

## **DESACOPLAMIENTO, PRODUCTIVIDAD Y CIRCULARIDAD DE LOS RECURSOS: TRES OBJETIVOS ESTRATÉGICOS PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE**

*Marco Bianchi*

*Tecnalía. Basque Research and Technology Alliance (BRTA),*

### **RESUMEN**

El rápido aumento de la extracción de materiales es el principal culpable del cambio climático y la pérdida de biodiversidad, un problema que solo empeorará a menos que el mundo emprenda urgentemente una reforma sistémica de nuestros sistemas socioeconómicos. Este artículo pretende, en primer lugar, introducir al lector en la disciplina que se ocupa del estudio de los flujos de consumo de materiales y su relación con la actividad humana y, en segundo lugar, proporcionar una visión general de las tendencias y desafíos actuales a los que se enfrenta la UE con respecto a los objetivos estratégicos establecidos a lo largo de los años, que son: desacoplamiento, productividad y circularidad. Las proyecciones indican que, con estas trayectorias de crecimiento, se requiere un desacoplamiento extremadamente desafiante, difícil de lograr con estrategias orientadas a la economía circular.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El concepto de Desarrollo Sostenible, es decir, "satisfacer las necesidades de la sociedad sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras", se ha convertido en un tema muy importante en la agenda política mundial. Debido en gran parte a los extraordinarios cambios socioeconómicos presenciados durante la segunda mitad del siglo XX, la denominada "Gran Aceleración", nos enfrentamos cada vez más a preocupaciones sobre la sostenibilidad a largo plazo de nuestra economía y, más en general, de la sociedad global.

La población mundial aumentó de 2.500 millones de personas a mediados del siglo XX a 7.000 millones a finales de la primera década del nuevo milenio. Mientras tanto, el producto bruto mundial se multiplicó aproximadamente por ocho. De media, los seres humanos se han beneficiado de mejores condiciones médicas, de mayor esperanza de vida, y de servicios más eficientes desarrollados por diversas innovaciones tecnológicas e infraestructuras modernas. Sin embargo, estos extraordinarios avances socioeconómicos no se han producido sin causar un profundo deterioro del capital natural, ya que la explotación cada vez más acelerada de los recursos naturales ha propiciado gran parte de estos logros.

En 1990, se extrajeron y se consumieron en los procesos de producción 37 mil millones de toneladas de minerales, combustibles fósiles y biomasa. Esta cifra se elevó a 80 mil millones de toneladas en 2008 (+ 87,4%) (Pothen & Welsch, 2019), y entre 2015 y 2050 la Comisión Europea estima que este consumo se duplicará con creces (European Commission, 2018). Asimismo, las emisiones globales de gases de efecto invernadero continúan aumentando a un ritmo alarmante impulsadas por un lado por el mayor uso de energía, y por otro lado por el consumo excesivo de recursos y la destrucción de ecosistemas (UNEP, 2016). Los procesos de extracción, manufactura y utilización de las materias primas son los responsables de diversos impactos ambientales como el

agotamiento de los recursos naturales, la producción de desechos y emisiones tóxicas, la reducción de la biodiversidad y la contaminación, entre otros. Cuantos más recursos naturales se utilicen para impulsar nuestra economía, mayor será el impacto, los desechos, las emisiones y los contaminantes peligrosos en nuestro medio ambiente y, por consiguiente, mayor será la repercusión en nuestro bienestar.

Las crecientes preocupaciones ambientales han llevado a los políticos de todo el mundo a implementar varias iniciativas internacionales multilaterales, entre las cuales, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París sobre el cambio climático son, quizás, los ejemplos más importantes. De manera similar, en Europa, la Comisión Europea ha allanado el camino hacia un modelo económico más sostenible a través de la iniciativa "El Pacto Verde Europeo" (European Commission, 2019), una nueva estrategia de crecimiento que ha sentado las bases para la transición gradual desde una economía *lineal* basada en el uso intensivo del carbono hacia una economía circular descarbonizada y donde el crecimiento económico está desvinculado del uso de recursos vírgenes.

## 2. ANTECEDENTES

A pesar de la posición central que las estrategias dirigidas al desarrollo sostenible ocupan hoy en día en el debate político, las preocupaciones sobre el agotamiento de los recursos naturales y, más en general, sobre el deterioro del capital natural, no son nuevas.

A principios de la década de 1860, el economista británico William S. Jevons expresó su preocupación de que Gran Bretaña no pudiera sostener su desarrollo económico una vez que sus recursos de carbón se hubieran agotado. Señaló que las mejoras en la eficiencia no podrían aliviar el problema porque el crecimiento económico y el aumento del consumo ocurrían a tasas más altas que las ganancias en eficiencia, un fenómeno conocido como "efecto rebote" (Alcott, 2005). Desde entonces, los debates sobre la escasez de recursos han continuado evolucionando: la curva del "pico del petróleo" propuesta por M. King Hubbert en la década de 1950 (Bardi, 2009) y las preocupantes previsiones presentadas en "The Limits to Growth", por los expertos del Club de Roma en la década de 1970 (Meadows et al., 1972), fueron algunos de los eventos más famosos, todos estimulando discusiones y debates de larga duración.

Gracias a una comprensión cada vez mayor de la dinámica entre el capital natural y el capital humano, el siglo XXI es testigo de un cambio clave en el enfoque de estos debates: se ha pasado de cuestionarse si los recursos naturales son lo suficientemente abundantes para el uso humano a preocuparse por los impactos adversos de la explotación de los recursos naturales en nuestro bienestar (Brown & Ulgiati, 2011).

La comprensión de que el agotamiento de los recursos naturales, y el deterioro del medioambiente sean, evidentemente, una consecuencia de la acción humana, inspiró a principios de la década de 1980 una línea de investigación llamada *metabolismo socioeconómico* (SEM), en la que las economías vienen interpretadas como "sistemas" en los cuales el uso de recursos naturales y su procesamiento, el uso de energía, y las pérdidas se cuantifican y analizan desde una perspectiva sociotécnica (Clift & Druckman, 2015; Fischer-Kowalski & Hüttler, 1998; Pauliuk & Hertwich, 2015). La última tarea de esta disciplina es relacionar el cambio social con los patrones de consumos de recursos, y, por lo tanto, entender los tractores de un desarrollo sostenible.

Una contribución clave de esta disciplina ha sido el desarrollo de las cuentas de flujo de materiales a escala económica<sup>1</sup>. Estas cuentas han permitido monitorear el consumo de recursos a nivel global y, hoy en día, representan una de las herramientas más operativas para estudiar la interdependencia y coevolución de las economías humanas y los ecosistemas naturales, tanto intertemporalmente como espacialmente.

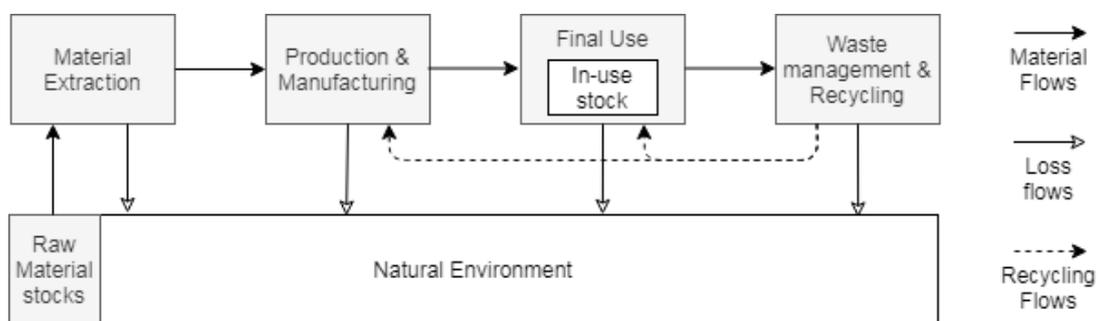
---

<sup>1</sup> Economy-Wide Material Flow Analysis (EW-MFA)

### 3. CONTABILIDAD DE FLUJOS DE MATERIALES: LAS CUENTAS PARA MONITOREAR UN DESARROLLO SOSTENIBLE

El análisis de flujo de materiales (MFA) es una evaluación sistemática de los flujos y existencias de material dentro de un sistema definido en el espacio y el tiempo. La

Ilustración 1 presenta una descripción general simplificada del ciclo de materiales antropogénicos. Las materias primas se extraen del medio ambiente y luego se procesan en productos intermedios y finales a través de actividades de producción y fabricación. Los productos o servicios finales entran en la etapa de uso para satisfacer las necesidades humanas. Mientras que los bienes duraderos (por ejemplo, casas) y las infraestructuras se acumulan en la antroposfera, los bienes de vida corta se recolectarán y eliminarán de acuerdo con las prácticas de gestión de desechos y, finalmente, se reciclarán o reutilizarán como materiales secundarios. Cada transformación de una etapa a otra producirá diferentes "corrientes de pérdida", es decir, flujos de materiales que regresan al sistema natural en forma de cargas ambientales, como contaminantes, desechos sólidos y aguas residuales.



*Ilustración 1: El ciclo antropogénico de los materiales*

Uno de los marcos metodológicos utilizados para implementar el análisis de flujo de materiales son las cuentas de flujo de materiales a escala económica (EW-MFA). EW-MFA es una metodología estandarizada para cuantificar el uso de materiales desde una perspectiva de consumo directo (EUROSTAT, 2018). EW-MFA clasifica los tipos de materiales en cuatro grandes categorías: biomasa, portadores de energía fósil, minerales metálicos y minerales industriales y de construcción. Su indicador principal, Consumo Doméstico de Materiales (CDM), representa la suma de estas cuatro categorías y se calcula como la masa de todas las materias primas extraídas en el país y la biomasa cosechada más la masa de las importaciones menos la masa de las exportaciones. Los criterios de corte adoptados para definir los límites del sistema para EW-MFA se han definido para reflejar las fronteras administrativas nacionales (es decir, países) y, en este sentido, son inequívocos.

Los indicadores EW-MFA son las métricas más consolidadas y utilizadas en todo el mundo que informan sobre el uso de materiales por parte de una economía determinada. En Europa, los indicadores EW-MFA son una parte integral de los sistemas de informes ambientales y, más recientemente, también se incluyen dentro del marco de seguimiento de la Economía Circular (Bianchi, Cordella, et al., 2022). Al describir la intensidad de consumo de una economía, el enfoque de EW-MFA permite delinear los perfiles socio-metabólicos de territorios, proporcionando información importante e indicadores estadísticos sobre el uso de recursos, su intensidad y su productividad. Es por eso que los indicadores EW-MFA generalmente se utilizan como referencia en las políticas de la UE para monitorear el progreso, entre otros, en la economía circular, el crecimiento verde y la productividad de los recursos.

#### 4. DESMATERIALIZACIÓN, DESACOPLAMIENTO Y CIRCULARIDAD: TRES OBJETIVOS ESTRATÉGICOS PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE

Desde una perspectiva histórica, las cuentas de flujo de materiales han permitido proporcionar indicadores ad-hoc para el seguimiento de objetivos de desarrollo que han ido evolucionando a lo largo de los años. En este sentido, en las últimas dos décadas, podemos distinguir tres objetivos estratégicos que se han sucedido en las distintas iniciativas europeas: “desmaterialización”, “desacoplamiento” y “circularidad”. La desmaterialización se refiere a la reducción absoluta o relativa en la cantidad de recursos utilizados y/o la cantidad de residuos generados en relación a la producción de una unidad de producción económica (Steinberger et al., 2013). El indicador generalmente utilizado para medir la desmaterialización es la *productividad de los recursos*, es decir la relación entre el Producto Interior Bruto (PIB) y el consumo doméstico de materiales (CDM) (Bianchi et al., 2021). Por otro lado, el desacoplamiento enfatiza una ruptura en el vínculo entre el consumo de recursos (o más bien la explotación del capital natural) y el crecimiento económico (OECD, 2002; Schandl et al., 2016). En este contexto, se puede diferenciar entre un desacoplamiento relativo, cuando la tasa de producción económica (generalmente próxima al producto interior bruto (PIB)) es más alta que la tasa de consumo de los recursos naturales, y un desacoplamiento absoluto, cuando la tasa de producción económica y la tasa de consumo de los recursos naturales tienen signos opuestos.

La Ilustración 2, donde se compara la evolución del PIB, CDM y PIB/CDM para la UE de 2000-2021, proporciona un claro ejemplo de estos indicadores. En términos de productividad de recursos, la UE ha tenido una senda claramente alcista a partir de 2008 hasta 2016. Sin embargo, este aumento se debió principalmente a la crisis económica y financiera que por un lado perjudicó fuertemente al sector de la construcción (que es el principal motor del consumo de materiales), mientras que por otro lado golpeó la base física de la economía (sectores primarios y secundarios) mucho más fuerte que el sector terciario, que está más desvinculado del consumo material. Como resultado la contracción en CDM fue mucho mas fuerte que la contracción en PIB, y tardó muchos más años en recuperarse. Por otro lado, en términos de desacoplamiento, en el período 2000-2007 el consumo de recursos ha sido prácticamente proporcional al crecimiento de la economía; posteriormente tuvimos algunos años de desacoplamiento relativo (2008-2009), seguidos de un período de desacoplamiento absoluto (2009-2013). Desde 2013, el ritmo de crecimiento económico y el consumo de recursos vuelven a estar claramente vinculados, aunque quizás con menor intensidad (es decir, desacoplamiento relativo).

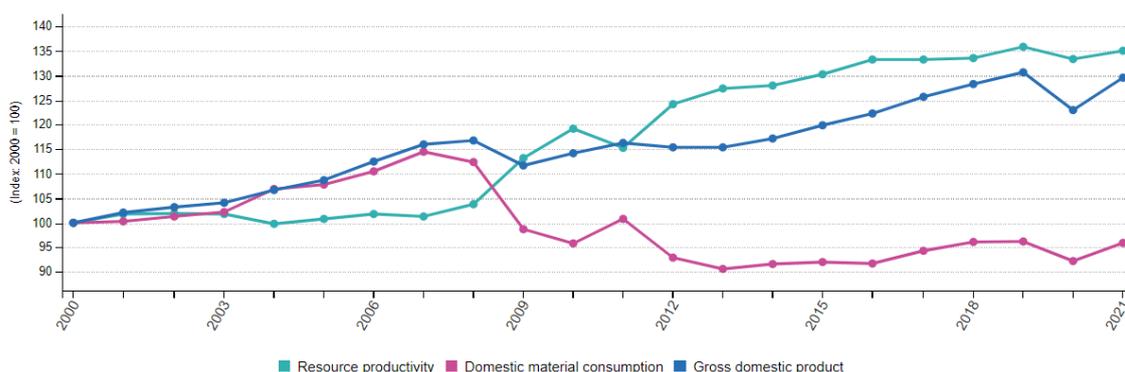


Ilustración 2: Productividad de los recursos en comparación con el PIB y el CDM, UE 2000-2021 (Fuente: Eurostat (online data code: nama\_10\_gdp, env\_ac\_mfa; env\_ac\_rp))

Una evidencia indiscutible de estos patrones es que nuestra economía está lejos de estar desmaterializada o desvinculada de la explotación de los recursos naturales. Las únicas excepciones en las que tuvimos una disminución en la explotación de recursos se debieron a recesiones o contracciones económicas (incluyendo la última debida a la pandemia CV19 en 2019-2020), las cuales claramente no son iniciativas propiciatorias para promover un desarrollo sostenible (Shao et al., 2017; Wu et al., 2019).

El reconocimiento de la necesidad de integrar un nuevo modelo económico, uno que sea menos derrochador y dañino para el medio ambiente, ha llamado la atención, más recientemente, sobre el concepto de *economía circular*. La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido (Bassi et al., 2020). De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende. En la práctica, implica reducir la extracción de recursos vírgenes y la generación de residuos al mínimo. Cuando un producto llega al final de su vida, sus materiales se mantienen dentro de la economía siempre que sea posible. Estos pueden ser productivamente utilizados una y otra vez, creando así un valor adicional. La economía circular contrasta con el modelo económico lineal tradicional, basado principalmente en el concepto “usar y tirar”, que requiere de grandes cantidades de materiales y energía baratos y de fácil acceso.

Uno de los indicadores principales para medir la transición hacia una economía circular es el “índice de uso de materiales circulares”, denominado tasa de circularidad. La tasa de circularidad, que también se calcula a partir de la contabilidad de flujos de materiales, mide la contribución de los materiales reciclados al uso general de materiales (Eurostat, 2018). La tasa de circularidad es la proporción de recursos materiales utilizados en la UE que proceden de materiales de desecho reciclados, evitando así la extracción de materias primas primarias. Una tasa de circularidad más alta significa que más materiales secundarios reemplazan las materias primas, lo que reduce los impactos ambientales de la extracción de material primario. En 2020, la tasa de circularidad de la UE alcanzó el 12,8 % (Ilustración 3). Esto significa que casi el 13 % de los recursos materiales utilizados en la UE proceden de materiales de desecho reciclados.

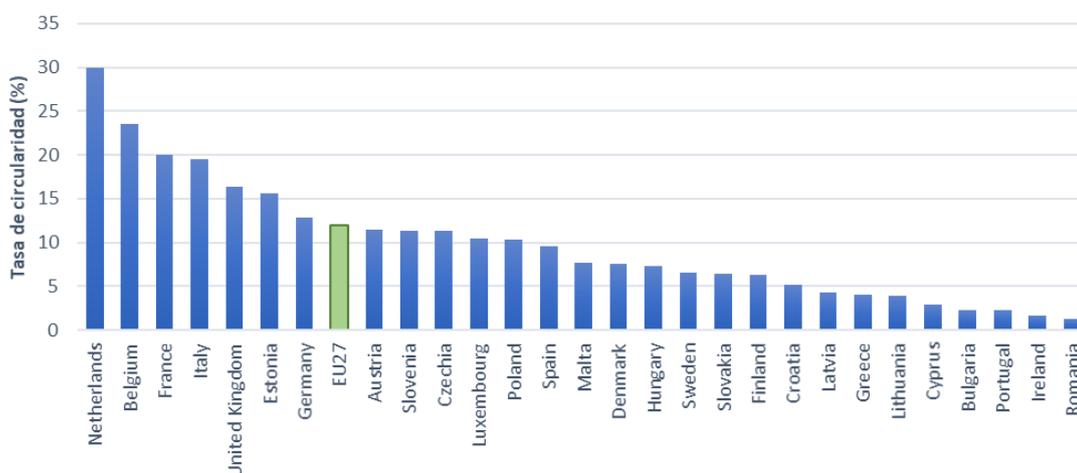


Ilustración 3: Comparación de la tasa de uso de material circular en los países europeos (dataset EUROSTAT env\_ac\_cur)

Sin embargo, a pesar del efecto beneficioso que una economía circular puede brindar (y está brindando) a nuestro sistema socioeconómico, también hay que evidenciar que este modelo está lejos de ser la solución a nuestro desarrollo insostenible. Como se destaca en hallazgos recientes, una economía circular tiene unos límites físicos muy claros (Bianchi & Cordella, 2023). Primero, hasta el 40% de las materias primas globales extraídas cada año se acumulan como existencias en uso, por ejemplo, edificios, infraestructuras y medios de transporte (Aguilar- Hernandez et al., 2021). En Europa, en 2019, la acumulación neta —es decir en uso— de material ascendió a 3,13 Gt, lo que representa alrededor del 54 % de la extracción primaria de recursos para el mismo año. Por lo tanto, es evidente que la extracción primaria seguirá siendo necesaria mientras las materias primas demandadas para las existencias en uso con una vida útil prolongada (por ejemplo, edificios e infraestructuras) excedan la cantidad de materiales que pueden suministrarse a partir de materiales reciclados. Segundo, una cantidad importante de los recursos extraídos, es decir, la mayoría de los recursos fósil y parte de la biomasa, no pueden contribuir a la circularidad, ya que se utilizan para proporcionar energía (Mayer

et al., 2019). En este sentido, también es importante recordar que el reciclaje, o en general los procesos de recuperación de materiales secundarios, también pueden consumir mucha energía y, por lo tanto, conducir al consumo de recursos de otros vectores energéticos. Por último, existe evidencia empírica de que el ahorro de recursos logrado por las iniciativas de economía circular representa solo una cuarta parte del consumo de recursos requerido cada año para respaldar el crecimiento económico (Bianchi & Cordella, 2023). Los resultados, si bien confirman que la búsqueda de sistemas más circulares puede conducir a un menor consumo de recursos naturales, también indican que una economía circular todavía tiene un efecto marginal con respecto a la demanda de recursos vinculados al crecimiento económico. En otras palabras, estamos lejos de estar seguros de que unas tasas más altas de reciclaje o circularidad reduzcan necesariamente la extracción de recursos primarios, ya que las tendencias globales, como el aumento del consumo, podrían compensar con creces las ganancias en circularidad. Por lo tanto, a menos que se revisen los patrones de crecimiento contemporáneos, las estrategias de economía circular podrían correr el riesgo de permanecer como una iniciativa más que no cambia el curso del actual desarrollo insostenible.

## **5. ESTRATEGIAS REGIONALES BASADAS EN EL LUGAR: LA CLAVE PARA FOMENTAR SISTEMAS CIRCULARES**

El discurso sobre el consumo eficiente y sostenible de los recursos, tanto en el ámbito académico como en la formulación de políticas, siempre ha girado predominantemente entorno al análisis nacional y sectorial (o industrial). Gracias a las comparaciones internacionales, hemos aprendido mucho sobre los impulsores agregados de la eficiencia de los recursos, pero sabemos relativamente poco sobre el papel que ejercen los lugares y las regiones en la definición de su propio desempeño de productividad. A pesar de la globalización, los territorios (es decir regiones y ciudades) aún exhiben notorias diferencias en especialización económica, competitividad, instituciones, culturas y patrimonios históricos generales. Tales diferencias, a menudo denominadas *capital territorial* (Castelnuovo et al., 2020; Morretta et al., 2020), dan forma a las economías regionales y, por lo tanto, contribuyen al éxito (o al fracaso) de nuevos modelos de economía circular (Bianchi, Cordella, et al., 2022; Tapia et al., 2021).

Si bien la rama de economía ecológica se ha centrado mayormente a nivel de países para estudiar el desempeño en la productividad de los recursos, la ciencia regional tiene una larga experiencia en la investigación de la multitud de dinamismos socioeconómicos que caracterizan de manera endógena el crecimiento económico y/o la productividad a nivel local. Los factores de producción se forman durante períodos históricos a través de interacciones dinámicas entre empresas e instituciones. Estos procesos a largo plazo determinan en última instancia la disponibilidad de infraestructuras, recursos y habilidades locales, por lo que configuran la capacidad de ciertas regiones para atraer tipos específicos de actividad económica más que otras. Como resultado, las economías regionales están influenciadas por una multiplicidad de condiciones estructurales y circunstancias contextuales, cuya contribución a los sistemas y redes nacionales y globales es altamente asimétrica. Los patrones de consumo de recursos naturales y, por tanto, la eficiencia de recursos, no son una excepción a esta regla. En todo caso, el vínculo entre la eficiencia de recursos y la dimensión territorial es aún más fuerte en comparación con la perspectiva puramente económica de productividad. De hecho, el componente físico de la eficiencia de recursos, es decir, el consumo y/o producción de bienes, responde necesariamente a los límites físicos de los territorios. Como ejemplo, las aglomeraciones urbanas y las zonas escasamente pobladas se comportarán de manera muy diferente en términos de consumo de recursos debido a sus estructuras productivas subyacentes. Del mismo modo, las regiones rurales presentarán desafíos muy diferentes para impulsar la eficiencia de recursos en comparación con las áreas aglomeradas, ya que carecen, por ejemplo, de la masa crítica para permitir esquemas de clasificación de desechos y/o modelos comerciales basados en servicios. En este contexto, se puede afirmar que no es del todo posible comprender e interpretar la relevancia de la distribución espacial de la eficiencia de recursos a menos que se consideren dichos activos territoriales y las condiciones estructurales relacionadas.

Uno de los hallazgos más importantes del estudio de la eficiencia de los recursos a nivel regional fue que la riqueza y la densidad de población impactan en la productividad de los recursos de manera considerablemente diferente en función de la especialización económica predominante de las economías regionales (Bianchi et al., 2021). Mayores niveles de riqueza impactan con un mayor grado las áreas que dependen de los sectores primario y secundario en comparación con las economías basadas en servicios. Por el contrario, las economías basadas en servicios tienden a capitalizar las ganancias de productividad de los recursos a través de la densificación urbana. Estos patrones podrían explicarse por la naturaleza intrínseca de las economías. De hecho, las regiones que hacen consumo intensivo de recursos son principalmente productoras y exportadoras de materias primas y manufacturas, por lo que un aumento de la riqueza repercutiría directamente en sus medios productivos. La producción se vería reforzada por un mayor acceso a los recursos financieros y, por tanto, a las mejoras tecnológicas. Por el contrario, un aumento del PIB en las economías terciarias tendría un impacto menor en la productividad de los recursos, ya que estas economías presentan una presencia bastante débil de actividades manufactureras y/o de extracción de materias primas. Por el contrario, la densidad de población presenta un efecto de palanca más alto en las regiones urbanas, donde las limitaciones de espacio limitan el despliegue de actividades intensivas en materiales y favorecen, en cambio, el desarrollo de economías fuertes orientadas a los servicios.

En este contexto, no es casualidad que el Pacto Verde Europeo haga particular referencia a la dimensión territorial para el análisis y el desarrollo de soluciones circulares. De hecho, los resultados algo limitados obtenidos con el primer plan de acción de Economía Circular (European Commission, 2015) dejaron claro que la implementación efectiva de soluciones circulares depende, en gran medida, de los activos específicos disponibles a nivel local y regional y que la replicabilidad de estos no es factible sin una comprensión precisa de los contextos locales. En este sentido, es fundamental que las estrategias sostenibles, y los sectores económicos involucrados en ellas, se definan y se apoyen en un análisis detallado de los contextos locales, es decir, que se definan las necesidades socioeconómicas a abordar, las dotaciones potenciales a explotar, los desafíos a abordar y, finalmente, las prioridades de intervención (Bianchi, Menger, et al., 2022). Identificar y comprender los recursos territoriales de las diferentes áreas se vuelve, por lo tanto, crucial para lograr una transición exitosa hacia una economía circular y, a su vez, explotar las diversas oportunidades que una economía circular puede brindar para lograr objetivos de desarrollo regional sostenible e inclusivo.

## **6. UNA REFLEXIÓN PARA EL FUTURO**

Existe una necesidad urgente de un nuevo paradigma que reconcilie el desarrollo de las sociedades humanas con la integridad de nuestro sistema natural de manera resiliente y estable. Alcanzar los ambiciosos objetivos del Acuerdo de París y, al mismo tiempo, respetar otras limitaciones ambientales y sociales requiere no solo reducciones rápidas de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), sino también la desvinculación del producto económico del consumo de recursos naturales, la contaminación y la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, la evidencia empírica demuestra todavía una fuerte relación entre el crecimiento económico (expresado en términos del PIB) y las emisiones de GEI, el uso de energía, la demanda de materias primas, tierras y otros recursos naturales, así como la contaminación. Las proyecciones indican que, con estas trayectorias de crecimiento, se requiere un desacoplamiento extremadamente desafiante.

Para responder a este complejo escenario, será importante mejorar la comprensión de la dinámica entre el crecimiento económico y la energía, el uso de materiales, la contaminación y la demanda de suelo. Así como avanzar en el conocimiento sobre el papel y el potencial que tienen los cambios en el estilo de vida y las medidas orientadas a la suficiencia en las estrategias hacia la neutralidad climática, mejorar su cuantificación y representación en marcos de modelado y explorar los aspectos socioeconómicos, culturales e institucionales, infraestructurales, y reglamentarias. Los proyectos más ambiciosos tendrán que buscar y estudiar modelos alternativos a los orientados al crecimiento tales como, entre otros, modelos económicos de decrecimiento, o de post-crecimiento (como la economía del bienestar), que podrían respaldar la transición hacia la neutralidad climática, y

analizar su viabilidad (Corlet Walker et al., 2021; Gomez-Baggethun, 2022). Asimismo, habrá que identificar y explorar las principales barreras y cuestionarse la viabilidad de dichos modelos. Por ejemplo: ¿Cuán plausible es que los formuladores de políticas los adopten? ¿Hay ejemplos en el mundo real? ¿Puede una región como Europa buscar enfoques alternativos unilateralmente? Por último, pero no menos importante, será clave considerar también el papel de las tendencias emergentes/potenciales como la digitalización, la circularidad, los cambios estructurales en la economía, la relocalización de las cadenas de valor, los eventos geopolíticos y los cambios en los valores sociales.

Para todo ello, la investigación futura tendrá que ir mucho más allá de conceptos generales y explorar –cuantificando cuando sea posible– las implicaciones prácticas, los beneficios, las barreras y las condiciones para obtener resultados sociales sólidos. Se espera que futuros proyectos adopten un enfoque verdaderamente interdisciplinario, aprovechando el conocimiento de las ciencias naturales, económicas y otras ciencias sociales para dar soporte a políticas capaces de cumplir múltiples objetivos ambientales, económicos y sociales simultáneamente, teniendo en cuenta las limitaciones relacionadas con la viabilidad y la aceptabilidad.

## 7. REFERENCIAS

- Aguilar- Hernandez, G. A., Deetman, S., Merciai, S., Rodrigues, J. F. D., & Tukker, A. (2021). Global distribution of material inflows to in- use stocks in 2011 and its implications for a circularity transition. *Journal of Industrial Ecology*, 25(6), 1447–1461. <https://doi.org/10.1111/jiec.13179>
- Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>
- Bardi, U. (2009). Peak oil: The four stages of a new idea. *Energy*, 34(3), 323–326. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.015>
- Bassi, Dr. A. M., Bianchi, Dr. M., Guzzetti, Mr. M., Pallaske, Mr. G., & Tapia, Dr. C. (2020). Improving the understanding of Circular Economy potential at territorial level using Systems Thinking. *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.028>
- Bianchi, M., & Cordella, M. (2023). Does circular economy mitigate the extraction of natural resources? Empirical evidence based on analysis of 28 European economies over the past decade. *Ecological Economics*, 203, 107607. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107607>
- Bianchi, M., Cordella, M., & Menger, P. (2022). Regional monitoring frameworks for the circular economy: implications from a territorial perspective. *European Planning Studies*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2057185>
- Bianchi, M., del Valle, I., & Tapia, C. (2021). Material productivity, socioeconomic drivers and economic structures: A panel study for European regions. *Ecological Economics*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106948>
- Bianchi, M., Menger, P., Fernandez F., I., Maleki, P., Rueda, F., Fuster F., E., Etminan, G., & Margolina, A. (2022). *Circular cities & regions initiative: methodology for the implementation of a circular economy at the local and regional scale*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/https://data.europa.eu/doi/10.2777/068045>
- Brown, M. T., & Ulgiati, S. (2011). Understanding the global economic crisis: A biophysical perspective. *Ecological Modelling*, 223(1), 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.019>
- Castelnuovo, P., Morretta, V., & Vecchi, M. (2020). Regional disparities and industrial structure: territorial capital and productivity in Italian firms. *Regional Studies*. <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1763941>
- Clift, R., & Druckman, A. (2015). Taking stock of industrial ecology. In *Taking Stock of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7>
- Corlet Walker, C., Druckman, A., & Jackson, T. (2021). Welfare systems without economic growth: A review of the challenges and next steps for the field. *Ecological Economics*, 186, 107066. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107066>

- European Commission. (2015). *An EU action plan for the circular economy*. European Commission. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF)
- European Commission. (2018). Raw Materials Scoreboard 2018. In *European Commission*. <https://doi.org/10.2873/13314>
- European Commission. (2019). The European Green Deal. *Official Journal of the European Union*. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)
- Eurostat. (2018). Circular material use rate. In *Statistical Office of the European Communities*. [http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=cei\\_srm030](http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=cei_srm030)
- EUROSTAT. (2018). *Economy-wide material flow accounts HANDBOOK*. <https://doi.org/10.2785/158567>
- Fischer-Kowalski, M., & Hüttler, W. (1998). Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, 2(4), 107–136. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.4.107>
- Gomez-Baggethun, E. (2022). Rethinking work for a just and sustainable future. *Ecological Economics*, 200, 107506. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107506>
- Mayer, A., Haas, W., Wiedenhofer, D., Krausmann, F., Nuss, P., & Blengini, G. A. (2019). Measuring Progress towards a Circular Economy: A Monitoring Framework for Economy-wide Material Loop Closing in the EU28. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 62–76. <https://doi.org/10.1111/jiec.12809>
- Meadows, D. H., Meadows, D., & Randers, J. (1972). *Limits to Growth*.
- Morretta, V., Syrett, S., & Ramirez, L. S. (2020). Territorial capital as a source of firm competitive advantage: evidence from the North and South of Italy. *European Planning Studies*. <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1722067>
- OECD. (2002). Indicators To Measure Decoupling of Environmental Pressure From Economic Growth. In *The OECD Environment Programme* (pp. 1–3).
- Pauliuk, S., & Hertwich, E. G. (2015). Socioeconomic metabolism as paradigm for studying the biophysical basis of human societies. *Ecological Economics*, 119, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.08.012>
- Pothen, F., & Welsch, H. (2019). Economic development and material use. Evidence from International Panel Data. *World Development*, 115, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.06.008>
- Schandl, H., Hatfield-Dodds, S., Wiedmann, T., Geschke, A., Cai, Y., West, J., Newth, D., Baynes, T., Lenzen, M., & Owen, A. (2016). Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions. *Journal of Cleaner Production*, 132, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.100>
- Shao, Q., Schaffartzik, A., Mayer, A., & Krausmann, F. (2017). The high ‘price’ of dematerialization: A dynamic panel data analysis of material use and economic recession. *Journal of Cleaner Production*, 167, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.158>
- Steinberger, J. K., Krausmann, F., Getzner, M., Schandl, H., & West, J. (2013). Development and Dematerialization: An International Study. *PLoS ONE*, 8(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070385>
- Tapia, C., Bianchi, M., Pallaske, G., & Bassi, A. M. (2021). Towards a territorial definition of a circular economy: exploring the role of territorial factors in closed-loop systems. *European Planning Studies*. <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1867511>
- UNEP. (2016). *Global Material Flows and Resource Productivity. An Assessment Study of the UNEP International Resource Panel*.
- Wu, Z., Schaffartzik, A., Shao, Q., Wang, D., Li, G., Su, Y., & Rao, L. (2019). Does economic recession reduce material use? Empirical evidence based on 157 economies worldwide. *Journal of Cleaner Production*, 214, 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.015>