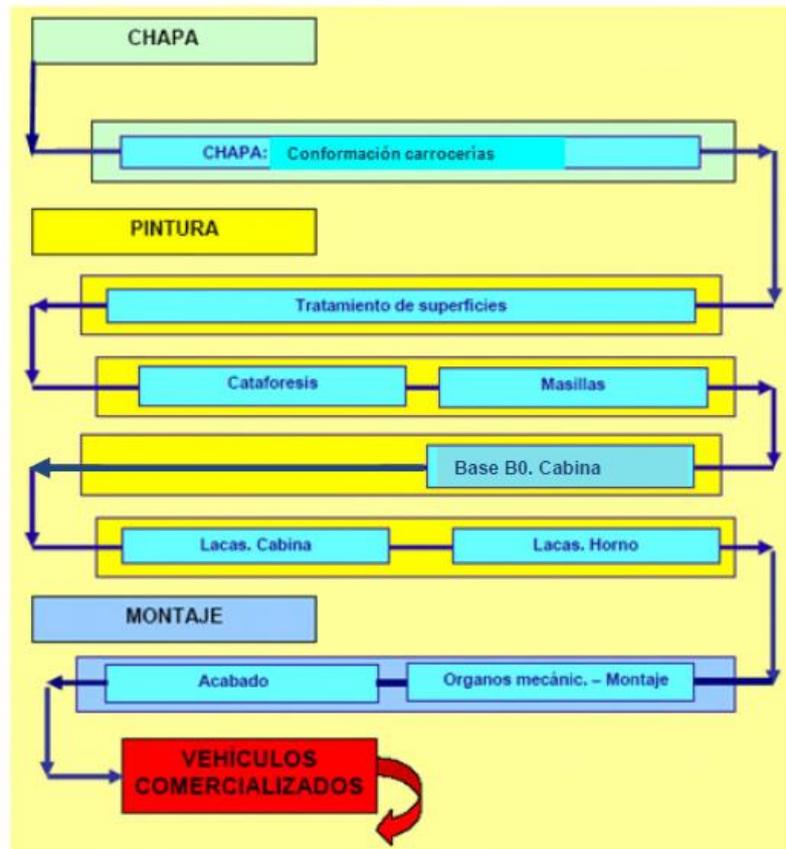


Fig. 2. Sinóptico del proceso de fabricación en STELLANTIS. [[Informe Ambiental CPMA 2019-2020](#)]

Los datos para llevar a cabo el ACV se han basado en información suministrada por STELLANTIS y en estudios medioambientales recientes disponibles en la literatura científica. La metodología del ACV atribuye a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y energías necesarias para su fabricación, transporte y distribución, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción, así como los efectos ambientales que surgen del fin de la vida del producto. La realización del ACV está regulada por las normas ISO 14040 y 14044.

Existen pocos estudios de ACV que analicen el proceso concreto fabricación del vehículo, siendo lo habitual centrarse en el uso del vehículo o bien en aspectos concretos del proceso de fabricación especialmente contaminantes, como la etapa de pintura o la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs). Se ha encontrado un estudio actual ([Bianco et al., 2020](#)) sobre una fábrica italiana que aborda todo el proceso y que será tomado de apoyo ante la falta de ciertos datos del proceso real.

Aunque el objetivo es determinar la huella de carbono, se han analizado siete categorías adicionales de impacto. La unidad funcional tomada ha sido un vehículo producido. Se ha empleado como método de cálculo el *CML-IA Baseline* disponible en el software utilizado (*SimaPro*), herramienta ampliamente reconocida a nivel internacional. La base de datos empleada ha sido *Ecoinvent 3*.

En la Figura 3 se recogen las emisiones de CO₂ equivalente de cada etapa o foco de impacto de la fábrica. Como se ve, la huella de carbono anual total en los límites de la fábrica asciende a 527 kg CO₂eq/vehículo, siendo el proceso de pintura el de mayor impacto (171 kg CO₂eq/vehículo). Para poner estas cifras en contexto, el valor obtenido por la referencia italiana ([Bianco et al., 2020](#)) es de 834 kg CO₂eq/vehículo. El bajo valor de la fábrica de STELLANTIS se debe a las mejoras que año tras año se han ido integrando en la etapa de pintura. Tras la pintura, la etapa que más contribuye a la huella de carbono es la fase de chapa (145 kg CO₂eq/vehículo), que incluye desde la obtención y procesado de la materia prima hasta el conformado final de la chapa. No menos importante es la contribución de la calefacción de la fábrica (105 kg CO₂eq/vehículo), llevada a cabo con calderas de gas natural.

Como conclusiones que se pueden sacar del ACV realizado destacan:

- La etapa de pintura es la que adquiere más relevancia debido a las mayores emisiones directas al aire, lo que determina que en ella se realice un mayor control de materias primas, de las condiciones de trabajo y de los recursos energéticos empleados.
- Los recursos energéticos tienen un gran peso en la huella de carbono, debido al gran consumo de gas natural, con el impacto que éste presenta en el calentamiento de los baños, hornos y calefacción.

- Las emisiones directas al aire durante la etapa de pintura se han revelado como uno de los principales problemas, especialmente los compuestos orgánicos volátiles en la etapa de lacas. Otros gases, como amonios y los óxidos de nitrógeno producidos en los procesos de combustión, tienen también una importante contribución.

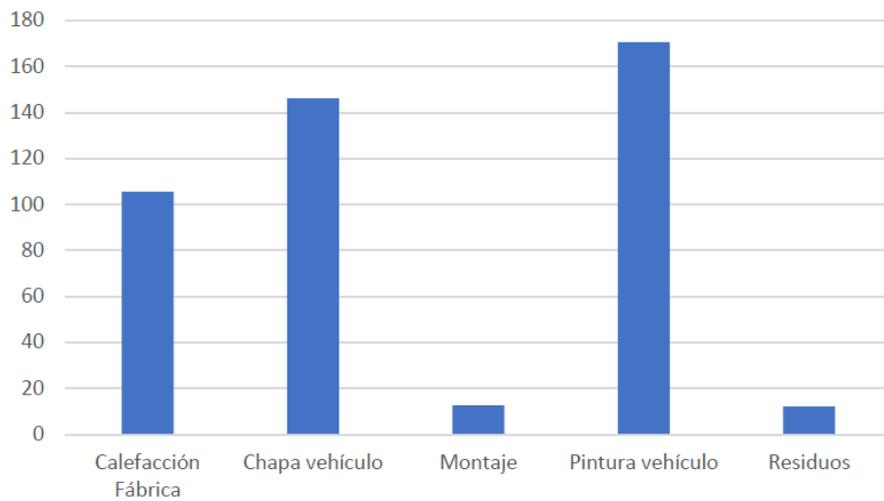


Fig. 3. Contribución a la huella de carbono de las diferentes etapas de fabricación de un vehículo (kg CO₂ equivalente anual/vehículo). [P. Gómez, 2021]

3. MEDIDAS PROPUESTAS POR LOS FABRICANTES DE COMPONENTES

Se recogen seguidamente las medidas propuestas desde SERNAUTO en el [Libro Blanco “Contribución de la industria de componentes de automoción al desarrollo sostenible”](#) publicado en 2021. Se trata de un texto que propone medidas transversales, aportando casos de éxito de diversos fabricantes. Se han revisado estas medidas y se han seleccionado las que guardan una relación más estrecha con los procesos de fabricación, dejando de lado las medidas encaminadas a mejorar la sostenibilidad en el uso del vehículo. Las medidas seleccionadas se han agrupado en dos categorías:

- Sociales y de gobernanza. Incluyen modelos de gestión y finanzas².
- Tecnológicas. Abarcan diversas medidas, incluyendo digitalización, procesos de fabricación y eficiencia energética.

En el [primer Seminario de 2020/21](#) SERNAUTO expuso las medidas y el enfoque que defienden desde el Libro Blanco para transitar hacia la descarbonización.

3.1 MEDIDAS SOCIALES Y DE GOBERNANZA

La Tabla 1 recoge las medidas seleccionadas, con indicación de la entidad que las propone. Si bien hay medidas para la mejora de la propia fábrica, surgen también colaboraciones entre empresas para facilitar la implantación de medidas tecnológicas. A nivel de criterios éticos y ESG (*Environmental, Social and Governance*), éstos aparecen frecuentemente imbricados con finanzas, tratando de llevar a cabo inversiones sostenibles que fomenten medidas de protección del medioambiente, economía circular y de protección social.

² El Observatorio ha generado en 2020/21 un [informe específico](#) sobre finanzas sostenibles.

Tabla 1. Medidas sociales y de gobernanza propuestas por los fabricantes de componentes. [[SERNATUO](#)].

Descripción	Entidad
COLABORACIONES Y MEDIDAS INTERNAS DE LA FÁBRICA	
Modelo de gobernanza en red. Modelo cooperativa, basado en principios democráticos.	Fagor Ederlan
Prevención de accidentes en planta dotando de sensórica a las carretillas elevadoras.	Gonvarri
Diversidad intergeneracional.	Valeo
COLABORACIONES ENTRE EMPRESAS	
Plataforma Tecnológica Española de Automoción y Movilidad (Move to Future, M2F) Crear una cultura de innovación y trabajo común. Entre otras líneas: “fabricación avanzada” y “Fomento de I+D+i: Normalización y formación”.	M2F
Alianzas con fabricantes de automóviles para desarrollo de productos. Gestamp y VW se unen en una plataforma para que Gestamp diseñe los chasis. Han creado una “plataforma modular” que será la base para futuros vehículos eléctricos. Permite la producción a gran escala. Una superestandarización.	GESTAMP
CADENA DE SUMINISTRO	
De la globalización a la <i>glocalización</i> . Tras la pandemia se prevé un cambio de paradigma, basado en la industria local, con cadenas de suministro y estrategias de almacenamiento de proximidad.	Varias
Monitorización y procedimientos exigentes para la obtención de minerales en zona de conflictos.	Grupo Antolín
Drive Sustainability. Asociación automovilística que vela por la ética en las cadenas de suministro: materias primas sostenibles, bienestar de los empleados, neutralidad en carbono, cadena de valor circular. Cuestionario de Autoevaluación (SAQ), centrado en la sostenibilidad social y ambiental, cumplimiento empresarial y gestión de proveedores.	Drive Sustainability
FINANZAS SOSTENIBLES, CRITERIOS ESG Y ÉTICOS	
Financiación verde. Anualmente, y según la puntuación que otorgue una consultora independiente, la empresa ajusta su coste financiero a la evolución de sus parámetros de sostenibilidad. Las condiciones del préstamo se vinculan a la calificación ESG.	CIE Automotive
Green Finance Network. Préstamos de financiación verde para proyectos de: <ul style="list-style-type: none"> • Transporte limpio • Energía renovable • Productos, tecnologías y procesos ecoeficientes y adaptados a economía circular • Eficiencia energética 	Schaeffler
Transparencia, índice Dow Jones de sostenibilidad. Someterse voluntariamente a auditorías y evaluaciones ambientales y fiscales.	GESTAMP
Código ético: igualdad de oportunidades, riesgos laborales, salud, protección del medioambiente, cumplimiento de reglamentos, competencia justa y honesta.	Zanini
Nueva estrategia de finanzas sostenibles: <ul style="list-style-type: none"> • Creación de un marco para fortalecer la inversión sostenible. • Maximizar el impacto de los instrumentos para “financiar lo verde”. • Integrar los riesgos climáticos y ambientales: “Estos riesgos deben gestionarse plenamente e integrarse en las instituciones financieras y en el sistema financiero en su conjunto, al mismo tiempo que se consideran debidamente los riesgos sociales cuando proceda. La reducción de la exposición a los riesgos climáticos y ambientales contribuirá aún más a la “financiación ecológica”. • Bonos verdes de la UE. • Productos financieros: bono verde, bono social, bono sostenible. Préstamo ligado a la sostenibilidad (ejemplo Schaeffler). 	Varios
Acceso a préstamos sostenibles	GESTAMP

3.2 MEDIDAS TECNOLÓGICAS

La Tabla 2 recoge las medidas tecnológicas seleccionadas, junto con el fabricante que las propone. Por lo que respecta al suministro de energía, hay consenso en la contratación de electricidad renovable, incluyendo también medidas de mejora de la eficiencia y de compensación de emisiones mediante soluciones basadas en la naturaleza.

Un conjunto de medidas transversales son las relativas a la industria 4.0, donde el sector ha acuñado el término “4.0^S”, indicando esa “S” la sostenibilidad. Con este enfoque se pretende poner la digitalización al servicio de la sostenibilidad buscando reducir las emisiones, los residuos y los accidentes, avanzando en la transición justa.

Finalmente, se proponen una serie de medidas que actúan directamente sobre los materiales, ya sea facilitando el cálculo del Análisis de Ciclo de Vida o facilitando la economía circular a través de la gestión de materiales y la introducción de nuevos componentes.

Dentro del proyecto europeo (H2020) [E2DRIVER](#) se ha llevado a cabo por parte del Politécnico de Turín una comparativa de diferentes medidas, recogiendo las que atañen a la fabricación de los vehículos en la Tabla 3. Básicamente se resumen en dos grandes bloques: instalaciones industriales y procesos de fabricación y logística. En el primero se persigue la introducción de medidas de mejora de la eficiencia energética, mientras que en el segundo se analizan los procesos más relevantes (prestando gran atención al de pintura) para adaptar tecnologías específicas.

Tabla 2 Medidas tecnológicas propuestas por los fabricantes de componentes de automoción. [[SERNAUTO](#)]

INTEGRACIÓN DE RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	
Contratación de electricidad solo renovable.	Continental
Neutralidad en carbono en 2020: aumento de eficiencia energética, incrementar la proporción de renovables en su suministro energético, comprar más energía verde, compensar las emisiones de carbono inevitables (plantación de masas forestales).	BOSCH
Adquisición de electricidad renovable. Compensaciones.	Schaeffler
INDUSTRIA 4.0	
<p>Industria 4.0^S (“S” de sostenible): digitalización + cero emisiones + cero residuos + cero accidentes + transición justa.</p> <p>“Con el concepto “Industria 4.0^S” (Industria 4.0 elevada a la “s” de sostenible), acuñado por la Asociación Española de Proveedores de Automoción (SERNAUTO), queremos hacer referencia a esa doble transición hacia una industria digital y sostenible. Esto supone que desde nuestro sector debemos avanzar hacia el liderazgo digital y hacia la neutralidad climática y poniendo en marcha mecanismos de transición justa que no dejen a nadie fuera.”, Carolina López Álvarez (Negocio Responsable, SERNAUTO).</p> <p>Para ello:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos de escucha (empleados, clientes, sociedad, regulador,...). • Capacitar y formar a los empleados (sobre todo, colectivos de riesgo). • Atreverse al cambio. • Valorar la rentabilidad de la inversión (impacto económico, social y medioambiental). • Mestizaje con otros actores. Alianzas con terceros. • Intercambio de buenas prácticas. • Objetivos claros y medibles. • Digitalización como medida de mejora de procesos. • Anticiparse a la integración de competencias tecnológicas. • Fomentar iniciativas escalables y replicables en otros procesos y empresas (solidaridad empresarial). • Industria 4.0^S. 	SERNAUTO
Industria 4.0: robots colaborativos, asistencia remota, impresión 3D, visión artificial, análisis de datos y control de la producción.	ZANINI
Fabricación aditiva. Las impresoras 3D reducen la huella de carbono: evita inventarios, modelo descentralizado (menos transporte), materiales 100% reciclables, no hay mermas, libertad en diseño, energía procedente de renovables (electrificación).	HP
ECONOMÍA CIRCULAR Y ACV	
Desarrollo de una app que incluye el ACV en los nuevos diseños de chasis.	GESTAMP
Reciclado de áridos. Revalorización del residuo como árido para carreteras.	Global Steel Wire
Empleo de nuevos materiales de bajas emisiones y toxicidad (aluminio reciclado o eco-magnesio).	Brembo
Revalorización de residuos mediante la modificación de nuevos procesos que permiten la integración de materiales reciclados (Novaform), desarrollo de materiales para el aislamiento acústico a partir de desechos (Coretech).	Grupo Antolín

Tabla 3 Medidas tecnológicas propuestas por los fabricantes de componentes de automoción dentro del proyecto europeo E2DRIVER. [\[E2DRIVER\]](#)

INSTALACIONES
Envolvente edificatoria: aislamiento del tejado y del suelo, ventanas, aislamiento paredes, rotura puentes térmicos.
Calentamiento edificio: reducción temperatura consigna, calefactores inteligentes, energía solar térmica, bombas de calor para climatización.
Alumbrado: LEDs, iluminación adecuada, sensores de presencia, luz natural.
Ventilación: variación de velocidad en ventiladores, recuperación de calor.
Aire comprimido: recuperación del calor de los compresores, compresores modernos y eficientes, motores eficientes, sistemas de control, evitar fugas de aire, mantenimiento de la filtración.
Accionamientos eléctricos: motores de velocidad variable, transmisiones inteligentes, dimensionado adecuado de los motores.
Infraestructura de comunicaciones: uso de SAIs inteligentes, desconexión de equipo de comunicaciones.
Procesos de frío: reducción de la demanda de frío, ajuste de las temperaturas de consigna.
Procesos de calentamiento: recuperación de calor, recuperación de calores residuales, aislamiento de tuberías, equipos de generación eficientes, bombas de calor industriales.
Bombas: control, mantenimiento, optimización energética, reducción de fugas.
Suministro eléctrico: reducción de armónicos, optimización de transformadores, compensación de reactiva.
Equipos de combustión: control de la eficiencia (análisis de escape).
PROCESOS
Pintura: mantenimiento, optimización de tiempos, reducción del flujo de aire, aislamiento, recuperación de calor, ventilación eficiente, secado con IR o con UV, horno de microondas, nuevas pinturas (povos, ...), ósmosis inversa para tratamiento del agua, filtro de carbono, chorros de alta presión, bombas de calor recuperadoras.
Soldadura del chasis: control por ordenador, tecnología eficiente en el inversor, unidades de soldeo múltiple, máquina de soldar de corriente continua modulada en frecuencia, hidroformado, robots.
Estampación: controles de tensión variable, actuadores de aire.
Diseño de vehículo y cadena de suministro: ACV para el diseño, integración de requerimientos ambientales en la cadena de suministro.
Logística: optimización logística, vehículos, formación de conductores, optimización neumáticos, medios de transporte alternativos.

En el [primer Seminario del curso 2020/21](#) STELLANTIS presentó las medidas que llevan acometiendo desde hace años para descarbonizarse en el Centro de Madrid, acordes con las mostradas tanto en la Tabla 2 como la 3, y que pasan por la mejora de las diferentes instalaciones (iluminación, bombas, compresores, motores...) y de los procesos (nuevas metodologías de pintura, digitalización, aislamiento...). En un futuro inmediato van a instalar una planta fotovoltaica de autoconsumo, estando estudiando en su hoja de ruta hacia el 2030 la producción de hidrógeno renovable y la regeneración del agua de los procesos de pintura mediante ósmosis inversa (medida ésta evaluada por la Cátedra en la Sección 4).

En el [segundo Seminario del curso 2020/21](#) el Grupo Antolín dio a conocer diversos materiales con los que afronta el reto de la descarbonización: sustitución de fibras sintéticas por naturales, exportación de materiales para otros sectores a partir de rechazos y reciclado de materiales para uso en la propia industria. En este mismo seminario, Gestamp mostró su

experiencia en la reducción de consumos y mejora de eficiencia a partir del uso de la digitalización y el tratamiento de datos masivos.

4. MEDIDAS PROPUESTAS DESDE LA CÁTEDRA

Tomando como caso estudio el Centro de Madrid de STELLANTIS se han analizado diversas medidas desde cuatro enfoques para mejorar la eficiencia de la planta, reduciendo así su huella de carbono. Estos cuatro enfoques han sido desarrollados dentro del [Energy Transition Challenge](#), una competición (*hackathon*) llevada a cabo por alumnos de la asignatura *Energy Transition* del Máster en Ingeniería Industrial impartido en Comillas – ICAI.

Los cuatro enfoques que se han analizado son:

- Recuperación de calores residuales (ver [Memoria](#) de la medida).
- Empleo de colectores solares tipo Fresnel (ver [Memoria](#) de la medida).
- Empleo de colectores solares de tubo de vacío (ver [Memoria](#) de la medida).
- Reducción del consumo de agua (ver [Memoria](#) de la medida).

Los datos requeridos para analizar la implantación de las medidas fueron facilitados por STELLANTIS. De los cuatro análisis llevados a cabo, se seleccionaron los dos primeros para ser incluidos en un [Trabajo Fin de Máster](#) y valorar así su repercusión en la huella de carbono de la fábrica.

Se resumen seguidamente las principales conclusiones de las medidas propuestas.

4.1 RECUPERACIÓN DE CALORES RESIDUALES

Tras analizar los diferentes focos emisores de la planta, se identificaron los siguientes como los que presentan más potencial:

- Gases de escape de los hornos de secado de pintura, con un total de 807 kWt en dos corrientes, una a 144 °C y otra a 77 °C.
- Agua de refrigeración de compresores, con una potencia de 464 kWt a 33 °C.
- Balsa de efluentes de pintura, una potencia térmica recuperable de unos 4,6 MWt a temperatura próxima al ambiente.

A partir de esas fuentes de calor se propusieron dos medidas de eficiencia:

- Se agruparon los dos primeros focos para alimentar el evaporador de bombas de calor industriales (Figuras 4 y 5) que precalentasen el aire tomado del ambiente hasta 75 °C. De este modo se podrían ahorrar 601 toneladas de CO₂ anualmente, con una inversión de 333.046 € y un retorno de 7,6 años.



Fig. 4. Bombas de calor industriales para revalorizar los gases de escape.



Fig. 5. Bomba de calor industrial para revalorizar el agua de refrigeración de los compresores.

- Con la corriente de efluentes de la balsa de pintura se propuso alimentar una bomba de calor reversible (Figura 6) para cubrir las necesidades de climatización de las oficinas de la planta y de una futura red de distrito. En el caso de las oficinas se lograría una reducción de emisiones de 104,7 toneladas de CO₂ anuales, con una inversión de

163.948 € y un retorno de 8,19 años. En el caso de poder alimentar, además de a las oficinas, a una red de distrito de modo que se aprovechase toda la oferta térmica del foco emisor, la reducción de emisiones sería de 399,3 toneladas de CO₂ anuales, con la misma inversión y reduciendo el retorno a 3,13 años.



Fig. 6. Bomba de calor industrial para revalorizar los efluentes de la nave de pintura.

Por último, al analizar los posibles escenarios de demanda se detectó una oportunidad en la climatización por aerotermos de la nave, de modo que cambiando la consigna de la caldera de los actuales 135/120 °C a 85/75 °C se lograría cubrir la demanda actual (la instalación estaba inicialmente sobredimensionada) reduciendo las emisiones de CO₂ en 30,7 toneladas al año sin inversión alguna, generando un VAN de 66.168 €.

El conjunto de las tres medidas anteriores lograría una reducción de entre 736,4 y 1.031 toneladas de CO₂ al año, que se corresponden con entre 9 y 12 kg de CO₂ por vehículo³.

4.2 EMPLEO DE COLECTORES SOLARES TIPO FRESNEL

Los hornos de pintura trabajan a unos 185 °C quemando gas natural. En esta medida se ha propuesto sustituir parte del combustible por el aporte de calor mediante colectores de

³ Esta ratio incluye las tres medidas, es decir, también la climatización de las oficinas y la red de distrito. Sin embargo, dichas actividades quedan fuera de la contabilidad de emisiones del proceso productivo dado en la Figura 3.

concentración lineal tipo Fresnel (Figura 7). Los colectores se han colocado en paralelo con los quemadores, produciendo una corriente de aceite térmico a 190/180 °C.

Se han seleccionado diversas combinaciones de los colectores con diferentes esquemas de lazos y número de colectores por lazo, analizando también diferentes tamaños de almacenamiento térmico. El espacio natural para ubicar estos colectores, en la cubierta, va a ser ocupado en breve por una instalación fotovoltaica de autoconsumo. Ello ha hecho necesario incluir en el presupuesto una estructura soporte (Figura 8) para alojar los colectores Fresnel en la cama de vehículos.

El FLT20 SOLATOM es un colector de concentración solar diseñado para generar calor a alta temperatura en procesos industriales de pequeñas y medianas empresas. El FLT20 es suministrado en módulos de 6 metros que están conectados los unos a los otros para obtener la potencia/energía deseada.



Fig. 7. Colectores Fresnel de SOLATOM escogidos.

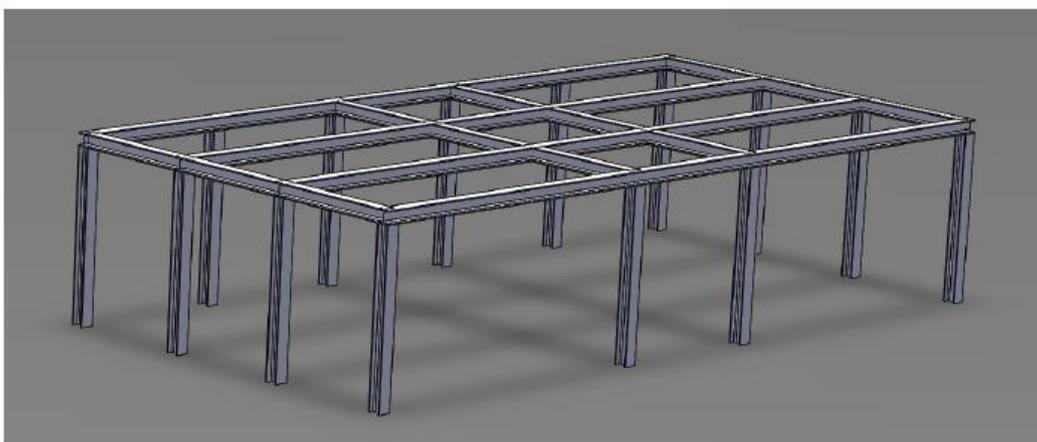


Fig. 8. Estructura soporte diseñada para alojar los colectores en la cama de vehículos terminados.

En un primer escenario se trató de cubrir la demanda completa de los quemadores (18,4 MWh/año) sin el empleo de almacenamiento, lo que suponía emplear 136 colectores y permitiría evitar la emisión de unas 430 toneladas de CO₂ anuales. Para optimizar la instalación se decidió integrar almacenamiento, lo que redundó en reducir la demanda cubierta, que pasó a ser de 6,1 MWh/año. Se consideraron varios tamaños de almacenamiento con tanques de aceite térmico entre 66 y 10.000 m³. La solución escogida finalmente empleó 100 colectores con 200 m³ de almacenamiento para cubrir 6,1 MWh/año de demanda y evitar unas 316 toneladas de CO₂ al año (3,9 kg de CO₂/vehículo). La inversión de los colectores, excluida la estructura soporte, es de 855.526 €, que representaría un retorno de 13 años.

La inversión total, incluyendo la estructura soporte y los trabajos de montaje, asciende a 1.587.883 €, lo que lleva el retorno a más de 24 años, siendo la vida prevista de los colectores de 20 años. Por tanto, la exigencia de instalar una estructura soporte impide la rentabilidad de la instalación, siendo por otra parte el ahorro en emisiones de CO₂ del orden del alcanzado con la revalorización de la energía térmica de la balsa de efluentes de las medidas de recuperación de calores residuales.

4.3 EMPLEO DE COLECTORES SOLARES DE TUBO DE VACÍO

En este caso se ha planteado el empleo de colectores planos de vacío (Figura 9) con tecnología de tubo de calor (*heat pipe*), colocados en la cubierta de la nave (como alternativa al proyecto de autoconsumo fotovoltaico previamente comentado). La temperatura alcanzable por esta tecnología es menor que con los colectores Fresnel, reduciéndose la eficiencia al aumentar ésta.

Se han considerado dos casos estudio: la calefacción de la nave, apoyando los colectores a la red existente de aerotermos, y el apoyo al aire de combustión y renovación de los quemadores de los hornos de pintura. En ambos casos se ha analizado la producción de una instalación de 1887 colectores, según la superficie disponible en la cubierta, con lo que la inversión queda fijada en 3.207.900 €.



VISSMANN

Fig. 9. Colectores de vacío con tecnología *heat pipe* de VISSMANN seleccionados.

En el primer caso (apoyo a la calefacción) la producción térmica lograda asciende a 564 MWh, lo que supone una reducción de emisiones de CO₂ de unas 144 toneladas al año (1,8 kg CO₂/vehículo). En el segundo caso (apoyo a los hornos de pintura), dado que la producción dura todo el año la generación térmica es de 3.861 MWh, que permiten evitar 985 toneladas de CO₂ anuales (12 kg CO₂/vehículo). A nivel de retorno de la inversión, resulta excesivo en ambos casos, siendo de 182 años en el primero y de 26,6 años en el segundo (calculados ambos para un precio medio de gas natural de 25 €/MWh y un rendimiento de la caldera del 80%). El retorno se reduce con mayores precios de gas, siendo inviable el primer caso, pero alcanzando valores de 13 años para el segundo con un precio del gas de 50 €/MWh.

4.4 REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA

Si bien no es una medida de descarbonización como tal, la regeneración del agua desechada y la reducción de la huella hídrica se imbrican en la economía circular, clave con la sostenibilidad ambiental. Como paso previo a las medidas que se plantean en este apartado, se evaluó la actuación sobre las instalaciones eléctricas, pero STELLANTIS ya venía trabajando en este tema desde hace tiempo, quedando sólo pendiente la implantación de control de presencia para iluminación, trabajo que se consideró inabordable para el tiempo disponible. Aspectos tales como mejora del factor de potencia y empleo de accionamientos

de velocidad variable ya estaban considerados. Un segundo aspecto que se valoró fue producir biogás a partir de los efluentes de la planta de pintura pero, aunque contenían carbono, la presencia de otros compuestos actuarían como inhibidores de las bacterias responsables de la digestión. Finalmente, se plantearon las medidas para actuar sobre la huella hídrica.

Se han valorado tres medidas:

- Regeneración de los efluentes de la nave de pintura mediante ósmosis inversa.
- Captación de agua de lluvia para uso en las torres de refrigeración de compresores.
- Instalación de un tanque de tormentas integrado en la red del Canal de Isabel II.

El tratamiento de efluentes de pintura mediante ósmosis inversa (Figura 10) es una medida ya existente en otras fábricas de vehículos, como en la factoría de Audi en Inglostadt, donde se logra una reducción del 40% del efluente. Se valoraron dos usos para el agua regenerada: empleo como agua desmineralizada para las torres de refrigeración de los compresores y usarla como agua industrial para el tratamiento TTS de pintura, en lugar del agua potable que se emplea actualmente. Este segundo uso fue descartado por ser la producción de agua regenerada insuficiente. La planta diseñada trataría 10 m³/h de agua, produciendo 6,5 m³/h de agua regenerada que se emplearían, tras la incorporación de un tratamiento biológico, como agua de reposición para las torres de enfriamiento. Se estima que la planta recuperaría 22.750 m³ de agua al año, permitiendo unos ahorros de 55.510 € anuales, con una inversión de unos 70.000 €. Eso arroja un retorno de 1,3 años.

En cuanto a la captación del agua de lluvia, se canalizaría el actual sistema de drenaje del suelo, que permitiría captar 29.133 m³ al año y requeriría un tanque de 3.500 m³. Los ingresos anuales serían de 66.000 €, pero la inversión sería excesiva, por lo que no se ha considerado una medida viable.

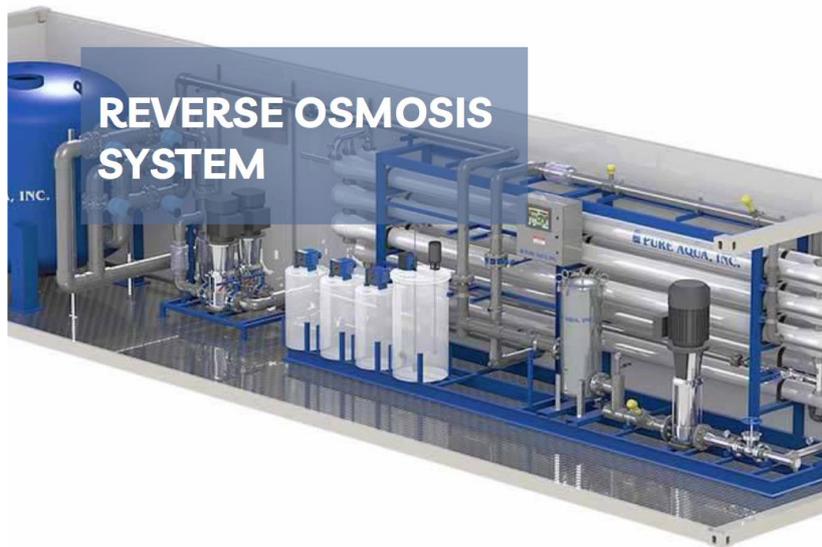


Fig. 10. Planta de ósmosis inversa industrial.

Por último, la disposición del terreno donde se aparcan los vehículos terminados permite dimensionar un tanque de tormentas subterráneo (Figura 11), que podría integrarse en la red de depósitos de estas características que tiene el Canal de Isabel II (empresa gestora del suministro de agua en Madrid). En otras actuaciones similares (por ejemplo, en Arroyofresno) el Canal de Isabel II se ha hecho cargo de la obra y el mantenimiento de la infraestructura, compensando al propietario de los terrenos con unos 4 millones de euros. Si el agua almacenada se emplease internamente en la factoría, se reduciría el consumo de la misma en 27.000 m³ anuales.



Fig. 11. Esquema conceptual del tanque de tormentas en la campa de vehículos.

5. CONCLUSIONES

La industria del automóvil lleva muchos años trabajando en descarbonización, impulsada por la búsqueda de procesos cada vez más eficientes que persiguen la reducción de costes y que inevitablemente llevan asociada la reducción del consumo de energía primaria y la reducción de emisiones. Es por ello que las medidas que se proponen han de ser cada vez más innovadoras, con objeto de sacar partido de las oportunidades que permanecen aún inexploradas.

En cuanto a la industria de componentes, recientemente hizo una reflexión sobre la sostenibilidad del sector cubriendo aspectos tecnológicos, sociales, de gobernanza y de financiación, que plasmó en el [Libro Blanco “Contribución de la industria de componentes de automoción al desarrollo sostenible”](#). En ese texto recogen las experiencias y casos de éxito de empresas del sector, incluyendo también algunas medidas y buenas prácticas surgidas al hilo del proyecto europeo [E2DRIVER](#). En el terreno tecnológico se presentan medidas clásicas de mejora de eficiencia (iluminación, empleo de variadores de velocidad, aislamiento de naves, modernización de equipos...), incorporando nuevas propuestas basadas en digitalización y economía circular. En cuanto a aspectos organizativos, se fomenta la integración en plataformas específicas y el trabajo colaborativo. Finalmente, en áreas de gobernanza se incorporan criterios ESG tanto a la producción como a las fases de la cadena de suministro, explorando las nuevas fórmulas de financiación sostenible. En la Cátedra se realizó una presentación del mencionado Libro Blanco en el [primer Seminario de 2020/21](#) por parte de SERNAUTO, y dos empresas del sector (Grupo Antolín y Gestamp) explicaron casos de éxito en economía circular y en digitalización en el [segundo Seminario de 2020/21](#).

Por lo que respecta a las empresas de fabricación de vehículos, [STELLANTIS](#) presentó sus casos de éxito y hoja de ruta a 2030, donde repasó las medidas de eficiencia ya acometidas, similares a las mostradas por los fabricantes de componentes, y presentó previstas, basadas en nuevas tecnologías como fotovoltaica para autoconsumo y producción de hidrógeno u ósmosis inversa para regenerar los efluentes de agua.

Una vez conocidas las propuestas del sector, la Cátedra ha analizado nuevas alternativas, que han sido particularizadas para el Centro de Madrid de STELLANTIS pero son

generalizables a otras fábricas de automóviles, o incluso otros sectores industriales. Dichas medidas se pueden agrupar en tres grandes categorías:

- Recuperación de calores residuales. Se han identificado calores de baja y media temperatura con los que alimentar bombas de calor industriales que permiten desde reducir el consumo de gas en los quemadores de los hornos de pintura (reducción anual de 7,4 kg de CO₂/vehículo) hasta contribuir a la climatización de las oficinas de la fábrica (evitando 104,7 toneladas de CO₂ anuales) o incluso a una red de distrito (evitando en este caso 399,3 toneladas de CO₂ anuales respecto a sistema de climatización convencional).
- Optimización de los equipos disponibles. Se ha comprobado que la red de aerotermos para la climatización de la nave estaba sobredimensionada. Eso ha permitido ajustar las temperaturas de consigna de la caldera de 135/120 °C a 85/75 °C, manteniendo la misma red de aerotermos y aportando a la nave el mismo calor. Esta medida, sin requerir ninguna inversión, permitiría reducir las emisiones anuales de CO₂ en 378 g/vehículo.
- Integración de energía solar térmica. Se ha propuesto el empleo de colectores Fresnel para reducir el consumo de gas de los hornos de pintura, reduciendo así las emisiones anuales en 3,9 kg de CO₂/vehículo. También se han considerado colectores de tubo de vacío para tal fin, logrando una reducción de emisiones anuales de 12 kg de CO₂/vehículo o bien para contribuir a la calefacción de las naves, reduciendo en ese caso las emisiones anuales en 1,8 kg de CO₂/vehículo.
- Reducción de la huella hídrica. Se han analizado tres medidas para reducir el consumo de agua potable de la fábrica: el tratamiento mediante ósmosis inversa del efluente de pintura que permitiría recuperar 22.750 m³ de agua al año, la captación de agua de lluvia, que lograría reducir el consumo en 29.133 m³ anuales y la creación de un tanque de tormentas, que permitiría un ahorro de unos 27.000 m³ al año.

Lamentablemente, la recuperación de las inversiones no es la misma para todas las medidas. En este sentido, es fundamental disponer de cargas anuales y no estacionales, y recurso suficiente para aprovechar al máximo las inversiones necesarias. El espacio disponible para las nuevas instalaciones se ha revelado como otra clave para lograr un retorno de la inversión aceptable, siendo fundamental para los receptores Fresnel, donde la creación de una estructura soporte al no disponer de espacio en cubierta incrementa excesivamente la

inversión. Los colectores de vacío no resultan viables económicamente salvo en el caso del apoyo a los hornos de pintura y que se consideren precios elevados del gas natural, no siendo posible dedicar para ellos el espacio de cubierta, que resulta mucho más atractivo para fotovoltaica o bien para los colectores Fresnel. Por último, la captación de agua de lluvia tampoco resulta viable económicamente, siendo muy atractiva la implantación de una planta de ósmosis inversa y la creación de un tanque de tormentas como apoyo a las infraestructuras del Canal de Isabel II.

Varias de las propuestas para el sector permiten poner en práctica el denominado paradigma de la *Industria en Comunidad* propuesto desde la Cátedra y que aparece esquematizado en la Figura 12. Esta propuesta significa que en lugar de concebir que la industria crea productos y empleo local para la sociedad, pero también emisiones, se puede aprovechar el proceso de descarbonización para integrar la industria con la población donde radica, de modo que ésta pueda aportar sus deshechos revalorizados a la industria (biogás o hidrógeno procedente de residuos, por ejemplo) y la industria revalorice sus efluentes para aportar servicios a la población. En el caso analizado, este aporte de la industria a la sociedad se ha propuesto de dos formas posibles: generando climatización para una red de distrito a partir de la balsa de efluentes de pintura y construyendo un tanque de tormentas que se integrase en la red de depósitos del gestor de la red hidráulica de Madrid, permitiendo controlar así las grandes precipitaciones puntuales. No se ha tenido en cuenta la aportación de biogás procedente de la población para la industria, dado que no existe un vertedero cercano y la producción desde lodos de depuradora es muy baja, siendo el consumo de gas por parte de la fábrica muy elevado. No obstante, estos obstáculos se verán solventados con la entrada en vigor de los certificados de garantía de origen para el gas renovable, que facilitarán la incorporación a la red de gas de biometano neutro en CO₂ producido en los diferentes puntos de tratamiento de residuos.



Fig. 12. Evolución del modelo lineal de relaciones de la industria con la población cercana al modelo circular donde industria y población intercambian servicios más allá de la producción propia de la industria.

6. REFERENCIAS

La propia metodología para elaborar este documento, a partir del trabajo desarrollado en la Cátedra en el curso 2020/21, contando tanto con las aportaciones de entidades externas en las [sesiones de debate](#) como con el trabajo con los alumnos y profesores de COMILLAS-ICAI en el [Energy Transition Challenge](#) y en los [Proyectos Fin de Carrera](#) ha permitido ir intercalando enlaces a los documentos, presentaciones y grabaciones de dicho material. En algunos de dichos documentos se pueden encontrar referencias externas al uso, pero se ha considerado que los enlaces a los propios documentos resultan mucho más útiles como referencias activas para el presente informe del Observatorio del curso 2020/21.