



OBSERVATORIO DE INVESTIGACIÓN
ECONÓMICO-FINANCIERA



*Real Academia
de Ciencias Económicas y Financieras*

**SOSTENIBILIDAD EN EL
SECTOR ENERGÉTICO**
**CÁTEDRA UB-FUNDACIÓN MUTUA MADRILEÑA
SOBRE SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL**

Directora

Ana Maria Gil-Lafuente

Barcelona, 2025

SOSTENIBILIDAD EN EL SECTOR ENERGÉTICO

La realización de esta publicación
ha sido posible gracias a



con la colaboración de



Fundación "la Caixa"

con el patrocinio de



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Càtedra de Sostenibilitat
Empresarial

FUNDACIÓN
MUTUA MADRILEÑA



Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Observatorio de Investigación Económico-Financiera

Sostenibilidad en el sector energético / Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Bibliografía

ISBN-978-84-09-80999-8

- I. Título
- II. Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras
- III. Observatorio de Investigación Económica-Financiera

1.Economía 2.Sostenibilidad 3.Sector energético 4.Renovables 5.Estrategia 6.Digitalización

La Academia no se hace responsable de las opiniones científicas expuestas en sus propias publicaciones.

(Art. 41 del Reglamento)

Editora: ©2025 Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.

Imágenes de cubierta: ©www.freepik.es (www.magnific.com/es)

Fotografías internas: ©2025 Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Académica Coordinadora: Dra. Ana María Gil-Lafuente

ISBN-978-84-09-80999-8

Depósito Legal: B 25441-2005



Obra producida en el ámbito de la subvención concedida a la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Esta publicación no puede ser reproducida, ni total ni parcialmente, sin permiso previo, por escrito de la editora. Reservados todos los derechos.

Impreso y encuadernado en España por Ediciones Gráficas Rey, S.L.—c/Albert Einstein, 54 C/B, Nave 12-14-15
Cornellà de Llobregat—Barcelona

Impresión diciembre 2025



Esta publicación ha sido impresa en papel ecológico ECF libre de cloro elemental, para mitigar el impacto medioambiental

SOSTENIBILIDAD EN EL SECTOR ENERGÉTICO

Autores:

Jaime Gil Aluja
Ana Maria Gil-Lafuente
Josefa Boria-Reverter
Ignasi Nieto Magaldi
Lluís Amigué Molina
Mario Aguer Hortal

Editores:

Ana Maria Gil-Lafuente
Josefa Boria-Reverter

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA	11
1.1. La era de la energía: del carbón al hidrógeno verde	15
1.2. Concepto y dimensiones de la sostenibilidad energética.....	21
1.3. Energía y límites planetarios.....	26
1.4. El dilema energético global.....	31
CAPÍTULO 2. TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD GLOBAL	41
2.1. La idea de transición: de las revoluciones industriales al giro ecológico	42
2.2. Impulsores de la transición: tecnología, innovación y política climática	49
2.3. Herramientas para la descarbonización: políticas, mercados y fiscalidad	53
2.4. Dimensión social y geopolítica de la transición	59
CAPÍTULO 3. GOBERNANZA GLOBAL DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA	71
3.1. El régimen energético internacional: historia, crisis y transformación.....	74
3.2. Instituciones, alianzas y actores de la gobernanza energética	97
CAPÍTULO 4. ECONOMÍA Y TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL EN LA ERA POSTCARBONO	111
4.1. Fundamentos de la economía postcarbóno	113
4.2. Transformación industrial y tecnologías emergentes en la economía postcarbóno.....	120
4.3. Instrumentos económicos y financieros de la transición energética	124
4.4. Dimensión social y laboral de la transición energética.....	129
CAPÍTULO 5. MODELOS INSTITUCIONALES Y ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN TERRITORIAL DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA	141
5.1. Gobernanza multinivel de la sostenibilidad energética.....	142
5.2. Estrategias territoriales de implementación de la sostenibilidad energética	146

5.3. Análisis comparado de modelos regionales de transición energética	150
5.4. Dimensión democrática, legitimidad y justicia energética	154
CAPÍTULO 6. INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, DIGITALIZACIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA.....	163
6.1. La revolución digital en el sistema energético.....	165
6.2. Inteligencia artificial aplicada a la energía.....	171
6.3. Riesgos estructurales, dilemas éticos y sostenibilidad de la digitalización energética	175
6.4. Gobernanza, políticas públicas y futuro de la transición energética digital..	180
CAPÍTULO 7. ESTRATEGIAS, IMPLICACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DIGITAL	191
7.1. Estrategias para la implementación de la transición energética digital	192
7.2. Implicaciones económicas, empresariales y sociales de la transición energética digital.....	195
7.3. Tendencias emergentes y escenarios futuros de la energía digital	198
7.4. Recomendaciones estratégicas y líneas de actuación para una transición energética digital sostenible	201
CAPÍTULO 8. MESA REDONDA: LECCIONES Y DEBATES DEL EVENTO.....	209
CAPÍTULO 9. SÍNTESIS INTEGRADORA Y HORIZONTES FUTUROS DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA	233
9.1. Síntesis integradora: la energía como eje civilizatorio	233
9.2. Aproximación sistémica a la sostenibilidad energética y limitaciones del análisis	235
9.3. Líneas futuras de investigación.....	236
9.4. Reflexión final: la transición energética como proyecto civilizatorio.....	237
Referencias.....	239
Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras ...	249

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente

*Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona*

Dra. Josefa Boria-Reverter

*Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona*

El siglo XXI se ha inaugurado bajo una paradoja tan luminosa como inquietante: nunca antes la humanidad dispuso de tanta energía disponible, ni nunca antes su continuidad como proyecto civilizatorio dependió de forma tan decisiva de cómo la produce, la distribuye y la consume. La energía, entendida no solo como un insumo técnico sino como un flujo estructurante de la vida social, constituye el fundamento material de la economía, la organización política, la innovación tecnológica y, en última instancia, de la propia reproducción de las sociedades humanas (Smil, 2017). Sin embargo, ese mismo sistema energético que ha sustentado el progreso moderno se ha convertido en el principal vector de desestabilización del sistema Tierra.

Desde la Revolución Industrial, el desarrollo económico global ha estado estrechamente vinculado a la explotación intensiva de combustibles fósiles. El carbón primero, y posteriormente el petróleo y el gas natural, permitieron una expansión sin precedentes de la capacidad productiva, la movilidad, la urbanización y la complejidad tecnológica (Malm, 2016; Yergin, 2020). Esta transformación energética no solo incrementó la escala de la actividad humana, sino que alteró profundamente su metabolismo socioeconómico, desvinculándolo progresivamente de los ritmos naturales y anclándolo en un modelo basado en la extracción, el crecimiento continuo y la acumulación.

El resultado de este proceso ha sido ambivalente. Por un lado, el acceso a energía abundante y relativamente barata ha contribuido a mejoras significativas en indicadores de bienestar, como la esperanza de vida, la reducción de la pobreza extrema o el acceso a bienes y servicios básicos. Por otro lado, ha generado una acumulación de externalidades negativas de enorme magnitud: emisiones masivas de gases de efecto invernadero, degradación de ecosistemas, pérdida acelerada de biodiversidad, contaminación del aire y del agua, y una creciente vulnerabilidad frente a perturbaciones climáticas (IPCC, 2023; Rockström et al., 2009).

En este sentido, la crisis energética contemporánea no puede entenderse como un problema aislado o sectorial. Se trata de una manifestación central de una crisis civilizatoria más amplia, caracterizada por la superación de los límites biofísicos del planeta y por la incapacidad de los modelos económicos actuales para internalizar dichos límites (Steffen et al., 2015). La energía, en tanto que eje del metabolismo económico, se sitúa en el centro de esta pro-

blemática: es simultáneamente la condición de posibilidad del desarrollo y el principal origen de sus contradicciones.

En este contexto, la noción de sostenibilidad energética adquiere una relevancia estratégica. Lejos de constituir un concepto meramente técnico, la sostenibilidad energética implica una reconfiguración profunda de la relación entre sociedad, economía y naturaleza. Supone repensar no solo las fuentes de energía, sino también los patrones de producción y consumo, las estructuras institucionales, los marcos regulatorios y los valores culturales que sustentan el sistema energético global (Sovacool & Dworkin, 2015).

Desde una perspectiva conceptual, la sostenibilidad energética puede definirse como la capacidad de garantizar el acceso universal a servicios energéticos suficientes, fiables, asequibles y modernos, al tiempo que se minimizan los impactos ambientales y se promueve la equidad social tanto en el presente como en el futuro (IEA, 2023). Esta definición integra tres dimensiones fundamentales:

- La dimensión ambiental, que exige la reducción de emisiones y la preservación de los ecosistemas.
- La dimensión económica, que implica eficiencia, viabilidad y resiliencia del sistema energético.
- La dimensión social, que se centra en el acceso equitativo, la justicia energética y la reducción de desigualdades.

A estas dimensiones se añade una cuarta, de carácter institucional, relacionada con la gobernanza, la regulación y la capacidad de los sistemas políticos para gestionar la transición energética de manera efectiva y legítima (Kuzemko et al., 2020).

La sostenibilidad energética, por tanto, no puede abordarse desde una lógica unidimensional. Requiere un enfoque sistémico capaz de integrar múltiples escalas (local, nacional, global), múltiples actores (Estados, empresas, comunidades, organismos internacionales) y múltiples temporalidades (corto, medio y largo plazo). Esta complejidad convierte la transición energética en uno de los mayores desafíos de coordinación colectiva de la historia contemporánea.

Además, la transición energética se desarrolla en un contexto marcado por profundas asimetrías globales. Mientras que los países industrializados han construido su desarrollo sobre la base de un uso intensivo de combustibles fósiles, muchas economías en desarrollo enfrentan el doble desafío de expandir el acceso a la energía y hacerlo de manera sostenible. Esta situación plantea cuestiones fundamentales de justicia climática y responsabilidad histórica, que deben ser abordadas mediante mecanismos de cooperación internacional, transferencia tecnológica y financiación climática (Newell, 2019).

Por otro lado, la creciente digitalización de la economía introduce nuevas dinámicas en el sistema energético. La expansión de tecnologías como la inteligencia artificial, los centros de datos o las redes inteligentes incrementa la demanda energética, al tiempo que ofrece herramientas para mejorar la eficiencia y la gestión del sistema (IEA, 2022). Esta dualidad refuerza la necesidad de integrar la transición energética con la transformación digital, evitando que una refuerce las externalidades de la otra.

En este escenario, emergen nuevas narrativas sobre el futuro energético. Algunas enfatizan el potencial de la innovación tecnológica para resolver la crisis climática (tecnosolucionismo o solucionismo tecnológico), mientras que otras subrayan la necesidad de cambios estructurales en los modelos de consumo y en la organización económica (decrecimiento, economía del donut) (Raworth, 2017; Hickel, 2020). La coexistencia de estas perspectivas refleja que la transición energética no es un proceso lineal ni consensuado, sino un campo de disputa entre diferentes visiones del desarrollo.

Este capítulo se inscribe en este debate, con el objetivo de proporcionar un marco analítico riguroso para comprender los fundamentos de la sostenibilidad energética. En particular, se propone:

1. Analizar la evolución histórica de los sistemas energéticos, desde la biomasa hasta los vectores emergentes como el hidrógeno verde.
2. Definir el concepto de sostenibilidad energética desde una perspectiva multidimensional.
3. Examinar la relación entre energía y límites planetarios, destacando la necesidad de operar dentro de un espacio seguro para la humanidad.

4. Abordar el dilema energético global, caracterizado por la tensión entre crecimiento económico, equidad social y sostenibilidad ambiental.

Más allá de su dimensión analítica, este capítulo adopta una perspectiva normativa. Parte de la premisa de que la transición energética no es solo un desafío técnico o económico, sino también un proyecto ético y político. Se trata, en última instancia, de redefinir el contrato social y ecológico que vincula a la humanidad con el planeta.

En este sentido, la energía deja de ser concebida únicamente como un recurso o una mercancía, para ser entendida como un bien común esencial para la vida y el bienestar. Esta reconceptualización abre la puerta a modelos más democráticos y participativos de gobernanza energética, en los que los ciudadanos dejan de ser meros consumidores para convertirse en actores activos del sistema (prosumidores, comunidades energéticas).

Finalmente, la transición hacia la sostenibilidad energética plantea una cuestión fundamental: ¿es posible mantener los niveles actuales de desarrollo dentro de los límites planetarios, o es necesario replantear las bases mismas del modelo económico contemporáneo? Esta pregunta, lejos de tener una respuesta única, constituye el núcleo del debate energético del siglo XXI.

En definitiva, comprender la sostenibilidad energética implica reconocer que el sistema energético no es un elemento periférico, sino el eje estructurador de la civilización contemporánea. Su transformación no será un proceso incremental, sino una reconfiguración profunda de las bases materiales, institucionales y culturales de nuestras sociedades.

El apartado siguiente (1.1) abordará esta cuestión desde una perspectiva histórica, analizando la evolución de los sistemas energéticos desde la era del carbón hasta las actuales expectativas asociadas al hidrógeno verde, con el fin de identificar las continuidades, rupturas y desafíos que definen la transición energética contemporánea.

1.1. La era de la energía: del carbón al hidrógeno verde

El sistema energético contemporáneo es el resultado de una larga secuencia de transformaciones históricas que han redefinido, de manera sucesiva, la relación entre la humanidad, la tecnología y la naturaleza. Comprender la transición actual hacia modelos energéticos sostenibles exige, por tanto, adoptar una perspectiva histórica que permita identificar tanto las continuidades como las rupturas en el uso de las fuentes energéticas. La energía no ha sido únicamente un recurso funcional para la producción, sino un elemento estructurante de los sistemas económicos, de las configuraciones sociales y de los equilibrios ecológicos a lo largo del tiempo.

Desde la biomasa de las sociedades preindustriales hasta la consolidación del sistema fósil basado en carbón, petróleo y gas natural, cada etapa energética ha ampliado las capacidades humanas al tiempo que ha generado nuevas formas de dependencia y vulnerabilidad. En este sentido, la evolución energética no puede interpretarse como una simple sucesión de mejoras tecnológicas, sino como un proceso complejo en el que se entrelazan factores económicos, políticos, culturales y ambientales (Smil, 2017). La actual transición energética, a diferencia de las anteriores, no responde únicamente a criterios de eficiencia o disponibilidad de recursos, sino a la necesidad urgente de corregir los desequilibrios ecológicos generados por el propio modelo energético dominante.

En este contexto, el tránsito desde la era del carbón hacia nuevas formas de energía limpia, entre ellas, el hidrógeno verde, representa un punto de inflexión histórico. Este cambio no implica únicamente la sustitución de unas fuentes por otras, sino la reconfiguración del conjunto del sistema energético, incluyendo sus infraestructuras, sus instituciones y sus patrones de consumo. Asimismo, plantea interrogantes fundamentales sobre la viabilidad de mantener los actuales niveles de demanda energética dentro de los límites biofísicos del planeta.

El presente apartado analiza esta evolución desde una perspectiva integrada, articulando el recorrido histórico del sistema energético con los desafíos contemporáneos de la transición. En primer lugar, se examina el papel

de las distintas fuentes energéticas en la configuración de la modernidad industrial. En segundo lugar, se abordan las limitaciones del modelo fósil y sus implicaciones ambientales y sociales. Finalmente, se explora el potencial y las contradicciones de las nuevas soluciones energéticas, con especial atención al hidrógeno verde como símbolo y herramienta de la transición energética actual.

1.1.1. Energía y transformación civilizatoria: de la biomasa al sistema fósil

La historia de la humanidad puede leerse, en gran medida, como la historia de sus transiciones energéticas. Cada cambio en las fuentes y formas de uso de la energía ha implicado transformaciones profundas en la organización social, la estructura económica y la relación con el entorno natural. En este sentido, la energía no constituye únicamente un insumo productivo, sino el fundamento material sobre el cual se construyen las civilizaciones (Smil, 2017).

Durante milenios, las sociedades humanas dependieron de sistemas energéticos de baja densidad, basados principalmente en la biomasa (leña, residuos agrícolas), la fuerza humana y animal, así como en fuentes naturales como el viento y el agua. Estos sistemas estaban profundamente condicionados por los límites ecológicos locales, lo que restringía la escala de la producción y la complejidad de las estructuras sociales (Malm, 2016). La economía preindustrial estaba, por tanto, estrechamente vinculada a los ciclos naturales y a la disponibilidad territorial de recursos.

La ruptura de este equilibrio se produjo con la Revolución Industrial, cuando el carbón emergió como fuente energética dominante. Su elevada densidad energética y su capacidad de almacenamiento permitieron desacoplar parcialmente la producción de los condicionantes naturales, facilitando la mecanización del trabajo y el desarrollo de la industria moderna. La máquina de vapor, alimentada por carbón, no solo incrementó la productividad, sino que transformó radicalmente el metabolismo social, dando lugar a un nuevo modelo económico basado en el crecimiento continuo (Malm, 2016).

Este cambio energético marcó el inicio de lo que puede denominarse el “metabolismo fósil”: un sistema en el que la energía se obtiene mediante la extracción intensiva de recursos no renovables del subsuelo. Este modelo permitió una expansión sin precedentes de la actividad económica, pero también introdujo una dinámica de explotación ambiental acumulativa. Las ciudades industriales del siglo XIX, caracterizadas por altos niveles de contaminación y condiciones laborales precarias, fueron una manifestación temprana de estas contradicciones.

A lo largo del siglo XX, el petróleo sustituyó progresivamente al carbón como eje central del sistema energético. Su mayor densidad energética, su facilidad de transporte y su versatilidad lo convirtieron en el combustible fundamental del transporte, la industria y la economía global (Yergin, 2020). El desarrollo del automóvil, la aviación y las cadenas globales de suministro consolidaron un modelo energético altamente dependiente de los combustibles fósiles.

El gas natural, incorporado de forma masiva en la segunda mitad del siglo XX, fue inicialmente percibido como una alternativa más limpia. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que las fugas de metano asociadas a su extracción y transporte reducen significativamente sus beneficios climáticos (Howarth & Jacobson, 2021), cuestionando su papel como “energía de transición”.

En conjunto, la evolución del sistema energético desde la biomasa hasta los combustibles fósiles ha estado marcada por una tendencia hacia fuentes cada vez más concentradas, eficientes y globalmente distribuidas. No obstante, este proceso también ha generado una creciente dependencia de recursos finitos y ha contribuido de manera decisiva a la crisis ambiental contemporánea.

Si bien el gas natural actúa como tecnología puente para sustituir al carbón de forma inmediata, su viabilidad técnica y ética está condicionada a la mitigación de fugas de metano y a su sustitución progresiva por gases renovables (biometano o hidrógeno verde) para evitar el bloqueo de emisiones (carbon lock-in).

1.1.2. La era fósil y sus límites: crecimiento, desigualdad y crisis ecológica

El modelo energético fósil ha sido el principal motor del crecimiento económico moderno. Entre mediados del siglo XIX y principios del siglo XXI, el consumo global de energía se multiplicó exponencialmente, acompañando el desarrollo industrial, la urbanización y la mejora de numerosos indicadores de bienestar (Ritchie & Roser, 2023). Sin embargo, este crecimiento ha estado asociado a una serie de externalidades negativas que cuestionan su sostenibilidad a largo plazo.

Uno de los impactos más significativos del modelo fósil es el cambio climático. La combustión de carbón, petróleo y gas natural ha generado una acumulación masiva de gases de efecto invernadero en la atmósfera, alterando el equilibrio térmico del planeta. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023), el sector energético es responsable de aproximadamente el 73 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, lo que lo convierte en el principal foco de intervención para la mitigación climática.

A ello se suman otros impactos ambientales, como la contaminación atmosférica, responsable de millones de muertes prematuras cada año, la degradación de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y la acidificación de los océanos. Estos efectos reflejan la existencia de límites biofísicos que el modelo actual ha sobrepasado o está en riesgo de superar (Rockström et al., 2009; Richardson et al., 2023).

El sistema energético fósil también ha generado profundas desigualdades a nivel global. Mientras que los países del Norte global han concentrado históricamente el consumo energético y los beneficios del desarrollo industrial, muchos países del Sur global han asumido los costos ambientales y sociales de la extracción de recursos (Martínez-Alier, 2020). Esta asimetría ha dado lugar a lo que algunos autores denominan “colonialismo energético”, una forma de desigualdad estructural en la que los impactos negativos se externalizan hacia regiones periféricas.

Además, la dependencia de los combustibles fósiles ha configurado un sistema geopolítico altamente inestable, marcado por conflictos por el control

de los recursos, volatilidad de precios y vulnerabilidad energética. Las crisis del petróleo del siglo XX y las tensiones actuales en torno al suministro energético evidencian la fragilidad de este modelo.

A pesar del avance de las energías renovables, la transición hacia un sistema energético sostenible se enfrenta a importantes barreras. Entre ellas destacan las inercias institucionales, las inversiones en infraestructuras fósiles y los intereses económicos asociados a este modelo. Este fenómeno, conocido como “lock-in”, dificulta la adopción de alternativas más sostenibles (Unruh, 2000).

En este contexto, la transición energética contemporánea se presenta como una necesidad histórica. Sin embargo, a diferencia de las transiciones anteriores, impulsadas por la eficiencia o la disponibilidad de recursos, la actual transición responde a la urgencia de evitar un colapso ecológico. Esto implica no solo un cambio tecnológico, sino una transformación profunda de los sistemas económicos y sociales.

1.1.3. La transición hacia las energías renovables: oportunidades, límites y cambio de paradigma

En el marco de esta transformación, el hidrógeno verde ha emergido como uno de los elementos más relevantes del nuevo paradigma energético. Producido mediante electrólisis del agua utilizando electricidad procedente de fuentes renovables, el hidrógeno se presenta como un vector energético capaz de almacenar y transportar energía limpia, contribuyendo a la descarbonización de sectores difíciles de electrificar.

Su potencial radica en varias características clave. En primer lugar, su uso no genera emisiones directas de CO₂, lo que lo convierte en una alternativa atractiva para la industria pesada, el transporte marítimo y la aviación. En segundo lugar, su capacidad de almacenamiento permite gestionar la intermitencia de las energías renovables, facilitando la integración de sistemas energéticos más flexibles y descentralizados (IRENA, 2022).

No obstante, el hidrógeno verde enfrenta importantes desafíos. Su producción requiere grandes cantidades de electricidad renovable, lo que plantea

problemas de eficiencia energética y disponibilidad de recursos. Además, su almacenamiento y transporte requieren infraestructuras específicas, cuyo desarrollo implica elevados costes económicos.

Desde el punto de vista económico, el hidrógeno verde sigue siendo significativamente más caro que el hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles. Aunque se espera una reducción de costes en las próximas décadas, su competitividad dependerá en gran medida de políticas públicas, incentivos económicos y avances tecnológicos (IRENA, 2023).

Asimismo, su sostenibilidad debe evaluarse de manera integral. La producción de hidrógeno requiere grandes cantidades de agua, lo que puede generar tensiones en regiones con escasez hídrica (Lin et al., 2025). Además, la extracción de minerales necesarios para las tecnologías asociadas puede reproducir dinámicas extractivistas similares a las del modelo fósil.

En este sentido, el hidrógeno verde no puede considerarse una solución aislada, sino parte de una estrategia más amplia que incluya la electrificación directa, la eficiencia energética y la reducción del consumo. Como señalan diversos autores, el riesgo del tecnosolucionismo radica en confiar excesivamente en la innovación tecnológica sin abordar las causas estructurales de la insostenibilidad (Hickel, 2020).

Desde una perspectiva histórica, la transición hacia el hidrógeno verde representa más que un cambio tecnológico: simboliza la posibilidad de una nueva relación entre energía, sociedad y naturaleza. A diferencia de las transiciones anteriores, orientadas a maximizar la disponibilidad energética, la transición actual debe orientarse a garantizar su sostenibilidad.

En última instancia, el desafío del siglo XXI no consiste únicamente en sustituir unas fuentes energéticas por otras, sino en redefinir el propio concepto de desarrollo. La nueva era energética deberá basarse en principios de suficiencia, resiliencia y justicia, integrando las dimensiones ambiental, social y económica de la sostenibilidad.

1.2. Concepto y dimensiones de la sostenibilidad energética

La sostenibilidad energética constituye uno de los conceptos más complejos, dinámicos y estratégicos dentro del debate contemporáneo sobre desarrollo sostenible. Lejos de ser una noción puramente técnica o ambiental, se trata de un marco analítico que articula múltiples dimensiones, ecológicas, económicas, sociales e institucionales, en torno a un mismo desafío: garantizar que los sistemas energéticos actuales y futuros sean compatibles con los límites biofísicos del planeta y con los principios de equidad inter e intrageneracional.

El origen conceptual de la sostenibilidad energética se encuentra en la evolución del paradigma del desarrollo sostenible, particularmente a partir del Informe Brundtland (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987), que introdujo la idea de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras. Sin embargo, al trasladar este principio al ámbito energético, su complejidad se multiplica, ya que la energía atraviesa de manera transversal prácticamente todas las esferas de la vida social: producción, transporte, alimentación, salud, educación, urbanismo y comunicación.

En este sentido, la energía no puede entenderse como un sector aislado, sino como una infraestructura sistémica que condiciona el funcionamiento global de las sociedades contemporáneas. Como señalan Sovacool y Dworkin (2015), la energía constituye “la base material de la justicia social moderna”, lo que implica que cualquier transformación energética tiene consecuencias profundas sobre la distribución del bienestar, el poder y las oportunidades.

La sostenibilidad energética, por tanto, no puede reducirse a la sustitución de fuentes fósiles por energías renovables. Se trata de un concepto multidimensional que exige equilibrar simultáneamente objetivos potencialmente conflictivos: descarbonización ambiental, viabilidad económica, equidad social y gobernanza efectiva. Esta tensión entre dimensiones explica por qué no existe una única definición universalmente aceptada, sino un conjunto de aproximaciones complementarias.

De forma sintética, puede definirse la sostenibilidad energética como: La capacidad de un sistema energético de proporcionar servicios energéticos adecuados, fiables y asequibles de manera ambientalmente compatible, económicamente viable, socialmente equitativa e institucionalmente gobernable (IEA, 2022; Cherp et al., 2018).

Esta definición implica una consecuencia fundamental: ningún sistema energético puede considerarse sostenible si optimiza una dimensión a costa de deteriorar las demás. Una energía limpia pero inaccesible no es sostenible; una energía barata pero contaminante tampoco; una energía renovable que reproduce desigualdades o impactos territoriales severos, menos aún.

A partir de esta premisa, este apartado desarrolla las principales dimensiones de la sostenibilidad energética, entendidas no como compartimentos estancos, sino como componentes interdependientes de un mismo sistema.

1.2.1. Dimensión ambiental: límites ecológicos y análisis de ciclo de vida

La dimensión ambiental constituye el núcleo más visible y, en muchos casos, el punto de partida del concepto de sostenibilidad energética. El sistema energético global ha sido históricamente el principal responsable de la alteración del clima, la contaminación atmosférica y la degradación de ecosistemas (IPCC, 2023). En consecuencia, cualquier transición hacia la sostenibilidad debe implicar una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero y de los impactos ambientales asociados.

No obstante, reducir la sostenibilidad ambiental a la descarbonización constituye una simplificación insuficiente. La evidencia científica reciente ha demostrado que incluso las tecnologías consideradas “limpias”, como la energía solar o eólica, generan impactos significativos a lo largo de su ciclo de vida: uso intensivo de materiales, ocupación de suelo, generación de residuos tecnológicos o presión sobre recursos hídricos (Turconi et al., 2013; IEA, 2023).

Por ello, el enfoque contemporáneo de la sostenibilidad energética exige incorporar el análisis de ciclo de vida (Life Cycle Assessment, LCA), que

permite evaluar los impactos ambientales desde la extracción de materias primas hasta el desmantelamiento y reciclaje de las infraestructuras energéticas. Este enfoque evita lo que se denomina “desplazamiento de impactos”: reducir emisiones en una fase del sistema mientras se generan daños en otra.

Un ejemplo paradigmático es la minería de materiales críticos para tecnologías renovables (como litio, cobalto o tierras raras), que puede generar contaminación, conflictos sociales y degradación ambiental si no se regula adecuadamente (Ali et al., 2022). Esto pone de manifiesto que la transición energética no está exenta de tensiones ecológicas, sino que las reconfigura.

En este contexto, la sostenibilidad ambiental exige tres principios fundamentales:

- Descarbonización profunda del sistema energético
- Minimización de impactos ecológicos a lo largo del ciclo de vida
- Integración dentro de los límites planetarios (Rockström et al., 2009)

La sostenibilidad ambiental, por tanto, no consiste únicamente en producir energía con bajas emisiones, sino en hacerlo sin comprometer la integridad de los sistemas ecológicos que sostienen la vida.

1.2.2. Dimensión económica: eficiencia, viabilidad y resiliencia sistémica

La dimensión económica de la sostenibilidad energética se refiere a la capacidad del sistema energético para ser viable, eficiente y resiliente a largo plazo. Tradicionalmente, el análisis económico de la energía se ha centrado en variables como el precio, la oferta y la rentabilidad. Sin embargo, este enfoque ha sido ampliamente criticado por ignorar los costes externos asociados al modelo energético fósil.

El Informe Stern (2007) constituye un punto de inflexión en este sentido, al demostrar que los costes de no actuar frente al cambio climático pueden ser significativamente superiores a los costes de la mitigación. Esta conclusión ha impulsado la necesidad de internalizar las externalidades negativas mediante instrumentos como impuestos al carbono, mercados de emisiones o subsidios a tecnologías limpias.

En este marco, la eficiencia energética emerge como un principio central: producir más valor con menor consumo de energía y materiales. No obstante, la eficiencia por sí sola no garantiza sostenibilidad, ya que puede generar efectos rebote si no se acompaña de cambios estructurales en el sistema económico.

Además, la transición energética abre nuevas oportunidades económicas. El desarrollo de energías renovables, almacenamiento, digitalización, movilidad eléctrica y nuevas cadenas de valor (como el hidrógeno verde) está generando mercados emergentes, empleo verde e innovación tecnológica (IRENA, 2023).

Sin embargo, la sostenibilidad económica no debe confundirse con la mera reducción de costes. Un sistema energético sostenible debe ser:

- Estable frente a shocks geopolíticos
- Accesible para los consumidores
- Capaz de sostener inversiones a largo plazo
- Compatible con una economía baja en carbono

En este sentido, indicadores como el LCOE (Levelized Cost of Energy) han sido ampliamente utilizados, aunque presentan limitaciones al no incorporar externalidades sociales y ambientales (Pfenninger, 2017). Las nuevas aproximaciones apuntan hacia métricas integradas que consideren simultáneamente eficiencia, impacto y equidad.

1.2.3. Dimensión social e institucional: equidad, justicia energética y gobernanza

La sostenibilidad energética no puede entenderse sin su dimensión social. La energía no es solo un recurso técnico, sino un factor determinante del bienestar, la salud y la inclusión social. En este contexto, el acceso universal a servicios energéticos modernos constituye una condición esencial de sostenibilidad, tal como recoge el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7.

La pobreza energética, entendida como la incapacidad de acceder a servicios energéticos adecuados, sigue afectando a cientos de millones de personas en el mundo (World Bank, 2022). Este fenómeno no solo implica carencias materiales, sino también limitaciones en educación, salud y participación económica.

Más allá del acceso, la dimensión social incorpora el concepto de justicia energética, que analiza la distribución de beneficios y cargas dentro del sistema energético. Según Sovacool et al., (2022), esta justicia se articula en tres dimensiones:

- Distribución equitativa de costes y beneficios
- Reconocimiento de comunidades afectadas
- Participación en la toma de decisiones

En este sentido, una transición energética puede ser técnicamente exitosa pero socialmente injusta si reproduce desigualdades territoriales, exclusión o conflictos socioambientales.

Por otra parte, la dimensión institucional resulta clave para articular todas las anteriores. Ningún sistema energético sostenible puede consolidarse sin marcos regulatorios estables, políticas coherentes y mecanismos de gobernanza efectivos. Como señalan Cherp et al., (2018), la sostenibilidad energética depende más de la calidad de las instituciones que de la disponibilidad de recursos.

La gobernanza energética implica:

- Coordinación entre sectores (energía, transporte, industria, agua)
- Integración de políticas a diferentes escalas (local, nacional, global)
- Transparencia y participación pública
- Capacidad de adaptación institucional

En este contexto, la transición energética debe entenderse como un proceso político y social, no solo tecnológico. La innovación institucional (tarifas

dinámicas, comunidades energéticas, regulación del autoconsumo) es tan importante como la innovación tecnológica.

Por todo ello se puede considerar que la sostenibilidad energética es, en esencia, un concepto de equilibrio. Su complejidad radica en la necesidad de integrar simultáneamente dimensiones que, en muchos casos, presentan tensiones entre sí. No se trata de optimizar una variable, sino de articular un sistema coherente capaz de sostenerse en el tiempo.

Este enfoque multidimensional permite comprender que la transición energética no es simplemente un cambio de fuentes, sino una transformación estructural del modelo de desarrollo. Como señala Sachs (2021), la sostenibilidad implica reconciliar eficiencia técnica, justicia social y límites ecológicos.

En consecuencia, la evaluación de cualquier tecnología o política energética debe realizarse desde esta perspectiva integrada. Solo así será posible avanzar hacia un sistema energético que no solo sea bajo en carbono, sino también justo, resiliente y compatible con el futuro del planeta.

1.3. Energía y límites planetarios

La sostenibilidad energética no puede comprenderse de manera aislada del sistema biofísico que sustenta la vida en la Tierra. Toda forma de producción, transformación y consumo de energía implica flujos de materia y energía que interactúan directamente con los grandes ciclos ecológicos del planeta. En este sentido, el sistema energético constituye uno de los principales vectores de presión sobre la biosfera, actuando como un puente entre la actividad socioeconómica y los procesos naturales.

El marco de los límites planetarios (planetary boundaries), ofrece una herramienta conceptual fundamental para analizar estas interacciones. Este enfoque identifica los umbrales críticos dentro de los cuales la humanidad puede desarrollarse sin provocar alteraciones irreversibles en el sistema Tierra (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015).

Desde esta perspectiva, la sostenibilidad energética no se limita a reducir emisiones o mejorar la eficiencia, sino que implica garantizar que el metabo-

lismo energético de la sociedad se mantenga dentro de un espacio operativo seguro. Esto supone reconocer que el planeta no es un sistema ilimitado, sino un sistema finito con capacidades de regeneración restringidas y con dinámicas no lineales.

El sector energético aparece, en este contexto, como un nodo crítico: es responsable de la mayor parte de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, pero también incide en el uso del suelo, el consumo de agua, la extracción de materiales, la pérdida de biodiversidad y la contaminación química. Por ello, cualquier transición energética debe evaluarse no solo en términos de carbono, sino en relación con el conjunto de límites ecológicos.

1.3.1. El sistema energético dentro de los límites planetarios

El concepto de límites planetarios introduce una idea fundamental: la actividad humana está sujeta a restricciones biofísicas que no pueden ser ignoradas sin comprometer la estabilidad del planeta. En su formulación original (Rockström et al., 2009), se identificaron nueve procesos críticos, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad o la alteración de los ciclos del nitrógeno y fósforo, que definen el espacio operativo seguro para la humanidad.

El sistema energético interactúa directa o indirectamente con prácticamente todos estos límites. No solo es responsable de la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también influye en el uso del suelo, el consumo de agua, la extracción de recursos y la contaminación química. Esto convierte a la energía en un elemento transversal del sistema terrestre.

En la actualidad, varios de estos límites ya han sido sobrepasados, lo que indica que el modelo energético vigente no es compatible con la estabilidad ecológica a largo plazo. Esta constatación tiene implicaciones profundas: la sostenibilidad energética no puede entenderse como una mejora marginal del sistema existente, sino como una transformación estructural del metabolismo socioeconómico.

El cambio climático constituye el límite más directamente vinculado a la energía. La dependencia histórica de los combustibles fósiles ha generado una

acumulación masiva de gases de efecto invernadero, alterando el equilibrio climático global. Sin embargo, centrar el análisis exclusivamente en el carbono resulta insuficiente. El sistema energético también ejerce presión sobre otros límites, como la biodiversidad, el agua o los ciclos biogeoquímicos.

Por ello, la transición energética debe abordarse desde una perspectiva sistémica. No se trata únicamente de sustituir fuentes fósiles por renovables, sino de rediseñar el conjunto del sistema para que funcione dentro de los límites ecológicos. Esto implica considerar no solo las emisiones, sino también los flujos materiales, el uso del territorio y las interacciones entre sectores.

1.3.2. Interdependencias materiales: energía, recursos y ecosistemas

El sistema energético global depende de manera intensiva de recursos naturales, lo que genera una compleja red de interdependencias entre energía, agua, suelo y materiales. Este entramado se conoce como nexo agua–energía–alimentos y pone de relieve que las decisiones energéticas tienen efectos que trascienden el propio sector.

Las formas tradicionales de producción energética, especialmente las basadas en combustibles fósiles y centrales térmicas, requieren grandes cantidades de agua para su funcionamiento. Al mismo tiempo, la expansión de nuevas tecnologías energéticas, como las renovables o el hidrógeno verde, introduce nuevas demandas sobre el territorio y los recursos hídricos.

Por ejemplo, la producción de hidrógeno verde, a pesar de su potencial descarbonizador, requiere volúmenes significativos de agua, lo que puede generar tensiones en regiones con escasez hídrica. De manera similar, la expansión de parques solares y eólicos implica una ocupación creciente del territorio, con posibles impactos sobre ecosistemas y usos del suelo.

A esto se añade la creciente dependencia de materiales críticos. La transición energética requiere grandes cantidades de minerales como litio, cobalto, níquel o cobre, cuya extracción conlleva impactos ambientales y sociales relevantes: degradación de ecosistemas, consumo de agua, generación de residuos y conflictos con comunidades locales.

Este fenómeno plantea una paradoja central: una transición orientada a reducir emisiones puede, si no se gestiona adecuadamente, generar nuevas formas de presión ecológica. Por ello, la sostenibilidad energética debe integrar la dimensión material, incorporando principios de economía circular, reciclaje y eficiencia en el uso de recursos.

Asimismo, el sistema energético incide directamente sobre la biodiversidad. La construcción de infraestructuras, incluso en el ámbito de las energías renovables, puede fragmentar hábitats, alterar corredores ecológicos y afectar a especies vulnerables. Esto obliga a incorporar criterios de planificación ecológica en el desarrollo energético, priorizando soluciones que minimicen el impacto territorial.

En conjunto, estas interdependencias muestran que la energía no puede analizarse de forma aislada. Es un sistema profundamente integrado en la dinámica ecológica del planeta, y su transformación debe abordarse desde una lógica sistémica e interdisciplinar.

Esta realidad plantea una paradoja fundamental: la infraestructura necesaria para una energía ‘limpia’ posee una huella material significativamente mayor que la fósil. Por tanto, la sostenibilidad energética no debe definirse únicamente por la reducción de emisiones de CO₂, sino por una gestión circular y austera de la litosfera.

1.3.3. Sostenibilidad energética en un planeta finito: hacia la resiliencia y la suficiencia

La existencia de límites planetarios implica una conclusión fundamental: el crecimiento indefinido del consumo energético no es compatible con un planeta finito. Esta constatación obliga a replantear los fundamentos del modelo energético y, en un sentido más amplio, del modelo de desarrollo.

Tradicionalmente, la sostenibilidad energética se ha asociado a la mejora de la eficiencia y al despliegue de tecnologías limpias. Sin embargo, aunque estos elementos son necesarios, no son suficientes. La evidencia muestra que las mejoras tecnológicas pueden verse compensadas por el aumento del consumo total, fenómeno conocido como efecto rebote.

Por ello, la sostenibilidad energética requiere incorporar una lógica de suficiencia. No se trata únicamente de producir energía de forma más limpia, sino de cuestionar cuánta energía es realmente necesaria para garantizar el bienestar humano. Este enfoque implica avanzar hacia modelos de consumo más moderados, eficientes y equitativos.

Al mismo tiempo, los sistemas energéticos deben adaptarse a un contexto de creciente inestabilidad climática. Los eventos extremos (olas de calor, sequías o inundaciones) afectan directamente a la infraestructura energética y ponen en riesgo la seguridad del suministro. En este contexto, la resiliencia se convierte en un componente esencial de la sostenibilidad.



Esto requiere avanzar hacia sistemas más diversificados, descentralizados y flexibles, apoyados en redes inteligentes y en una mayor integración de fuentes renovables.

La sostenibilidad energética implica una transformación cultural y política. No basta con cambiar tecnologías; es necesario redefinir las prioridades sociales, los modelos de consumo y los criterios de bienestar. En lugar de maximizar la producción y el consumo de energía, el objetivo debe ser optimizar su uso en función de las necesidades humanas y los límites ecológicos

Es importante diferenciar entre el uso de la tecnología como palanca de cambio y el tecnosolucionismo. Este último se define como la creencia de que los problemas sociales y ecológicos complejos pueden resolverse exclusivamente mediante innovaciones técnicas, ignorando las dimensiones políticas

y de comportamiento. Por ello, se defiende una transición tecnológicamente avanzada, pero políticamente consciente y socialmente justa.

El análisis de la relación entre energía y límites planetarios revela que la sostenibilidad energética es, en esencia, un problema de escala y de compatibilidad ecológica. El sistema energético actual ha superado varios de los umbrales que garantizan la estabilidad del planeta, lo que hace imprescindible una transformación profunda.

Esta transformación no puede limitarse a la descarbonización. Debe integrar una visión más amplia que incluya la gestión de recursos, la protección de ecosistemas, la reducción de la demanda y la adaptación a un entorno cambiante.

En última instancia, la sostenibilidad energética exige un cambio de paradigma: pasar de un modelo basado en la expansión ilimitada a uno orientado a la suficiencia, la resiliencia y el equilibrio con la biosfera. Solo así será posible garantizar un sistema energético que no comprometa las bases materiales de la vida en el planeta.

1.4. El dilema energético global

El sistema energético contemporáneo se encuentra atravesado por una tensión estructural difícil de resolver: la necesidad de garantizar acceso universal a la energía y sostener aspiraciones crecientes de bienestar, sin rebasar los límites ecológicos del planeta ni reproducir desigualdades históricas. Este conflicto constituye el núcleo del dilema energético global y atraviesa tanto las dinámicas económicas como las decisiones políticas, tecnológicas y éticas del siglo XXI.

A lo largo de las últimas décadas, el crecimiento económico ha estado estrechamente vinculado al aumento del consumo energético. Aunque se han producido mejoras en eficiencia y una expansión significativa de las energías renovables, estas transformaciones no han logrado desacoplar de manera plena el bienestar material de la presión ambiental. Al mismo tiempo, persisten déficits estructurales en el acceso a servicios energéticos modernos, especialmente en regiones del Sur global y en colectivos vulnerables dentro de economías desarrolladas.

Esta coexistencia entre sobreconsumo y carencia revela que el problema energético no es únicamente una cuestión de producción o tecnología, sino de distribución, gobernanza y finalidad. En este contexto, la sostenibilidad energética no puede entenderse sin incorporar una reflexión profunda sobre la justicia, el poder y los límites biofísicos del planeta.

1.4.1. Desigualdad energética y justicia distributiva

La desigualdad en el acceso a la energía constituye una de las manifestaciones más persistentes de la desigualdad global. Mientras en algunas regiones el consumo energético per cápita alcanza niveles elevados y permite sostener estilos de vida intensivos en energía, en otras zonas millones de personas carecen todavía de acceso fiable a electricidad, calefacción, refrigeración o combustibles limpios para cocinar.

Esta brecha no solo se produce entre países, sino también dentro de ellos. Las diferencias entre zonas urbanas y rurales, entre hogares de distinta renta o entre territorios con desigual desarrollo infraestructural generan formas múltiples de exclusión energética. La pobreza energética no debe entenderse únicamente como ausencia de acceso físico, sino también como incapacidad económica para mantener condiciones mínimas de confort, seguridad y bienestar.

Las consecuencias de esta desigualdad son profundas y multidimensionales. La falta de acceso energético limita las oportunidades educativas, reduce la productividad, agrava problemas de salud, especialmente en contextos de uso de combustibles contaminantes, y refuerza ciclos de pobreza estructural. En este sentido, la energía no es solo un insumo económico, sino un determinante fundamental del desarrollo humano.

Superar esta brecha exige ir más allá de la expansión de la oferta energética. Requiere políticas redistributivas, mecanismos de financiación inclusiva, electrificación descentralizada mediante soluciones adaptadas a contextos locales (como microrredes o sistemas autónomos) y una redefinición del papel de la energía como derecho básico vinculado al bienestar. En este marco, el concepto de justicia energética adquiere centralidad: no puede existir sostenibilidad sin equidad en el acceso y en el uso de la energía.

1.4.2. Crecimiento, escasez y reconfiguración geopolítica

El aumento de la demanda energética global, impulsado por la urbanización, la industrialización y la expansión de servicios digitales, se enfrenta a múltiples restricciones. Estas incluyen limitaciones físicas, como la disponibilidad de recursos, restricciones ecológicas derivadas de los límites planetarios, y cuellos de botella asociados a infraestructuras, inversión y capacidad tecnológica.

Históricamente, el control de los recursos energéticos ha sido un factor clave en la configuración del orden geopolítico mundial. El petróleo y el gas han condicionado alianzas, conflictos y dependencias. En el contexto de la transición energética, estas dinámicas no desaparecen, sino que se transforman. Las antiguas dependencias fósiles están dando paso a nuevas dependencias vinculadas a materiales críticos y a capacidades tecnológicas concentradas en determinados países.

Esta reconfiguración plantea riesgos significativos. Por un lado, existe la posibilidad de reproducir esquemas de extracción y subordinación bajo una nueva lógica “verde”. Por otro, la competencia por recursos estratégicos puede intensificar tensiones geopolíticas y generar conflictos territoriales. A nivel local, la expansión de infraestructuras energéticas, renovables, redes, minería o producción de hidrógeno, puede provocar disputas por el uso del suelo, el agua o la distribución de beneficios.

En este sentido, el dilema energético no se limita a decidir qué tecnologías implementar, sino que implica cuestiones más profundas: quién controla los recursos, cómo se distribuyen los costes y beneficios de la transición, y qué modelo de gobernanza rige el sistema energético global. La sostenibilidad exige, por tanto, una transición que no solo sea tecnológicamente viable, sino también políticamente equilibrada y socialmente legítima.

1.4.3. Dimensión ética: responsabilidad, generaciones futuras y transición justa

El sistema energético actual plantea desafíos éticos de gran profundidad. Durante décadas, los beneficios del modelo fósil se han concentrado en determinados territorios, sectores y generaciones, mientras que sus costes han

sido externalizados hacia poblaciones vulnerables, ecosistemas degradados y generaciones futuras.

Uno de los dilemas centrales es el de la justicia intergeneracional. Las decisiones energéticas presentes condicionan de manera directa el clima, la biodiversidad y la disponibilidad de recursos en el futuro. Continuar explotando recursos fósiles a gran escala, a pesar del conocimiento acumulado sobre sus impactos, implica trasladar riesgos y costes a quienes no han participado en esas decisiones.

A ello se suma la dimensión de la deuda ecológica entre regiones. Los países que históricamente han contribuido en mayor medida a la acumulación de emisiones no son necesariamente los más afectados por sus consecuencias. Esta asimetría introduce una cuestión de responsabilidad global que debe ser abordada mediante mecanismos de cooperación, financiación climática y transferencia tecnológica.

Por otra parte, la transición energética plantea el reto de garantizar una transición justa. La transformación del sistema energético implica cambios profundos en el empleo, la estructura productiva y la organización territorial. Sectores enteros pueden verse desplazados, y determinadas regiones pueden experimentar procesos de declive si no se diseñan políticas adecuadas de reconversión y apoyo.

En este contexto, la sostenibilidad energética exige redefinir el propio concepto de progreso. No se trata únicamente de aumentar la disponibilidad de energía, sino de asegurar que su uso sea compatible con una vida digna para todos dentro de los límites ecológicos del planeta. Esto implica avanzar hacia una ética de la suficiencia, donde la eficiencia y la innovación tecnológica se complementen con una reflexión sobre los niveles de consumo y los modelos de bienestar.

Por todo ello, el dilema energético global sintetiza las tensiones fundamentales del mundo contemporáneo: crecimiento económico frente a límites ecológicos, abundancia frente a desigualdad, innovación tecnológica frente a responsabilidad ética.

Afrontar este dilema exige una transformación profunda del sistema energético, que no puede reducirse a la sustitución de fuentes o a mejoras técnicas. Se trata de reconfigurar las bases mismas del modelo de desarrollo, integrando descarbonización, equidad, resiliencia y justicia intergeneracional.

En última instancia, la sostenibilidad energética no es un estado final, sino un proceso continuo de ajuste entre necesidades humanas, capacidades tecnológicas y límites biofísicos. Solo a través de una aproximación sistémica y multidimensional será posible construir un sistema energético capaz de sostener la vida, el bienestar y la justicia en un planeta finito.

Conclusión



El análisis desarrollado a lo largo de este capítulo permite afirmar que la sostenibilidad energética constituye uno de los ejes estructurales sobre los que se articula el futuro de las sociedades contemporáneas. Lejos de ser una cuestión meramente técnica o sectorial, la energía emerge como un sistema complejo que conecta de manera directa la organización económica, la estructura social y los límites biofísicos del planeta (Smil, 2017).

En primer lugar, el recorrido histórico desde la era del carbón hasta las actuales expectativas depositadas en el hidrógeno verde ha puesto de manifiesto que las transiciones energéticas no son procesos lineales ni neutros. Cada cambio en las fuentes de energía ha implicado transformaciones profundas en los sistemas productivos, en las relaciones de poder y en la forma en que las sociedades interactúan con la naturaleza (Malm, 2016; Yergin, 2020). La actual transición energética presenta, además, una singularidad histórica: no responde únicamente a criterios de eficiencia o rentabilidad, sino a la necesidad urgente de evitar un colapso ecológico de gran escala.

En segundo lugar, la sostenibilidad energética ha sido conceptualizada como un fenómeno multidimensional que integra, de forma inseparable, dimensiones ambientales, económicas, sociales e institucionales. Esta visión implica reconocer que no existe sostenibilidad cuando una de estas dimensiones se desarrolla a costa de las demás. Así, la descarbonización del sistema energético no puede considerarse sostenible si reproduce desigualdades sociales, del mismo modo que el acceso universal a la energía pierde legitimidad si se fundamenta en modelos ecológicamente inviables (Sovacool et al., 2022).

En tercer lugar, el capítulo ha subrayado la necesidad de situar el sistema energético dentro de los límites planetarios. La energía no solo está vinculada a las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también a dinámicas más amplias que afectan al agua, al uso del suelo, a los materiales críticos y a la biodiversidad. La evidencia científica acumulada muestra que el actual modelo energético ha contribuido de manera decisiva a la transgresión de dichos límites, situando a la humanidad en una zona de riesgo ecológico creciente (IPCC, 2023). En consecuencia, la sostenibilidad energética exige una reconfiguración del metabolismo social que permita operar dentro del espacio seguro del sistema Tierra.

Finalmente, el planteamiento del dilema energético global ha permitido integrar las tensiones fundamentales que atraviesan el sistema energético contemporáneo. Por un lado, la necesidad legítima de ampliar el acceso a la energía y sostener aspiraciones de bienestar para una población mundial en crecimiento. Por otro, la evidencia de que el modelo energético heredado ha generado profundas desigualdades y ha intensificado la crisis ecológica (IEA, 2023). Esta tensión se manifiesta en múltiples dimensiones: desigualdad en el acceso, conflictos geopolíticos por recursos, dependencia tecnológica, y desafíos éticos vinculados a la justicia intergeneracional y a la responsabilidad histórica (Martínez-Alier, 2002; Newell, 2019).

En este contexto, la transición energética no puede entenderse como un simple proceso de sustitución tecnológica. Se trata de una transformación estructural que implica redefinir los principios normativos del sistema energético global. Conceptos como justicia energética, transición justa y soberanía energética adquieren centralidad en la construcción de un nuevo paradigma, en el que la energía deje de ser únicamente un recurso económico para convertirse en un bien común orientado al bienestar colectivo.

Asimismo, este capítulo ha puesto de relieve que el desafío energético contemporáneo no es únicamente de carácter técnico o económico, sino también profundamente cultural y ético. La identificación histórica entre progreso y crecimiento del consumo energético debe ser revisada a la luz de los límites planetarios. En este sentido, propuestas como la suficiencia energética o la prosperidad sin crecimiento invitan a repensar los modelos de desarrollo y los patrones de consumo (Jackson, 2017; Hickel, 2020).

En síntesis, la sostenibilidad energética puede definirse como un proceso dinámico de equilibrio entre tres grandes objetivos: garantizar el acceso universal a servicios energéticos modernos, mantener la viabilidad ecológica del sistema Tierra y asegurar una distribución justa de los beneficios y costes asociados al uso de la energía. Este equilibrio no es estático ni definitivo, sino que requiere una adaptación constante en función de los avances tecnológicos, las transformaciones sociales y la evolución de los sistemas naturales.

Sobre esta base conceptual, los capítulos siguientes abordarán las herramientas concretas (tecnológicas, económicas, institucionales y sociales) que

pueden facilitar la transición hacia un sistema energético más sostenible. No obstante, como se ha evidenciado en este primer capítulo, ninguna solución será plenamente efectiva si no se evalúa de manera integral, considerando simultáneamente sus implicaciones ambientales, sociales y éticas.

En última instancia, el reto de la sostenibilidad energética no consiste únicamente en producir energía de forma más limpia, sino en redefinir la relación entre humanidad y energía en un mundo finito. La transición energética, por tanto, no es solo un desafío técnico, sino un proyecto civilizatorio.

CAPÍTULO 2

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD GLOBAL

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente
Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona

Dra. Josefa Boria-Reverter
Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona

El tránsito hacia un modelo energético sostenible constituye uno de los procesos de transformación más complejos y decisivos del siglo XXI. A diferencia de las transiciones energéticas anteriores, impulsadas fundamentalmente por la búsqueda de mayor eficiencia, disponibilidad o rentabilidad, la transición contemporánea se desarrolla bajo una presión inédita: la necesidad de compatibilizar el funcionamiento de las economías modernas con los límites biofísicos del planeta. En este sentido, no se trata únicamente de sustituir unas fuentes de energía por otras, sino de redefinir las bases mismas sobre las que se organiza la producción, el consumo y la vida social.

La transición energética se sitúa, por tanto, en la intersección de múltiples dimensiones: tecnológica, económica, política, social y cultural. Implica descarbonizar los sistemas productivos, electrificar sectores clave, desarrollar nuevas infraestructuras, reformar los marcos regulatorios y, al mismo tiempo, garantizar el acceso universal a servicios energéticos seguros, asequibles y sostenibles. Este doble mandato, descarbonización y equidad, constituye el núcleo normativo de la sostenibilidad energética y refleja una tensión estructural que atraviesa todo el proceso de cambio.

Desde una perspectiva histórica, la transición energética actual puede interpretarse como un nuevo punto de inflexión civilizatorio, comparable a las grandes revoluciones energéticas del pasado, pero con una diferencia fundamental: por primera vez, el cambio no viene impulsado exclusivamente por la expansión del sistema económico, sino por la necesidad de evitar su colapso ecológico. Esta circunstancia introduce una dimensión de urgencia y de responsabilidad intergeneracional que transforma la lógica tradicional del desarrollo.

Al mismo tiempo, la transición no es un proceso homogéneo ni lineal. Se despliega de manera desigual entre países, regiones y sectores, generando oportunidades, pero también riesgos de nuevas formas de dependencia, exclusión o conflicto. La disponibilidad de recursos, la capacidad tecnológica, la calidad institucional y las condiciones socioeconómicas condicionan profundamente la forma en que cada territorio afronta el cambio. Por ello, la transición energética debe entenderse también como un proceso político, en el que se disputan modelos de desarrollo, intereses económicos y visiones del futuro.

De este modo, se pretende ofrecer una visión articulada de la transición energética como un proceso estructural de cambio, en el que convergen innovación, poder, valores y límites ecológicos. Comprender esta complejidad resulta esencial para evaluar no solo la viabilidad técnica de la transición, sino también su legitimidad social y su capacidad para sostener un modelo de desarrollo compatible con la justicia y la estabilidad del sistema Tierra.

2.1. La idea de transición: de las revoluciones industriales al giro ecológico

La noción de transición energética ocupa hoy un lugar central en el debate sobre sostenibilidad global, cambio climático y reconfiguración del modelo de desarrollo. Sin embargo, este concepto no puede comprenderse adecuadamente si se presenta como una simple moda reciente o como una categoría exclusivamente técnica. En realidad, la historia de la modernidad puede leerse como una sucesión de transiciones energéticas que han alterado profundamente la organización económica, la estructura social, la distribución del poder y la relación de la humanidad con la naturaleza. Cada gran transformación histórica ha estado vinculada a una nueva forma de captación, conversión y uso de la energía, y cada una de ellas ha ampliado la capacidad humana de intervención sobre el medio al tiempo que ha generado nuevas dependencias, desigualdades y contradicciones.

En este sentido, hablar hoy de transición energética implica situarse en una doble perspectiva: histórica y crítica. Histórica, porque la transición contemporánea hunde sus raíces en los procesos previos que dieron forma al metabolismo fósil sobre el que se construyó la civilización industrial. Crítica, porque la transición actual no consiste únicamente en sustituir combustibles fósiles por fuentes renovables, sino en cuestionar las bases materiales, institucionales y culturales de un modelo de desarrollo que ha conducido simultáneamente a la expansión del bienestar y a la desestabilización ecológica del planeta (Geels et al., 2017; Markard, 2018).

A diferencia de las transiciones anteriores, impulsadas principalmente por la búsqueda de mayor densidad energética, eficiencia productiva o rentabilidad económica, la transición contemporánea presenta un rasgo inédito: responde de forma directa a la necesidad de reducir los daños ecológicos acu-

mulados y garantizar la habitabilidad futura del planeta (Sovacool, 2016). La actual transición no está motivada por el agotamiento técnico inmediato de los recursos fósiles, sino por la constatación científica de que su uso masivo ha sobrepasado, o está a punto de sobrepasar, varios límites planetarios fundamentales, especialmente el climático (Rockström et al., 2009; IPCC, 2023).

Por ello, la transición energética debe entenderse como un proceso de transformación estructural que rebasa ampliamente el plano tecnológico. En ella convergen cuestiones de gobernanza, innovación, conflicto social, dependencia geopolítica, cultura del consumo y redefinición normativa del progreso.

2.1.1. Energía y civilización: un vínculo estructural

La historia de la humanidad es, en buena medida, la historia de su relación con la energía. Desde el uso controlado del fuego hasta la electrificación contemporánea, cada gran salto civilizatorio ha estado condicionado por la capacidad de transformar flujos energéticos naturales en trabajo útil, movilidad, calor o potencia productiva. En este sentido, la energía no constituye únicamente un insumo técnico de la economía, sino una base material sobre la que se edifican las formas de organización social, los patrones de producción, las jerarquías territoriales y la complejidad institucional de cada época (Smil, 2017).

Durante milenios, las sociedades humanas dependieron de sistemas energéticos de base biológica. La biomasa, la fuerza muscular humana y animal, así como el aprovechamiento limitado de flujos naturales como el agua y el viento, conformaron el núcleo de los sistemas preindustriales. Estas formas de energía estaban estrechamente ligadas a la disponibilidad local de recursos, a la estacionalidad y a los ritmos naturales. Como consecuencia, el metabolismo económico de estas sociedades se hallaba relativamente acotado por la capacidad de regeneración de los ecosistemas, aunque no exento de tensiones ambientales en determinadas regiones y periodos históricos.

La gran ruptura se produjo con la Revolución Industrial, cuando el carbón sustituyó progresivamente a la madera como principal fuente energética. Este cambio no representó una simple mejora técnica, sino una transformación estructural del metabolismo social. El carbón permitía acceder a una fuente de energía mucho más concentrada, abundante y almacenable, lo que hizo

posible la máquina de vapor, la mecanización de la producción, la expansión ferroviaria y el crecimiento de la industria pesada (Malm, 2016). A partir de este momento, la actividad económica comenzó a desacoplarse parcialmente de los límites energéticos inmediatos impuestos por los flujos biológicos, abriendo la puerta a una expansión productiva sin precedentes.

La consolidación del carbón estuvo íntimamente ligada al surgimiento del capitalismo industrial moderno. El nuevo régimen energético transformó la geografía económica, concentró población en las ciudades, aceleró la urbanización y reconfiguró las relaciones laborales en torno al trabajo asalariado industrial. La energía fósil dejó de ser un factor secundario de la producción para convertirse en el fundamento material del crecimiento económico sostenido. Como ha señalado Malm (2016), el paso al carbón no fue simplemente el resultado de una lógica tecnológica inevitable, sino también una decisión históricamente vinculada a intereses de clase, control del trabajo y reorganización espacial de la producción.

En el siglo XX, el petróleo y la electricidad inauguraron una nueva fase de la civilización energética. El petróleo, por su elevada densidad energética, su versatilidad y su facilidad de transporte, se convirtió en el combustible dominante del transporte motorizado, de la petroquímica y de las cadenas globales de suministro. La expansión del automóvil, la aviación, la suburbanización y la logística globalizada son inseparables del predominio petrolero (Yergin, 2020). La electricidad, por su parte, transformó profundamente la organización de la vida doméstica, la producción industrial y la comunicación, reforzando la complejidad tecnológica de las sociedades modernas.

El gas natural se incorporó más tarde a esta matriz fósil diversificada, ofreciendo flexibilidad al sistema eléctrico y a numerosos procesos industriales. Durante décadas fue presentado como una fuente relativamente más limpia, especialmente en comparación con el carbón. No obstante, la evidencia sobre las fugas de metano y su fuerte potencial de calentamiento global ha cuestionado crecientemente esta narrativa, matizando su papel como supuesto combustible puente hacia un futuro bajo en carbono (Howarth & Jacobson, 2021).

La conclusión fundamental de este recorrido histórico es que las fuentes de energía nunca han sido neutras. Cada una de ellas ha configurado estructu-

ras económicas, formas de poder y patrones culturales específicos. La energía, por tanto, no solo alimenta a las sociedades: las organiza, las expande y también las limita. Desde esta perspectiva, la transición energética contemporánea debe analizarse no como un simple recambio de insumos, sino como una transformación del vínculo estructural entre energía y civilización.

2.1.2. La transición energética como proceso de cambio estructural

La transición energética no puede entenderse como una simple secuencia de sustituciones tecnológicas lineales. Si bien a menudo se presenta como un cambio desde unas fuentes hacia otras, de la biomasa al carbón, del carbón al petróleo, del petróleo a las renovables, esta representación resulta insuficiente para captar la complejidad real del proceso. Las transiciones energéticas son transformaciones de naturaleza sistémica en las que cambian simultáneamente las tecnologías, las infraestructuras, los mercados, las normas, los hábitos de consumo, las instituciones y las relaciones de poder (Geels et al., 2017).

Desde esta perspectiva, el enfoque de las transiciones sociotécnicas ha resultado especialmente útil para analizar el cambio energético contemporáneo. Este marco parte de la idea de que los sistemas energéticos están compuestos por regímenes relativamente estables que combinan tecnologías dominantes, marcos regulatorios, intereses económicos, prácticas sociales y visiones culturales. El cambio no se produce de manera automática por la mera aparición de una tecnología superior, sino a través de tensiones entre el régimen establecido, los nichos de innovación y las presiones del entorno amplio o paisaje sociohistórico (Geels, 2011).

Aplicado al caso energético, ello significa que el modelo fósil no persiste únicamente porque continúe siendo funcional desde el punto de vista técnico, sino porque se encuentra incrustado en una compleja red de infraestructuras, inversiones, rutinas institucionales y relaciones geopolíticas. Las centrales térmicas, las refinerías, las redes de transporte, la planificación urbana, la industria automovilística y los sistemas fiscales de numerosos Estados han sido configurados durante décadas bajo la lógica de abundancia fósil. Por ello, sustituir este modelo exige intervenir no solo sobre la oferta de energía, sino sobre el conjunto del régimen socioeconómico que lo sostiene.

Además, las transiciones energéticas históricas han sido procesos lentos. Smil (2010) ha subrayado que ninguna transición energética significativa se ha completado en menos de varias décadas, y a menudo han sido necesarios más de cincuenta años para que una nueva fuente alcanzara una posición dominante. Sin embargo, la transición actual está sometida a una presión temporal sin precedentes. Los objetivos climáticos internacionales exigen reducir drásticamente las emisiones en apenas dos o tres décadas, lo que convierte la actual transición en una “revolución comprimida” desde el punto de vista histórico. Esta aceleración constituye uno de sus rasgos más singulares y problemáticos.

A esta complejidad se añade el hecho de que la transición contemporánea no afecta únicamente al lado de la oferta energética. También exige transformaciones profundas en la demanda, en los patrones de consumo y en las formas de vida. La mejora de la eficiencia, la electrificación de usos finales, la reorganización del transporte, la rehabilitación de edificios o la reterritorialización de ciertos sistemas productivos forman parte integral del cambio. Como han mostrado Grubler et al. (2018), los escenarios de baja demanda energética pueden facilitar considerablemente la compatibilidad entre acción climática, seguridad energética y desarrollo sostenible.

La transición energética, por tanto, debe concebirse como un proceso de reestructuración del metabolismo económico y social. Esto implica reconocer que las tecnologías son necesarias, pero no suficientes; que las políticas públicas resultan imprescindibles, pero no operan en el vacío; y que los cambios culturales y las disputas políticas forman parte del corazón del proceso. En consecuencia, cualquier análisis riguroso de la transición debe abandonar la visión simplista de un reemplazo técnico y asumir su carácter profundamente estructural, conflictivo y multidimensional.

2.1.3. Del paradigma de la expansión al paradigma de la responsabilidad ecológica

La transición energética contemporánea presenta una singularidad histórica decisiva: por primera vez, una gran transformación del sistema energético no está impulsada principalmente por la búsqueda de una energía más abundante, más concentrada o más barata, sino por la necesidad de limitar los

efectos destructivos del propio modelo energético dominante. Este giro marca el paso de una lógica de expansión a una lógica de responsabilidad ecológica.

Las transiciones anteriores estuvieron vinculadas a la ampliación del poder humano sobre la naturaleza. El carbón permitió multiplicar la producción industrial; el petróleo expandió la movilidad y la escala de la economía global; el gas natural aportó flexibilidad a sistemas energéticos altamente complejos. En todos estos casos, el progreso energético se identificó con la capacidad de movilizar más energía y, por tanto, de sostener mayores niveles de crecimiento económico y transformación material. La abundancia energética fue concebida como sinónimo de desarrollo, modernización y bienestar.

Sin embargo, la llamada Gran Aceleración de la segunda mitad del siglo XX ha puesto en evidencia los límites de esta lógica. El crecimiento exponencial del consumo de energía, materiales y suelo, junto con el aumento de emisiones, ha alterado de forma profunda el sistema Tierra (Steffen et al., 2015). En el contexto del Antropoceno, la energía aparece ya no solo como motor de progreso, sino también como factor central de desestabilización ecológica. El cambio climático, la degradación de ecosistemas y la presión sobre recursos críticos han hecho visible que la expansión indefinida del metabolismo fósil resulta incompatible con la estabilidad biofísica del planeta (Rockström et al., 2009; IPCC, 2023).

De ahí que la transición actual esté guiada por un principio radicalmente distinto: no cuánto más puede expandirse la capacidad humana de transformación, sino cómo puede reorganizarse dicha capacidad para mantenerse dentro de los límites planetarios y de un marco de justicia intergeneracional. Esta reorientación del sentido del progreso energético tiene implicaciones profundas. La energía deja de ser solo una variable productiva para convertirse en una cuestión ética y civilizatoria.

En este nuevo marco, emergen conceptos antes periféricos, como suficiencia, resiliencia, descentralización, justicia energética y soberanía energética. La idea de suficiencia energética resulta especialmente relevante, pues cuestiona la identificación automática entre bienestar y consumo creciente. Desde esta perspectiva, la transición no debe limitarse a producir energía más limpia, sino también a redefinir qué usos de la energía son socialmente nece-

sarios, legítimos y compatibles con la estabilidad ecológica. La pregunta deja de ser exclusivamente tecnológica para convertirse también en normativa: qué nivel y qué forma de consumo energético pueden sostener una vida digna sin destruir las condiciones materiales que la hacen posible.

Al mismo tiempo, la transición contemporánea introduce una dimensión de responsabilidad histórica e intergeneracional. Como ha sostenido Jonas (1979), la ética moderna debe orientarse hacia la preservación de las condiciones de posibilidad de la vida humana futura. Aplicado al ámbito energético, ello implica evaluar las decisiones presentes no solo por su rentabilidad inmediata o por su eficiencia técnica, sino por sus efectos acumulativos sobre generaciones futuras, territorios vulnerables y ecosistemas degradados.

En suma, el giro ecológico redefine la transición energética como un proceso que no busca simplemente una nueva fuente dominante, sino una nueva racionalidad civilizatoria. La cuestión ya no es expandir indefinidamente la disponibilidad energética, sino reorganizar el sistema de modo que resulte compatible con la justicia social, la estabilidad del sistema Tierra y una concepción del bienestar desacoplada del consumo ilimitado. Esta es, en última instancia, la singularidad más profunda de la transición contemporánea.

Es decir, la transición energética contemporánea solo puede comprenderse adecuadamente si se inserta en una perspectiva histórica amplia y en una lectura estructural del cambio. La energía ha sido, desde los orígenes de la modernidad industrial, un elemento organizador de la civilización, un factor clave de transformación social y un soporte material del crecimiento económico. Desde el carbón hasta el petróleo y el gas, cada transición previa amplió la capacidad humana de intervenir sobre la naturaleza, pero también profundizó las dependencias y contradicciones del modelo de desarrollo.

La transición actual, sin embargo, posee una naturaleza distinta. No se trata únicamente de una nueva fase de expansión técnica, sino de una respuesta histórica a la crisis ecológica generada por el propio régimen fósil. Esta singularidad obliga a abandonar las lecturas simplistas de la transición como sustitución lineal de fuentes y a reconocer su carácter sociotécnico, conflictivo y multidimensional. Tecnologías, instituciones, mercados, cultura y poder se entrelazan en un proceso cuyo alcance desborda ampliamente el ámbito energético.

Asimismo, el giro desde una lógica de expansión hacia una lógica de responsabilidad ecológica redefine profundamente el sentido del progreso. La transición energética deja de estar orientada a producir más energía sin más, y pasa a plantearse cómo producirla, distribuirla y utilizarla de forma compatible con la justicia social y los límites planetarios. En este sentido, la transición contemporánea no es solo una transformación tecnológica, sino una cuestión civilizatoria.

2.2. Impulsores de la transición: tecnología, innovación y política climática

La transición energética contemporánea no es un proceso espontáneo ni lineal, sino el resultado de la convergencia de múltiples fuerzas que actúan simultáneamente sobre los sistemas energéticos a escala global. Entre estas fuerzas, destacan de manera particular la innovación tecnológica, la digitalización y las políticas climáticas, que en conjunto configuran el núcleo dinámico del cambio. Estos impulsores no operan de forma aislada, sino que se retroalimentan en un entramado complejo donde los avances técnicos influyen en las decisiones políticas, las regulaciones orientan las inversiones y los cambios sociales condicionan la aceptación y difusión de nuevas soluciones energéticas.

A diferencia de etapas anteriores del desarrollo energético, en las que el cambio se producía principalmente por la aparición de fuentes más eficientes o más rentables, la transición actual está profundamente mediada por decisiones conscientes de política pública, por objetivos normativos globales y por una creciente presión social y científica para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la tecnología ya no es solo una herramienta de expansión productiva, sino también un instrumento para la mitigación del cambio climático, la mejora de la eficiencia y la transformación de los modelos de consumo (IEA, 2023).

Sin embargo, estos impulsores presentan una naturaleza ambivalente. Si bien abren oportunidades inéditas para la descarbonización y la reorganización del sistema energético, también generan nuevas dependencias, desigualdades y riesgos. La concentración del conocimiento tecnológico, la brecha digital entre regiones, la volatilidad de las políticas climáticas o la desigual

distribución de la financiación verde son elementos que pueden condicionar la velocidad, la dirección y la equidad de la transición (Newell, 2019).

2.2.1. Innovación tecnológica: la transformación del sistema energético

La innovación tecnológica constituye uno de los pilares fundamentales de la transición energética. En las últimas décadas, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido transformar de manera significativa la estructura de costes, la eficiencia y la viabilidad de las energías renovables, así como de otros vectores clave para la descarbonización.

Uno de los cambios más relevantes ha sido la drástica reducción del coste de las tecnologías renovables. Entre 2010 y 2022, el coste de la energía solar fotovoltaica se redujo en más de un 80 %, mientras que la energía eólica terrestre experimentó reducciones superiores al 60 % (IRENA, 2023). Este descenso ha alterado profundamente la economía política de la energía, haciendo que en muchas regiones las renovables sean ya la opción más competitiva incluso sin subsidios.

Además de las tecnologías de generación, la innovación se ha extendido a otros ámbitos esenciales del sistema energético. El desarrollo de baterías de ion-litio ha facilitado el almacenamiento energético y ha impulsado la electrificación del transporte, mientras que tecnologías como el hidrógeno verde abren nuevas posibilidades para la descarbonización de sectores difíciles de electrificar, como la industria pesada o el transporte marítimo (IEA, 2023).

Sin embargo, la innovación tecnológica no debe interpretarse de forma determinista. Su desarrollo y difusión dependen de marcos institucionales, incentivos económicos y dinámicas de mercado. Como señalan Acemoglu et al. (2012), las políticas públicas pueden orientar la dirección de la innovación hacia tecnologías más sostenibles mediante subsidios, impuestos o regulación ambiental.

Asimismo, la innovación presenta importantes desafíos. La dependencia de minerales críticos como el litio, el cobalto o las tierras raras introduce nuevas vulnerabilidades geopolíticas y ambientales. La extracción de estos re-

curso puede generar impactos sociales y ecológicos significativos, especialmente en países del Sur global (Ali et al., 2022). De este modo, la transición tecnológica puede reproducir dinámicas extractivas si no se acompaña de una gobernanza adecuada.

En consecuencia, la innovación tecnológica es una condición necesaria pero no suficiente para la transición energética. Su potencial transformador depende de su integración en un marco más amplio que combine regulación, equidad y sostenibilidad.

2.2.2. Digitalización y sistemas energéticos inteligentes

La digitalización se ha convertido en un elemento central de la transición energética contemporánea, al permitir una gestión más eficiente, flexible y descentralizada de los sistemas energéticos. A través del uso de tecnologías digitales como el big data, la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y los gemelos digitales, los sistemas energéticos están evolucionando hacia modelos más inteligentes y adaptativos.

Uno de los principales avances en este ámbito es el desarrollo de redes inteligentes o smart grids, que permiten monitorizar y gestionar en tiempo real la generación, distribución y consumo de energía. Estas redes facilitan la integración de fuentes renovables intermitentes, como la solar y la eólica, al permitir ajustar dinámicamente la oferta y la demanda (IEA, 2022).

La inteligencia artificial también desempeña un papel clave en la optimización de sistemas energéticos. Algoritmos de aprendizaje automático pueden predecir patrones de consumo, detectar fallos en infraestructuras, optimizar el mantenimiento y mejorar la eficiencia de procesos industriales. Asimismo, los gemelos digitales permiten simular el comportamiento de sistemas energéticos complejos, facilitando la toma de decisiones y la planificación estratégica (Ramos et al., 2022).

Por otro lado, tecnologías como la blockchain están emergiendo como herramientas para la descentralización del sistema energético, permitiendo el intercambio directo de energía entre usuarios (peer-to-peer) y mejorando la trazabilidad de la electricidad renovable (Andoni et al., 2019).

No obstante, la digitalización también plantea importantes desafíos. El consumo energético de los centros de datos y de las infraestructuras digitales está aumentando rápidamente, lo que puede contrarrestar parcialmente los beneficios de eficiencia. Además, la creciente dependencia de sistemas digitales introduce riesgos de ciberseguridad y vulnerabilidad de infraestructuras críticas (IEA, 2022).

Asimismo, la digitalización puede acentuar la brecha tecnológica entre países y regiones, generando nuevas formas de desigualdad. Aquellos territorios con menor capacidad tecnológica o infraestructural pueden quedar rezagados en la transición, consolidando asimetrías existentes (Sovacool & Griffiths, 2020).

En este sentido, la digitalización debe entenderse como un instrumento que requiere gobernanza. Su integración en la transición energética debe orientarse por principios de eficiencia, equidad, seguridad y sostenibilidad.

2.2.3. Políticas climáticas y gobernanza internacional

El tercer gran impulsor de la transición energética es el marco político e institucional que orienta las decisiones de inversión, regula los mercados y establece los objetivos de descarbonización. En las últimas décadas, las políticas climáticas han adquirido un papel central en la configuración del sistema energético global.

El Acuerdo de París (2015) representa un hito fundamental en este proceso, al establecer el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a “muy por debajo de 2 °C”, con esfuerzos para no superar los 1,5 °C. Para ello, los países presentan sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), que definen sus compromisos de reducción de emisiones (UNFCCC, 2015).

Sin embargo, las evaluaciones recientes muestran que los compromisos actuales son insuficientes para alcanzar estos objetivos. Según el United Nations Environment Programme (UNEP, 2023), las políticas vigentes conducirían a un aumento de temperatura de entre 2,5 y 2,9 °C, lo que evidencia una brecha significativa entre ambición y acción.

A nivel regional, diversas iniciativas han buscado reforzar la acción climática. La Unión Europea ha desarrollado el European Green Deal, que combina regulación, inversión y políticas industriales para alcanzar la neutralidad climática en 2050 (European Commission, 2022). Estados Unidos, a través del Inflation Reduction Act, ha impulsado incentivos masivos para la transición energética, mientras que China lidera la producción de tecnologías renovables, aunque mantiene una elevada dependencia del carbón (IEA, 2023).

En el ámbito global, la gobernanza energética se caracteriza por su fragmentación. Múltiples actores, Estados, organizaciones internacionales, empresas, ciudades y sociedad civil, participan en la configuración del sistema, lo que dificulta la coordinación y la implementación efectiva de políticas (Newell, 2019).

Además, existen importantes desigualdades en la capacidad de los países para implementar políticas climáticas. Los países en desarrollo enfrentan limitaciones financieras, tecnológicas e institucionales que dificultan su participación en la transición. La financiación climática internacional, aunque ha aumentado, sigue siendo insuficiente para cubrir las necesidades de estos países (World Bank, 2023).

En este contexto, la transición energética plantea un desafío de gobernanza global. Requiere mecanismos de cooperación más sólidos, transferencia tecnológica, financiación adecuada y un enfoque basado en la justicia climática que reconozca las responsabilidades históricas y las capacidades diferenciadas de los países.

2.3. Herramientas para la descarbonización: políticas, mercados y fiscalidad

La transición energética, como proceso estructural de transformación del sistema económico y productivo, no puede materializarse únicamente a través de la innovación tecnológica o la voluntad política declarativa. Requiere la articulación de instrumentos concretos capaces de traducir los objetivos climáticos en incentivos reales, comportamientos observables y resultados medibles. En este sentido, las herramientas de descarbonización constituyen el núcleo operativo de la transición energética: son los mecanismos mediante los cuales

se internalizan las externalidades ambientales, se reorientan las decisiones de inversión y se modifican los patrones de producción y consumo.

Desde una perspectiva económica, el problema fundamental que subyace a la crisis climática es la existencia de externalidades negativas no internalizadas. Las emisiones de gases de efecto invernadero generan costes sociales (en términos de salud, degradación ambiental o riesgos climáticos) que no se reflejan en los precios de mercado. Como resultado, los agentes económicos tienden a sobreutilizar fuentes energéticas intensivas en carbono. Corregir esta distorsión requiere intervenciones públicas que alineen los incentivos privados con los objetivos colectivos de sostenibilidad (Stiglitz et al., 2017).

Sin embargo, la descarbonización no puede abordarse mediante un único instrumento. Se trata de un proceso complejo que exige una combinación de herramientas regulatorias, fiscales y de mercado, así como enfoques complementarios como la eficiencia energética, la economía circular y la cooperación internacional. Cada uno de estos instrumentos presenta ventajas, limitaciones y efectos distributivos diferenciados, lo que obliga a diseñarlos de forma coherente y adaptada a los contextos institucionales y socioeconómicos específicos.

2.3.1. Regulación e instrumentos económicos: internalizar el carbono

Las políticas regulatorias y los instrumentos económicos constituyen el eje central de la descarbonización, al permitir corregir las fallas de mercado asociadas a las externalidades ambientales. En este ámbito, pueden distinguirse tres grandes tipos de instrumentos: regulación directa, mecanismos de mercado y sistemas de incentivos.

La regulación directa incluye normas que establecen límites, estándares o prohibiciones. Ejemplos de ello son los estándares de eficiencia energética, las normativas de emisiones industriales o la prohibición progresiva de tecnologías intensivas en carbono, como los motores de combustión interna en determinados países. Estas medidas proporcionan certidumbre y permiten acelerar el cambio tecnológico, aunque pueden resultar menos flexibles y más costosas si no se diseñan adecuadamente (OECD, 2022).

Por su parte, los mecanismos de mercado buscan internalizar el coste del carbono a través de señales de precios. Entre ellos destacan el impuesto al carbono y los sistemas de comercio de emisiones (ETS). El impuesto al carbono fija un precio por tonelada de CO₂ emitida, incentivando la reducción de emisiones y la adopción de tecnologías limpias. Suecia, pionera en este ámbito, ha logrado reducir sus emisiones significativamente manteniendo el crecimiento económico, lo que demuestra la viabilidad de este instrumento (World Bank, 2023).

Los sistemas de comercio de emisiones, como el EU ETS, establecen un límite total de emisiones y permiten a las empresas comprar y vender permisos. Este enfoque introduce flexibilidad y eficiencia económica, al permitir que las reducciones se produzcan donde resultan más baratas. No obstante, estos sistemas han enfrentado desafíos relacionados con la volatilidad de precios, la asignación inicial de permisos y la especulación (European Commission, 2022).

Además, los subsidios e incentivos fiscales desempeñan un papel clave en la promoción de tecnologías limpias. Programas de apoyo a energías renovables, incentivos a la movilidad eléctrica o financiación de investigación y desarrollo contribuyen a reducir barreras de entrada y acelerar la innovación. Sin embargo, la persistencia de subsidios a los combustibles fósiles, que aún alcanzan niveles elevados a nivel global, representa una contradicción estructural que dificulta la transición (IEA, 2023).

Desde una perspectiva crítica, es importante destacar que estos instrumentos tienen efectos distributivos. Los impuestos al carbono, por ejemplo, pueden ser regresivos si no se acompañan de mecanismos de compensación. Por ello, la política climática debe integrar criterios de justicia social, redistribuyendo los ingresos y protegiendo a los hogares vulnerables (Klenert et al., 2018).

En síntesis, la regulación y los instrumentos económicos son esenciales para orientar la transición energética, pero su eficacia depende de su diseño, coherencia y aceptación social.

2.3.2. Eficiencia energética y economía circular: reducir la demanda

Si bien gran parte del debate sobre transición energética se centra en la sustitución de fuentes, la reducción de la demanda energética constituye una estrategia igualmente fundamental. En este contexto, la eficiencia energética y la economía circular emergen como pilares clave para una descarbonización efectiva y sostenible.

La eficiencia energética se refiere a la capacidad de obtener el mismo nivel de servicio energético con un menor consumo de energía. Se trata de una de las medidas más rentables y rápidas para reducir emisiones, mejorar la competitividad económica y disminuir la dependencia energética. Según la Agencia Internacional de Energía, mejoras en eficiencia podrían representar una parte significativa de las reducciones necesarias para cumplir los objetivos climáticos (IEA, 2022).

Las políticas de eficiencia abarcan múltiples sectores: edificación, transporte, industria y consumo doméstico. Ejemplos incluyen la rehabilitación energética de edificios, el desarrollo de tecnologías de bajo consumo, la electrificación del transporte y la implementación de sistemas de gestión energética. Sin embargo, el llamado “efecto rebote” (el aumento del consumo debido a la reducción de costes) puede limitar parcialmente los beneficios de estas medidas (Gillingham et al., 2016).

Por su parte, la economía circular introduce un enfoque complementario al centrarse en el uso eficiente de materiales y recursos. Frente al modelo lineal de “extraer, producir, consumir y desechar”, la circularidad propone cerrar ciclos mediante el reciclaje, la reutilización y el rediseño de productos. En el ámbito energético, esto implica, entre otras cosas, la gestión sostenible de minerales críticos y el reciclaje de tecnologías como baterías o paneles solares (Stahel, 2019).

La interrelación entre eficiencia energética y economía circular es evidente. Ambas estrategias contribuyen a reducir la presión sobre los recursos naturales, minimizar residuos y disminuir emisiones. Además, generan beneficios económicos y sociales, como la creación de empleo local y la mejora de la resiliencia de los sistemas productivos.

No obstante, su implementación enfrenta desafíos significativos. La falta de incentivos adecuados, la inercia de modelos de negocio tradicionales y las limitaciones tecnológicas pueden dificultar la adopción de prácticas circulares. Asimismo, la transición hacia modelos de menor consumo energético plantea cuestiones culturales y normativas relacionadas con los estilos de vida y las expectativas de bienestar.

En este sentido, la eficiencia y la circularidad no deben entenderse únicamente como soluciones técnicas, sino como componentes de una transformación más amplia del metabolismo económico.

2.3.3. Cooperación regional y gobernanza institucional

La transición energética, por su carácter global y sistémico, no puede gestionarse exclusivamente a nivel nacional. La interdependencia de los sistemas energéticos, los mercados internacionales y los desafíos climáticos exige formas de cooperación regional e internacional que permitan coordinar políticas, compartir recursos y reducir costes.

Uno de los principales ámbitos de cooperación es la integración de redes energéticas. Las interconexiones eléctricas entre países permiten equilibrar la oferta y la demanda, aprovechar recursos renovables complementarios y mejorar la seguridad energética. Ejemplos como la red europea ENTSO-E o el sistema centroamericano SIEPAC ilustran el potencial de estos enfoques (CEPAL, 2023).

Además, la cooperación facilita la transferencia tecnológica y el desarrollo de capacidades en países en desarrollo. Organismos internacionales como IRENA o el Banco Mundial desempeñan un papel clave en la financiación de proyectos energéticos y en la difusión de buenas prácticas. Sin embargo, persisten importantes desigualdades en el acceso a tecnología y financiación, lo que limita la participación equitativa en la transición.

La gobernanza institucional también está evolucionando hacia modelos más complejos y participativos. La transición energética ya no es únicamente competencia de los Estados, sino que involucra a múltiples actores: empresas, gobiernos locales, comunidades y organizaciones de la sociedad civil

(Kuzemko et al., 2020). Esta diversidad de actores puede enriquecer el proceso, pero también genera desafíos de coordinación y coherencia.

Por otro lado, la cooperación internacional enfrenta obstáculos significativos. Las diferencias de intereses entre países, la competencia geopolítica por recursos estratégicos y la falta de mecanismos vinculantes dificultan la implementación de acuerdos globales. La financiación climática, en particular, sigue siendo insuficiente para cubrir las necesidades de los países más vulnerables (World Bank, 2023).

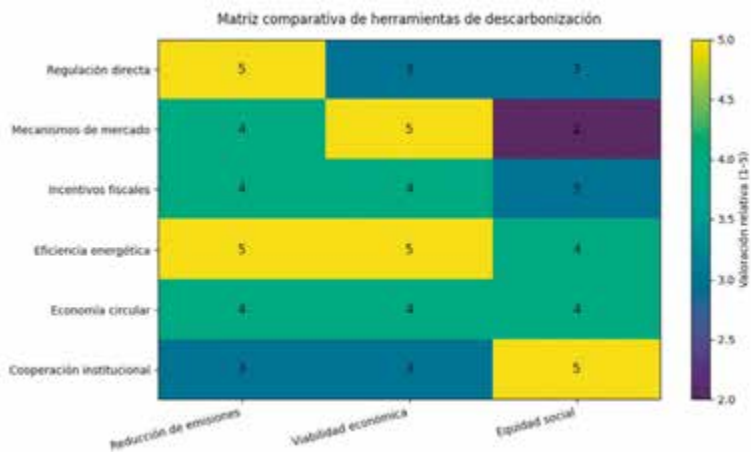
En este contexto, la transición energética requiere una gobernanza multinivel que combine coordinación global, adaptación local y participación social. La innovación institucional será clave para gestionar la complejidad del proceso y garantizar su legitimidad.

Las herramientas de descarbonización constituyen el puente entre los objetivos normativos de la transición energética y su implementación efectiva. Regulación, precios del carbono, eficiencia energética, economía circular y cooperación institucional conforman un conjunto de instrumentos que, utilizados de manera coherente, pueden transformar el sistema energético global.

Sin embargo, estos instrumentos no son neutros ni universales. Su diseño y aplicación deben tener en cuenta las diferencias económicas, sociales y culturales entre países y regiones, así como sus efectos distributivos. La descarbonización no puede lograrse a costa de aumentar la desigualdad o generar resistencias sociales que comprometan su viabilidad política.

La siguiente matriz permite comparar distintas herramientas de descarbonización según tres criterios: reducción de emisiones, viabilidad económica y equidad social. En conjunto, la eficiencia energética aparece como la opción más equilibrada y mejor valorada, ya que obtiene la máxima puntuación tanto en reducción de emisiones como en viabilidad económica, y una valoración elevada en equidad social. La economía circular también muestra un perfil muy equilibrado, con puntuaciones altas en las tres dimensiones, lo que la convierte en una herramienta transversal. En cambio, la regulación directa destaca especialmente por su capacidad para reducir emisiones, aunque presenta resultados más moderados en términos económicos y sociales. Los me-

canismos de mercado muestran una elevada viabilidad económica, pero una menor contribución a la equidad social, lo que indica que pueden generar desigualdades si no se acompañan de medidas compensatorias. Por último, la cooperación institucional sobresale en equidad social, aunque su impacto directo sobre la reducción de emisiones y la viabilidad económica es más limitado. Por tanto, el cuadro sugiere que una estrategia de descarbonización eficaz no debería apoyarse en una única herramienta, sino combinar instrumentos regulatorios, económicos, fiscales, tecnológicos e institucionales para equilibrar eficacia ambiental, sostenibilidad económica y justicia social.



En última instancia, la eficacia de estas herramientas dependerá de su integración en una estrategia global que combine eficiencia económica, justicia social y sostenibilidad ecológica. La transición energética no es solo una cuestión de instrumentos, sino de cómo estos se articulan dentro de un proyecto colectivo de transformación.

2.4. Dimensión social y geopolítica de la transición

La transición energética no es únicamente un proceso técnico orientado a la sustitución de fuentes energéticas, ni un fenómeno económico vinculado a la reconfiguración de mercados e inversiones. Es, ante todo, una transformación profundamente social y política que redefine las relaciones de poder, redistribuye costes y beneficios, y reconfigura los equilibrios geopolíticos a

escala global. En este sentido, la transición energética constituye un proceso conflictivo, atravesado por tensiones entre actores, territorios y modelos de desarrollo.

La energía ha sido históricamente un factor central en la organización del poder económico y geopolítico. Desde la hegemonía del carbón en la Revolución Industrial hasta el dominio del petróleo en el siglo XX, el control de los recursos energéticos ha condicionado la posición de los Estados en el sistema internacional, así como la configuración de alianzas, conflictos y dependencias (Yergin, 2020). La transición hacia un modelo bajo en carbono no elimina esta dimensión geopolítica, sino que la transforma, desplazando el eje del poder desde los combustibles fósiles hacia las tecnologías, los minerales críticos y las infraestructuras digitales.

Al mismo tiempo, la transición energética plantea desafíos sociales de gran magnitud. La descarbonización implica cambios estructurales en el empleo, en los sistemas productivos y en los patrones de consumo, generando tanto oportunidades (por ejemplo, la creación de empleos verdes) como riesgos (la pérdida de empleo en sectores intensivos en carbono o el aumento de desigualdades territoriales) (ILO, 2018). En este contexto, el concepto de transición justa emerge como un principio normativo fundamental, orientado a garantizar que los costes y beneficios del cambio se distribuyan de manera equitativa.

Asimismo, la transición energética se desarrolla en un mundo caracterizado por profundas desigualdades en el acceso a la energía, en la capacidad tecnológica y en los recursos financieros. Mientras que algunos países lideran la innovación y la inversión en energías limpias, otros enfrentan limitaciones estructurales que dificultan su participación en el proceso. Esta asimetría plantea cuestiones de justicia climática y de responsabilidad histórica que deben ser abordadas en el marco de la gobernanza global.

2.4.1. Transición justa, empleo y desigualdad

La transición energética implica una profunda reestructuración del sistema productivo, con consecuencias directas sobre el empleo, los territorios y la distribución de la renta. Sectores intensivos en carbono, como la minería

del carbón, la extracción de petróleo o ciertas industrias pesadas, enfrentan un proceso de declive progresivo, mientras que emergen nuevas oportunidades en ámbitos como las energías renovables, la eficiencia energética o la economía circular.

Según estimaciones de la Organización Internacional del Trabajo, la transición hacia una economía verde podría generar alrededor de 24 millones de nuevos empleos a nivel global para 2030, pero también provocar la pérdida de aproximadamente seis millones en sectores tradicionales (ILO, 2018). Este balance neto positivo no elimina, sin embargo, los costes de ajuste que deben afrontar trabajadores y comunidades dependientes de actividades intensivas en carbono.

En este contexto, el concepto de transición justa adquiere una relevancia central. Este enfoque propone integrar la dimensión social en las políticas climáticas, garantizando la protección de los trabajadores, la reconversión laboral y el desarrollo económico alternativo en regiones afectadas. La transición justa no es únicamente una cuestión de equidad, sino también una condición para la viabilidad política del proceso, ya que la resistencia social puede frenar o revertir las políticas de descarbonización (Newell & Mulvaney, 2013).

La Unión Europea ha desarrollado instrumentos específicos en este ámbito, como el Just Transition Mechanism, orientado a apoyar regiones dependientes del carbón y otras industrias intensivas en carbono (European Commission, 2022). Estos programas incluyen inversiones en diversificación económica, formación profesional y apoyo a pequeñas y medianas empresas.

Sin embargo, los desafíos son mayores en países en desarrollo, donde la informalidad laboral, la falta de protección social y la dependencia de recursos fósiles complican la implementación de políticas de transición justa. En estos contextos, la transición energética debe articularse con estrategias más amplias de desarrollo sostenible, reducción de la pobreza y fortalecimiento institucional.

Además del empleo, la transición energética tiene implicaciones en términos de desigualdad energética. Millones de personas en el mundo aún carecen de acceso a servicios energéticos modernos, mientras que en países desarrolla-

dos persisten problemas de pobreza energética vinculados al coste de la energía y a la ineficiencia de las viviendas (Bouzarovski & Petrova, 2015). Garantizar el acceso universal a energía asequible y sostenible constituye, por tanto, un objetivo clave de la transición, en línea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7.

En definitiva, la dimensión social de la transición energética pone de manifiesto que la sostenibilidad no puede desvincularse de la justicia. Una transición que genere exclusión o profundice desigualdades difícilmente será sostenible en el tiempo.

2.4.2. Geopolítica de la energía en la era postcarbono

La transición energética está reconfigurando profundamente el mapa geopolítico global. Si durante el siglo XX el poder energético estuvo dominado por los países productores de petróleo y gas, en la actualidad se observa un desplazamiento hacia aquellos actores que controlan las tecnologías limpias, los minerales críticos y las cadenas de valor asociadas a la transición.

Uno de los elementos clave de esta nueva geopolítica es el papel de los minerales críticos, como el litio, el cobalto, el níquel o las tierras raras, esenciales para la fabricación de baterías, paneles solares y otras tecnologías renovables. La concentración geográfica de estos recursos, en regiones como América Latina, África o China, introduce nuevas dependencias y potenciales conflictos (Ali et al., 2022).

China ocupa una posición dominante en este nuevo escenario, liderando la producción de tecnologías renovables y controlando gran parte de las cadenas de suministro de baterías y materiales estratégicos (IEA, 2023). Esta situación ha generado preocupación en otras economías, como Estados Unidos y la Unión Europea, que buscan reforzar su autonomía estratégica mediante políticas industriales y alianzas internacionales.

Al mismo tiempo, los países exportadores de combustibles fósiles enfrentan un escenario de incertidumbre. La reducción de la demanda global de petróleo y gas puede afectar significativamente a sus economías, especialmente en aquellos casos donde existe una fuerte dependencia de estos ingresos. Esto plantea desafíos de diversificación económica y estabilidad política.

La transición energética también puede generar nuevas formas de desigualdad y dependencia, lo que algunos autores han denominado “neocolonialismo verde” (Arboleda, 2020). La extracción de minerales críticos en países en desarrollo puede reproducir dinámicas extractivas similares a las del modelo fósil si no se garantiza una distribución equitativa de los beneficios y una adecuada protección ambiental y social.

Por otro lado, la seguridad energética adquiere una nueva dimensión. Ya no se trata únicamente de garantizar el acceso a recursos fósiles, sino de asegurar el suministro de tecnologías, infraestructuras y conocimiento. La soberanía energética se redefine en términos de capacidad tecnológica, control de datos y resiliencia de sistemas.

En este contexto, la transición energética no elimina la geopolítica de la energía, sino que la transforma. Los conflictos, las alianzas y las estrategias de poder continúan, pero bajo nuevas formas y en torno a nuevos recursos.

2.4.3. Cultura energética y cambio de paradigma

Más allá de sus dimensiones tecnológicas, económicas y geopolíticas, la transición energética implica una transformación cultural profunda. Durante más de dos siglos, el modelo de desarrollo dominante ha estado basado en una lógica de crecimiento continuo y consumo creciente de energía. La abundancia energética se ha asociado al progreso, al bienestar y al éxito económico.

Sin embargo, la crisis ecológica contemporánea ha puesto en cuestión esta relación. La sostenibilidad exige replantear los patrones de consumo y las expectativas sociales, introduciendo una nueva ética basada en la suficiencia, la responsabilidad y el equilibrio con los límites planetarios (Raworth, 2017).

En este contexto, la cultura energética se convierte en un elemento clave de la transición. Las decisiones individuales y colectivas sobre el uso de la energía (movilidad, consumo, vivienda, alimentación) tienen un impacto significativo en las emisiones y en la sostenibilidad del sistema. La transición no puede depender exclusivamente de cambios tecnológicos, sino que requiere también una transformación en los valores, las normas y los comportamientos sociales.

La educación, la comunicación y la participación ciudadana desempeñan un papel fundamental en este proceso. Iniciativas como las comunidades energéticas, el autoconsumo o los movimientos sociales por el clima reflejan una creciente implicación de la sociedad en la transición energética (Walker et al., 2010).

Al mismo tiempo, la transición plantea un debate más amplio sobre el modelo de desarrollo. ¿Es posible mantener el crecimiento económico en un planeta finito? ¿Debe la sostenibilidad basarse en la eficiencia tecnológica o en la reducción del consumo? Estas cuestiones reflejan diferentes narrativas sobre la transición, desde el “capitalismo verde” hasta propuestas más radicales como el decrecimiento (Kallis, 2021).

En definitiva, la transición energética no es solo un cambio técnico, sino un cambio de paradigma. Implica redefinir la relación entre energía, economía y bienestar, y construir una nueva narrativa del progreso compatible con los límites del planeta.

La dimensión social y geopolítica de la transición energética pone de manifiesto que el cambio hacia un modelo sostenible no puede entenderse como un proceso neutro o exclusivamente técnico. Se trata de una transformación que redistribuye poder, recursos y oportunidades, generando tanto beneficios como conflictos.

La transición justa emerge como un principio clave para garantizar la equidad y la legitimidad del proceso, mientras que la nueva geopolítica de la energía redefine las relaciones internacionales en torno a tecnologías y recursos estratégicos. Al mismo tiempo, el cambio cultural necesario para la sostenibilidad plantea desafíos profundos en términos de valores, comportamientos y modelos de desarrollo.

En última instancia, la transición energética es un proceso civilizatorio. Su éxito dependerá no solo de la capacidad tecnológica o económica, sino también de la voluntad política, la cooperación internacional y la construcción de un consenso social en torno a un nuevo modelo de relación entre humanidad y naturaleza.

Conclusión

El análisis desarrollado a lo largo de este capítulo permite afirmar que la transición energética constituye uno de los procesos de transformación más complejos, urgentes y estructurales del siglo XXI. Lejos de ser un fenómeno exclusivamente técnico o una simple sustitución de fuentes energéticas, la transición debe entenderse como una reconfiguración profunda del metabolismo económico, de las instituciones políticas y de los valores culturales que han sustentado la civilización industrial moderna.

Desde una perspectiva histórica, se ha puesto de manifiesto que las transiciones energéticas han sido siempre procesos largos, conflictivos y multidimensionales, estrechamente vinculados a cambios en las estructuras productivas, en las relaciones sociales y en la distribución del poder. Sin embargo, la transición contemporánea presenta una singularidad fundamental: por primera vez, el cambio no viene impulsado únicamente por la búsqueda de mayor eficiencia o crecimiento, sino por la necesidad de evitar una crisis ecológica de alcance global. Esta circunstancia introduce una dimensión de urgencia y de responsabilidad intergeneracional sin precedentes (IPCC, 2023; Rockström et al., 2009).

El capítulo ha evidenciado que los principales impulsores de la transición (innovación tecnológica, digitalización y políticas climáticas) configuran un entramado dinámico en el que las oportunidades de transformación conviven con nuevas formas de dependencia y desigualdad. La innovación ha permitido avances significativos en energías renovables y almacenamiento, mientras que la digitalización ha introducido capacidades inéditas de gestión y optimización del sistema energético. No obstante, estos avances no son neutrales: dependen de marcos institucionales, generan asimetrías tecnológicas y pueden reforzar concentraciones de poder si no se acompañan de mecanismos adecuados de gobernanza (IEA, 2023; Sovacool & Griffiths, 2020).

Asimismo, el análisis de las herramientas de descarbonización ha puesto de relieve la importancia de los instrumentos regulatorios, fiscales y de mercado para traducir los objetivos climáticos en cambios efectivos en el comportamiento de los agentes económicos. La fijación de precios al carbono, la

eliminación de subsidios fósiles, la promoción de la eficiencia energética y el impulso de la economía circular constituyen elementos esenciales de esta arquitectura. Sin embargo, su eficacia depende de su coherencia interna, de su adaptación a los contextos nacionales y, especialmente, de su aceptación social, lo que exige integrar criterios de justicia distributiva en su diseño (Stiglitz et al., 2017; OECD, 2022).

En este sentido, la dimensión social de la transición emerge como un factor decisivo. La transformación del sistema energético implica cambios profundos en el empleo, en los territorios y en las condiciones de acceso a la energía. El concepto de transición justa se consolida, así como un principio normativo imprescindible para garantizar que el proceso no genere exclusión ni agrave las desigualdades existentes. Sin equidad social, la transición carecerá de legitimidad y estabilidad política, comprometiendo su viabilidad a largo plazo (ILO, 2018; Newell & Mulvaney, 2013).

Paralelamente, el capítulo ha mostrado que la transición energética está reconfigurando el orden geopolítico global. El desplazamiento desde los combustibles fósiles hacia las tecnologías limpias y los minerales críticos redefine las relaciones de poder, genera nuevas dependencias y plantea riesgos de reproducción de dinámicas extractivas bajo un nuevo paradigma “verde”. La seguridad energética deja de depender exclusivamente del acceso a recursos fósiles y pasa a vincularse con el control tecnológico, las cadenas de suministro y la capacidad de innovación (IEA, 2023; Ali et al., 2022).

Más allá de estas dimensiones materiales, la transición energética implica también un cambio cultural profundo. El cuestionamiento del paradigma de crecimiento ilimitado y la emergencia de conceptos como suficiencia, resiliencia o límites planetarios reflejan la necesidad de redefinir la relación entre energía, bienestar y desarrollo. La sostenibilidad energética no puede alcanzarse únicamente mediante la eficiencia tecnológica, sino que requiere una transformación en los valores, los comportamientos y las expectativas sociales (Raworth, 2017; Kallis, 2021).

En conjunto, los resultados del capítulo permiten concluir que la transición energética es, en última instancia, un proceso civilizatorio. No se trata solo de cambiar la forma en que se produce y se consume la energía, sino de

redefinir el modelo de desarrollo en su conjunto. Este proceso está atravesado por tensiones entre eficiencia y equidad, entre innovación y dependencia, entre crecimiento y sostenibilidad, y entre intereses nacionales y desafíos globales.

El principal reto no radica únicamente en acelerar la transición, sino en orientarla de manera que sea compatible con la justicia social, la estabilidad ecológica y la cooperación internacional. La transición energética no será automáticamente sostenible ni equitativa: su resultado dependerá de las decisiones políticas, de la calidad de las instituciones y de la capacidad de las sociedades para construir consensos en torno a un nuevo contrato energético global.

De este modo, el capítulo sienta las bases para abordar, en los siguientes apartados del trabajo, las herramientas estratégicas y los marcos de gobernanza necesarios para gestionar esta transformación. Comprender la transición energética en toda su complejidad no es solo un ejercicio académico, sino una condición indispensable para intervenir de manera informada en uno de los procesos más determinantes de nuestro tiempo.

CAPÍTULO 3

GOBERNANZA GLOBAL DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente

*Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona*

Dra. Josefa Boria-Reverter

*Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona*

La sostenibilidad energética, tal como se ha conceptualizado en los capítulos anteriores, no puede entenderse ni alcanzarse exclusivamente a través de innovaciones tecnológicas o de políticas públicas circunscritas al ámbito nacional. En un contexto de creciente interdependencia global, caracterizado por la intensificación de los flujos de capital, energía, información y materiales, la gobernanza emerge como un elemento estructural imprescindible para orientar la transición hacia un modelo energético sostenible, equitativo y resiliente.

En efecto, el sistema energético contemporáneo se configura como una red compleja de interacciones transnacionales en la que las decisiones adoptadas en un territorio tienen repercusiones inmediatas en otros. Las cadenas de suministro energético, desde la extracción de recursos hasta el consumo final, atraviesan múltiples jurisdicciones, mientras que sus impactos ambientales, particularmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, poseen una naturaleza intrínsecamente global. Esta realidad transforma la energía en un bien público global, cuya gestión trasciende las capacidades de los Estados individuales y requiere mecanismos de coordinación multinivel (Goldthau & Witte, 2010).

Históricamente, la energía ha sido concebida como un ámbito de soberanía nacional, estrechamente vinculado a la seguridad, la independencia económica y el control territorial. Sin embargo, la emergencia climática, junto con la creciente volatilidad geopolítica y la necesidad de descarbonización, ha erosionado esta concepción tradicional. Como señalan IPCC (2014, 2021), la mitigación del cambio climático exige transformaciones sistémicas que solo pueden lograrse mediante cooperación internacional sostenida, coordinación institucional y alineamiento de incentivos a escala global.

En este sentido, la gobernanza energética del siglo XXI se redefine como un proceso dinámico de articulación entre múltiples actores, Estados, organismos internacionales, empresas, instituciones financieras, sociedad civil y comunidades locales, que operan en diferentes niveles y bajo lógicas diversas de poder. Este enfoque policéntrico, inspirado en la obra de Ostrom (2010), cuestiona la idea de una autoridad central única y propone, en su lugar, una arquitectura de gobernanza distribuida, flexible y adaptativa.



No obstante, esta pluralidad de actores y niveles introduce importantes desafíos. La coexistencia de intereses divergentes, asimetrías de poder y marcos regulatorios heterogéneos dificulta la construcción de una acción colectiva eficaz. Además, como advierten Keohane y Victor (2011), la gobernanza climática y energética global se caracteriza por una “fragmentación institucional” que puede generar incoherencias, duplicidades y déficits de rendición de cuentas.

Desde una perspectiva teórica, este capítulo se sitúa en la intersección entre la economía política internacional, la teoría de la gobernanza global y los estudios de transición sociotécnica. Mientras el Capítulo 1 estableció los fundamentos normativos de la sostenibilidad energética y el Capítulo 2 analizó la dinámica de la transición, el presente capítulo aborda el cómo: es decir, los mecanismos, estructuras e instrumentos mediante los cuales dicha transición puede ser coordinada, evaluada y legitimada a escala global.

En este marco, la gobernanza energética no debe entenderse únicamente como un conjunto de instituciones formales, sino como un espacio de negociación permanente en el que se articulan relaciones de poder, valores normativos y visiones de futuro. Como sostiene Sovacool (2021), la transición energética es tanto un proceso técnico como político, en el que distintos actores compiten por definir sus objetivos, ritmos y beneficios.

Asimismo, la gobernanza de la sostenibilidad energética incorpora una dimensión ética fundamental. La necesidad de compatibilizar desarrollo económico, equidad social y límites ecológicos plantea dilemas normativos que trascienden el ámbito técnico. Conceptos como justicia climática, responsabilidad intergeneracional o equidad energética adquieren un papel central en la definición de políticas y en la legitimación de las decisiones colectivas (Rawls, 1971; Jonas, 1979; Martínez-Alier, 2002).

Sobre la base del documento proporcionado, este capítulo se estructura en cuatro grandes apartados interrelacionados:

En primer lugar, se analiza la evolución histórica del régimen energético internacional, desde la hegemonía fósil hasta la emergencia de un sistema policéntrico orientado a la sostenibilidad (3.1). Este recorrido permite comprender las raíces estructurales de la gobernanza actual y las tensiones que la atraviesan.

En segundo lugar, se examinan las principales instituciones, alianzas y actores que configuran la arquitectura de la gobernanza energética global (3.2), destacando el papel de organismos multilaterales, instituciones financieras, actores privados y redes sociales.

En tercer lugar, se abordan los instrumentos y sistemas de medición que permiten operacionalizar la sostenibilidad energética (3.3), incluyendo indicadores, marcos normativos y mecanismos de seguimiento.

Finalmente, se reflexiona sobre los desafíos contemporáneos de la gobernanza energética (3.4), centrados en cuestiones de poder, ética, legitimidad democrática y desigualdad global.

En conjunto, este capítulo pretende demostrar que la sostenibilidad energética no es únicamente un problema técnico o económico, sino un problema de gobernanza global. La forma en que se organice esta gobernanza determinará no solo el éxito de la transición energética, sino también el tipo de orden internacional y de modelo de desarrollo que prevalecerá en las próximas décadas.

En última instancia, la gobernanza energética constituye el espacio donde se decide el equilibrio entre crecimiento, equidad y supervivencia planetaria. Comprender su lógica, sus actores y sus instrumentos es, por tanto, una condición necesaria para avanzar hacia un modelo energético verdaderamente sostenible.

3.1. El régimen energético internacional: historia, crisis y transformación

El sistema energético global no puede comprenderse únicamente como un conjunto de infraestructuras técnicas o mercados de suministro, sino como una estructura histórica de poder, organización económica y gobernanza internacional que ha evolucionado a lo largo del tiempo en estrecha relación con los grandes procesos políticos y sociales. En este sentido, hablar de “régimen energético internacional” implica reconocer que la energía constituye uno de los pilares fundamentales sobre los que se ha construido el orden mundial contemporáneo.

Desde la Revolución Industrial hasta la actualidad, las sucesivas transiciones energéticas han configurado no solo los modelos productivos, sino también las jerarquías geopolíticas, las formas de organización territorial y los patrones de consumo a escala global. Tal como sostiene Smil (2017), la historia de la civilización puede interpretarse, en gran medida, como la historia de la capacidad humana para acceder, transformar y controlar flujos energéticos cada vez más intensivos y complejos.

En este marco, el siglo XX consolidó un régimen energético basado en los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas natural, que permitió una expansión económica sin precedentes, pero que también generó profundas dependencias estructurales, desigualdades geográficas y externalidades ambientales de gran escala. Como subraya Timothy Mitchell (2011), la energía no solo alimenta las economías, sino que organiza las formas de poder y las posibilidades de acción política.

El régimen fósil, lejos de ser un sistema neutral, se ha articulado a través de un conjunto de instituciones, actores y normas que han configurado un orden energético global caracterizado por:

- La centralidad de los combustibles fósiles en el metabolismo económico.
- La concentración del poder en Estados y corporaciones con acceso a recursos estratégicos.
- La interdependencia global de los mercados energéticos.
- La externalización de costes ambientales y sociales hacia regiones periféricas.

Sin embargo, este régimen ha entrado en una fase de crisis estructural como consecuencia de múltiples factores convergentes. En primer lugar, la creciente evidencia científica sobre el cambio climático, sintetizada en los informes del IPCC, ha puesto de manifiesto la incompatibilidad entre el modelo energético fósil y la estabilidad del sistema climático global (IPCC, 2023). En segundo lugar, las tensiones geopolíticas asociadas al control de los recursos energéticos han evidenciado la fragilidad de un sistema altamente dependiente de regiones específicas. En tercer lugar, la innovación tecnológica ha abierto la posibilidad de transitar hacia sistemas energéticos alternativos basados en fuentes renovables, digitalización y descentralización.

Estas dinámicas han dado lugar a un proceso de transformación profunda que puede interpretarse como una reconfiguración del régimen energético internacional. No se trata únicamente de una transición tecnológica, sino de un cambio sistémico que afecta a las relaciones de poder, a las instituciones globales y a las formas de organización económica y social.

Desde una perspectiva analítica, este proceso puede abordarse como una transición sociotécnica a gran escala, en la que coexisten elementos del régimen fósil con nuevas configuraciones emergentes. Esta coexistencia genera tensiones, conflictos y oportunidades que redefinen continuamente el equilibrio del sistema.

Asimismo, la transición energética plantea interrogantes fundamentales sobre la gobernanza global. ¿Quién controla los nuevos recursos estratégicos, como los minerales críticos? ¿Cómo se distribuyen los costes y beneficios de la transición? ¿Qué papel desempeñan los países del Sur global en el nuevo orden energético? Estas cuestiones sitúan la energía en el centro del debate sobre justicia global, sostenibilidad y desarrollo.

En este contexto, el presente apartado tiene como objetivo analizar la evolución del régimen energético internacional desde una perspectiva histórica y estructural. Para ello, se estructura en tres grandes momentos analíticos:

- En primer lugar, se examina el surgimiento y consolidación del régimen fósil tras la Segunda Guerra Mundial (3.1.2), destacando su configuración geopolítica e institucional.
- En segundo lugar, se analizan las dinámicas de crisis que han cuestionado la sostenibilidad de este modelo (3.1.3), incluyendo factores ambientales, económicos y tecnológicos.
- Finalmente, se explora el proceso de transformación hacia un nuevo régimen energético (3.1.4), caracterizado por la descarbonización, la digitalización y la emergencia de nuevas formas de gobernanza.

Más allá de una mera descripción histórica, este apartado propone una lectura crítica del sistema energético global, entendiendo la transición actual como un proceso abierto y en disputa. Como advierte Paterson (2021), no existe una única transición energética, sino múltiples trayectorias posibles, condicionadas por intereses, valores y relaciones de poder.

En definitiva, analizar el régimen energético internacional implica comprender cómo la energía articula el pasado, el presente y el futuro del sistema mundial. Solo desde esta perspectiva es posible evaluar los desafíos y oportunidades que plantea la transición hacia un modelo energético sostenible, justo y resiliente.

3.1.1. Introducción: energía y orden mundial

La energía constituye uno de los fundamentos estructurales del orden mundial moderno, aunque su papel haya permanecido, en gran medida, implícito en los análisis tradicionales de la economía política internacional. Desde la Revolución Industrial, la disponibilidad, el control y la distribución de los recursos energéticos han configurado no solo los modelos productivos, sino también las jerarquías de poder entre Estados, regiones y actores económicos.

En este sentido, la energía no debe ser entendida únicamente como un insumo económico, sino como un vector estratégico de poder. Tal como señala Yergin (2020), “la historia del petróleo es la historia del siglo XX”, en la medida en que los grandes acontecimientos geopolíticos, desde conflictos bélicos hasta alianzas internacionales, han estado profundamente condicionados por el acceso a los recursos energéticos, su control logístico y su fijación de precios.

Desde una perspectiva teórica, la relación entre energía y orden mundial puede analizarse a través de tres grandes enfoques complementarios:

En primer lugar, la economía política internacional, que interpreta los sistemas energéticos como estructuras de poder que articulan relaciones de dependencia y dominación (Strange, 1988). En este marco, el control de recursos energéticos estratégicos, como el petróleo, el gas o, más recientemente, los minerales críticos, se convierte en un instrumento de influencia geopolítica.

En segundo lugar, los estudios de transición sociotécnica, que analizan cómo los cambios en las fuentes de energía implican transformaciones profundas en los sistemas económicos, tecnológicos e institucionales (Geels, 2002). Desde esta perspectiva, cada régimen energético, carbón, petróleo, renovables, configura un “paradigma” que estructura la organización de la sociedad.

En tercer lugar, los enfoques de gobernanza global, que examinan cómo los actores internacionales coordinan (o no) la gestión de bienes públicos globales, como el clima o la sostenibilidad energética (Keohane & Nye, 2011). Estos enfoques resultan especialmente relevantes en el contexto actual, marcado por la necesidad de una transición energética coordinada a escala planetaria.

Históricamente, el régimen energético internacional se ha articulado en torno a tres principios fundamentales que han definido su funcionamiento durante gran parte del siglo XX:

- Soberanía nacional sobre los recursos naturales, que otorga a los Estados el control formal sobre la explotación de sus reservas energéticas.

- Interdependencia de los mercados energéticos, donde la producción, el transporte y el consumo están globalmente conectados.
- Dependencia estructural de los combustibles fósiles, que han constituido la base del crecimiento económico moderno.

Estos principios, sin embargo, no han operado de manera neutral, sino que han generado asimetrías significativas de poder. Los países con abundantes recursos energéticos han ejercido influencia sobre los mercados globales, mientras que los países dependientes de importaciones han desarrollado estrategias de seguridad energética basadas en la diversificación de suministros, el almacenamiento estratégico o la intervención militar (Klare, 2012).

Asimismo, el sistema energético global ha estado históricamente dominado por grandes corporaciones transnacionales, especialmente durante el período de hegemonía de las denominadas “Siete Hermanas”, que controlaban gran parte de la producción y distribución de petróleo a nivel mundial (Mitchell, 2011). Este modelo corporativo contribuyó a consolidar un régimen energético caracterizado por la concentración de poder económico y la estabilidad relativa de los mercados.

No obstante, este régimen ha entrado progresivamente en crisis como consecuencia de una serie de transformaciones estructurales. En primer lugar, la creciente conciencia ambiental ha puesto en cuestión la sostenibilidad del modelo basado en combustibles fósiles. Informes del IPCC (2014, 2021) han evidenciado la relación directa entre el sistema energético y el cambio climático, subrayando la urgencia de una descarbonización profunda.

En segundo lugar, la volatilidad geopolítica ha incrementado la incertidumbre en los mercados energéticos. Conflictos regionales, tensiones comerciales y crisis internacionales han demostrado la vulnerabilidad de un sistema altamente interdependiente, en el que las disrupciones locales pueden tener efectos globales inmediatos.

En tercer lugar, la transformación tecnológica ha abierto nuevas posibilidades para la diversificación energética. El desarrollo de energías renovables, el almacenamiento energético, la digitalización de redes y el hidrógeno verde

están configurando un nuevo paradigma energético que desafía la hegemonía de los combustibles fósiles (IRENA, 2023).

Estas dinámicas han dado lugar a un proceso de transición hacia un nuevo régimen energético que se caracteriza por:

- La descarbonización progresiva de la economía.
- La descentralización de la producción energética, con mayor protagonismo de actores locales.
- La digitalización del sistema energético, mediante redes inteligentes y gestión de datos.
- La emergencia de nuevos actores, tanto públicos como privados, en la gobernanza global.

Sin embargo, esta transición no es lineal ni exenta de tensiones. Como advierte Smil (2017), las transiciones energéticas históricas han sido procesos largos, complejos y conflictivos, en los que coexisten múltiples fuentes de energía durante décadas. En este sentido, el actual proceso de transformación debe entenderse como una reconfiguración progresiva del orden energético mundial, más que como una sustitución inmediata de tecnologías.

Desde una perspectiva crítica, algunos autores subrayan que la transición energética puede reproducir, e incluso intensificar, las desigualdades existentes. La creciente demanda de minerales críticos ha generado nuevas dependencias geopolíticas y riesgos socioambientales en los países productores (Sovacool, 2021). Esto plantea interrogantes sobre la equidad y la justicia de la transición.

En este contexto, el concepto de régimen energético internacional adquiere especial relevancia. Siguiendo a Krasner (1983), un régimen internacional se define como el conjunto de principios, normas, reglas y procedimientos que orientan el comportamiento de los actores en un ámbito específico. Aplicado al ámbito energético, este concepto permite analizar cómo se estructuran las relaciones de poder, cooperación y conflicto en torno a la producción y consumo de energía.

El régimen energético contemporáneo se encuentra, por tanto, en una fase de transformación profunda, marcada por la coexistencia de elementos heredados del modelo fósil y nuevas dinámicas orientadas a la sostenibilidad. Esta transición implica no solo cambios tecnológicos, sino también transformaciones institucionales, económicas y culturales.

En síntesis, la energía no es simplemente un recurso, sino un eje estructurante del orden mundial. Su gobernanza refleja las tensiones entre soberanía y cooperación, entre crecimiento y sostenibilidad, y entre poder y equidad. Comprender esta relación es fundamental para analizar la evolución del sistema energético global y los desafíos que plantea su transformación.

En los siguientes apartados, se profundizará en esta evolución histórica, comenzando con el análisis del surgimiento del régimen fósil tras la Segunda Guerra Mundial (3.1.2), que sentó las bases del sistema energético contemporáneo.

3.1.2. El nacimiento del régimen fósil: hegemonía energética y orden geopolítico

El régimen energético contemporáneo tiene su origen en la reconfiguración del orden internacional posterior a la Segunda Guerra Mundial. Este periodo marcó no solo el inicio de una nueva arquitectura política y económica global, sino también la consolidación definitiva de los combustibles fósiles, especialmente el petróleo, como eje central del sistema energético mundial.

La posguerra inauguró una etapa caracterizada por la expansión industrial, el crecimiento económico acelerado y la consolidación de un modelo de consumo masivo, todos ellos profundamente dependientes de una energía abundante, barata y altamente concentrada (Mitchell, 2011). En este contexto, el petróleo sustituyó progresivamente al carbón como fuente dominante, redefiniendo las bases materiales del capitalismo global.

Más que un simple cambio técnico, esta transición supuso la construcción de un verdadero régimen energético fósil, entendido como un sistema estructurado de producción, distribución y consumo de energía basado en re-

laciones de poder específicas, instituciones globales y dinámicas geopolíticas complejas.

Tras la Segunda Guerra Mundial, el petróleo emergió como el recurso energético más importante a nivel global. Su alta densidad energética, facilidad de transporte y versatilidad lo convirtieron en el combustible ideal para sostener la expansión económica de las potencias industriales.

Estados Unidos desempeñó un papel central en esta transformación. Como principal productor y consumidor de petróleo durante la primera mitad del siglo XX, el país no solo lideró la producción, sino que también configuró el sistema institucional que regulaba su distribución global (Yergin, 2020). La alianza estratégica con Arabia Saudí, sellada en 1945, marcó el inicio de una relación geopolítica que perdura hasta hoy.

El petróleo pasó a ser considerado un recurso estratégico, esencial para la seguridad nacional. Como señala Klare (2012), el acceso a suministros energéticos se convirtió en una prioridad de política exterior, dando lugar a intervenciones directas e indirectas en regiones productoras.

Este proceso consolidó una geografía energética desigual, donde:

- El Norte global concentraba el consumo y el control tecnológico.
- El Sur global se especializaba en la extracción de recursos.

Esta división estructural sentó las bases de lo que posteriormente se conceptualizaría como dependencia energética y asimetría geopolítica.

Uno de los elementos definitorios del régimen fósil fue el papel dominante de las grandes corporaciones petroleras, conocidas como las “Siete Hermanas”. Estas empresas, entre ellas Exxon, Shell y BP, controlaban la mayor parte de las reservas, la producción y la distribución de petróleo a nivel mundial durante gran parte del siglo XX.

Como explica Mitchell (2011), este sistema corporativo no solo organizaba la economía del petróleo, sino que también configuraba relaciones de poder

global. Las compañías petroleras actuaban como intermediarias entre Estados productores y consumidores, estableciendo precios, controlando infraestructuras y gestionando flujos comerciales.

Este modelo se caracterizaba por:

- Integración vertical: control de toda la cadena de valor, desde la extracción hasta la distribución.
- Estabilidad de precios: mediante acuerdos oligopolísticos.
- Influencia política: estrecha relación con gobiernos occidentales.

Sin embargo, este dominio corporativo comenzó a ser cuestionado a partir de la década de 1960, especialmente por los países productores, que buscaban recuperar el control sobre sus recursos naturales.

La fundación de la OPEP en 1960 marcó un punto de inflexión en el régimen energético internacional. Por primera vez, los países productores de petróleo se organizaron para coordinar políticas de producción y precios, desafiando el dominio de las compañías occidentales.

Este proceso puede interpretarse como una reapropiación de la soberanía energética, en línea con las teorías de economía política del desarrollo (Prebisch, 1950). Los países del Sur global comenzaron a ejercer mayor control sobre sus recursos, alterando el equilibrio de poder existente.

El momento culminante de esta transformación fue la crisis del petróleo de 1973, cuando la OPEP impuso un embargo a los países occidentales en respuesta a conflictos geopolíticos. Este evento tuvo profundas consecuencias:

- Incremento abrupto de los precios del petróleo.
- Recesión económica en países industrializados.
- Conciencia global sobre la vulnerabilidad energética.

Como resultado, la energía dejó de ser percibida como un recurso abundante y pasó a ser considerada un factor crítico de estabilidad económica y política (Yergin, 2020).

Las crisis energéticas de los años 70 (1973 y 1979) transformaron profundamente la percepción del sistema energético global. La dependencia del petróleo importado reveló la vulnerabilidad de las economías industrializadas, dando lugar al concepto de seguridad energética.

Este concepto implica garantizar:

- Suministros estables y suficientes.
- Precios accesibles.
- Diversificación de fuentes y proveedores.

En respuesta a estas crisis, los países desarrollados adoptaron diversas estrategias:

- Creación de reservas estratégicas de petróleo.
- Diversificación energética (nuclear, gas, renovables).
- Mejora de la eficiencia energética.

Asimismo, se creó la Agencia Internacional de la Energía en 1974, como mecanismo de coordinación entre países consumidores.

Desde una perspectiva teórica, este periodo marca el inicio de la securitización de la energía, es decir, su tratamiento como un asunto de seguridad nacional y no solo económico (Buzan et al., 1998).

A partir de los años 80, el régimen energético experimentó una nueva transformación bajo el influjo de la globalización y las políticas neoliberales. La liberalización de los mercados energéticos, la privatización de empresas públicas y la apertura al comercio internacional redefinieron el funcionamiento del sistema.

Este proceso implicó:

- Mayor competencia en los mercados energéticos.
- Integración global de cadenas de suministro.
- Reducción del papel directo del Estado en la gestión energética.

Sin embargo, esta liberalización no eliminó las asimetrías estructurales. Como señala Newell (2019), el régimen energético global siguió estando marcado por desigualdades en términos de acceso, control tecnológico y capacidad de inversión.

Además, la globalización energética incrementó la interdependencia entre países, lo que, si bien mejoró la eficiencia económica, también aumentó la exposición a riesgos sistémicos.

El régimen energético basado en combustibles fósiles ha generado un crecimiento económico sin precedentes, pero también ha producido externalidades ambientales de gran magnitud.

El informe del IPCC (2023) estima que el sector energético es responsable de aproximadamente el 73 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Estas emisiones son la principal causa del cambio climático antropogénico.

Además del cambio climático, el modelo fósil ha contribuido a:

- Contaminación atmosférica y problemas de salud pública.
- Degradación de ecosistemas.
- Pérdida de biodiversidad.

El concepto de límites planetarios, desarrollado por Rockström et al. (2009), pone de manifiesto que el sistema Tierra tiene umbrales biofísicos que no pueden ser superados sin comprometer la estabilidad global.

Desde esta perspectiva, el régimen fósil no solo es insostenible, sino que representa una amenaza estructural para la continuidad de los sistemas socioecológicos.

El régimen energético fósil, consolidado tras la Segunda Guerra Mundial, ha sido uno de los pilares fundamentales del orden económico y político global. Su desarrollo ha permitido un crecimiento sin precedentes, pero también ha generado profundas desigualdades y una crisis ecológica de alcance planetario.

Este régimen se caracteriza por:

- Dependencia de combustibles fósiles.
- Concentración de poder en actores específicos (Estados y corporaciones).
- Asimetrías geopolíticas entre regiones.
- Externalidades ambientales significativas.

Sin embargo, las tensiones internas del sistema, crisis climática, volatilidad geopolítica, transformación tecnológica, están impulsando una transición hacia un nuevo paradigma energético.

Esta transición no implica simplemente sustituir fuentes de energía, sino transformar el conjunto del sistema energético y sus estructuras de poder. Como se analizará en el siguiente apartado (3.1.3), el sistema energético actual se encuentra en una fase de transición caracterizada por la coexistencia de modelos y la emergencia de nuevas dinámicas globales.

3.1.3. Crisis y transformación del régimen energético global: hacia un nuevo paradigma

El régimen energético fósil, consolidado a lo largo del siglo XX, ha entrado en una fase de crisis estructural que trasciende las fluctuaciones cíclicas de los mercados energéticos. Esta crisis no es únicamente económica o tecnológica, sino profundamente sistémica, en la medida en que cuestiona simultáneamente la viabilidad ecológica, la estabilidad geopolítica y la legitimidad social del modelo energético dominante.

Como advierte Ulrich Beck (1992), las sociedades contemporáneas se caracterizan por la producción de riesgos globales derivados de su propio desarrollo. En el ámbito energético, estos riesgos se manifiestan en forma de cambio climático, inseguridad energética y conflictos por recursos, configurando un escenario de modernidad reflexiva en el que el progreso técnico deja de ser sinónimo automático de bienestar.

En este contexto, la crisis del régimen energético fósil puede interpretarse como un punto de inflexión histórico, en el que convergen múltiples dinámi-

cas de transformación que abren la posibilidad, aunque no la garantía, de un cambio de paradigma.

El principal factor que impulsa la transformación del sistema energético global es la crisis ecológica, y en particular el cambio climático. El modelo energético basado en combustibles fósiles ha generado una acumulación masiva de gases de efecto invernadero que está alterando los equilibrios del sistema climático terrestre.

Según el IPCC (2023), el calentamiento global ya ha alcanzado aproximadamente 1,1 °C respecto a niveles preindustriales, y las trayectorias actuales apuntan a superar el umbral de 1,5 °C en las próximas décadas si no se adoptan medidas drásticas de reducción de emisiones.

Desde la perspectiva de los límites planetarios, desarrollada por Rockström et al. (2009), el sistema energético actual ha sobrepasado varios umbrales críticos, especialmente en relación con el clima, la biodiversidad y los ciclos biogeoquímicos. Esta situación plantea una contradicción fundamental: el mismo sistema que ha permitido el desarrollo económico global amenaza ahora las condiciones que hacen posible la vida en el planeta.

Como señala Johan Rockström, la sostenibilidad energética no puede entenderse como una mejora incremental del sistema existente, sino como una transformación radical que sitúe la actividad humana dentro de un espacio operativo seguro.

Además, la crisis ecológica no afecta de manera homogénea a todos los territorios. Los países del Sur global, que han contribuido en menor medida a las emisiones históricas, son a menudo los más vulnerables a sus impactos, lo que introduce una dimensión de justicia climática en el debate energético (Roberts & Parks, 2007).

La segunda dimensión de la crisis del régimen energético global es de carácter geopolítico. La dependencia de los combustibles fósiles ha generado un sistema altamente interdependiente, pero también vulnerable a conflictos, tensiones y interrupciones.

Las crisis energéticas recientes han evidenciado la fragilidad de este sistema. La volatilidad de los precios del petróleo y del gas, las tensiones en regiones productoras y las disputas comerciales han puesto de manifiesto que la energía sigue siendo un elemento central de la seguridad nacional y de la política internacional (Yergin, 2020).

En este contexto, la noción de seguridad energética ha evolucionado desde una perspectiva centrada en el suministro hacia una visión más amplia que incluye:

- Diversificación de fuentes energéticas.
- Reducción de dependencias externas.
- Resiliencia de infraestructuras críticas.
- Integración de criterios ambientales.

Sin embargo, la transición energética no elimina las dinámicas geopolíticas, sino que las transforma. El foco se desplaza desde los combustibles fósiles hacia nuevos recursos estratégicos, como los minerales críticos (litio, cobalto, níquel) necesarios para tecnologías limpias.

Este fenómeno ha sido descrito como una nueva geopolítica de la energía, en la que el poder ya no depende exclusivamente del control de hidrocarburos, sino también de la capacidad tecnológica, el acceso a materiales y el dominio de las cadenas de valor (IEA, 2023).

Como advierte Sovacool (2021), existe el riesgo de que la transición energética reproduzca patrones de desigualdad similares a los del régimen fósil, dando lugar a formas de “extractivismo verde”.

El régimen energético fósil también enfrenta una crisis económica derivada de la creciente volatilidad de los mercados y de la competencia de nuevas tecnologías.

Por un lado, los precios de los combustibles fósiles están sujetos a fluctuaciones significativas debido a factores geopolíticos, financieros y de oferta

y demanda. Esta volatilidad genera incertidumbre para inversores, empresas y consumidores.

Por otro lado, el descenso acelerado de los costes de las energías renovables ha alterado la lógica económica del sistema energético. Según la International Renewable Energy Agency (2023), la energía solar y eólica son ya, en muchos casos, más competitivas que los combustibles fósiles.

Este cambio ha dado lugar a una transformación estructural de los mercados energéticos, caracterizada por:

- Mayor descentralización de la producción.
- Reducción de barreras de entrada.
- Aparición de nuevos modelos de negocio (prosumidores, comunidades energéticas).

Sin embargo, esta transición económica no está exenta de desafíos. Las inversiones necesarias para la descarbonización son masivas, y existe el riesgo de activos varados (stranded assets) en sectores fósiles (Carney, 2015).

Además, la transición energética puede generar desigualdades económicas si no se gestionan adecuadamente sus impactos distributivos.

Desde la perspectiva de las transiciones sociotécnicas, la crisis del régimen energético puede interpretarse como una ruptura del equilibrio entre paisaje, régimen y nicho (Geels, 2002).

El “régimen” fósil, que durante décadas ha dominado el sistema energético, se enfrenta a presiones crecientes desde:

- El “paisaje”: cambio climático, crisis ecológica, demandas sociales.
- Los “nichos”: innovaciones tecnológicas (renovables, almacenamiento, hidrógeno, digitalización).

Esta tensión genera un proceso de transición en el que coexisten tecnologías y modelos antiguos y nuevos. Sin embargo, el cambio no es automático, ya que el régimen fósil presenta fuertes bloqueos estructurales:

- Infraestructuras existentes.
- Intereses económicos consolidados.
- Marcos regulatorios heredados.
- Resistencias culturales y sociales.

Como señala Unruh (2000), estos bloqueos configuran lo que se denomina “carbon lock-in”, es decir, una dependencia estructural del sistema energético fósil que dificulta su transformación.

Por ello, la transición energética requiere no solo innovación tecnológica, sino también cambios institucionales, culturales y políticos.

A pesar de las resistencias, la crisis del régimen fósil está dando lugar a la emergencia de un nuevo paradigma energético caracterizado por tres grandes tendencias:

- a) Descarbonización; Reducción progresiva de emisiones mediante el despliegue de energías renovables, electrificación y eficiencia energética.
- b) Descentralización; Paso de sistemas centralizados a redes distribuidas, con mayor protagonismo de actores locales y comunitarios.
- c) Digitalización; Integración de tecnologías digitales (IA, big data, smart grids) para optimizar la gestión energética.

Este nuevo paradigma no está plenamente consolidado, sino en proceso de construcción. Como señala Geels (2021), las transiciones energéticas son procesos abiertos, no lineales y profundamente políticos.

La crisis del régimen energético global no implica automáticamente su desaparición, sino su transformación. El sistema actual se encuentra en una fase de transición en la que coexisten elementos del modelo fósil con nuevas configuraciones emergentes.

Este proceso está marcado por tensiones entre:

- Continuidad y cambio.
- Intereses económicos y sostenibilidad.
- Innovación tecnológica y justicia social.

En este sentido, la transición energética debe entenderse como un proceso en disputa, en el que diferentes actores, visiones y modelos compiten por definir el futuro del sistema energético global.

Como advierte Raworth (2017), el desafío no es simplemente hacer crecer la economía de manera más eficiente, sino rediseñar el sistema para que opere dentro de los límites planetarios y garantice el bienestar humano.

3.1.4. El nuevo régimen energético: gobernanza, transición justa y reconfiguración del orden global

La crisis del régimen energético fósil no conduce automáticamente a un sistema alternativo coherente, sino que abre un periodo de transición estructural caracterizado por la incertidumbre, la coexistencia de modelos y la disputa entre diferentes visiones del futuro energético. En este contexto, el denominado “nuevo régimen energético” no debe entenderse como una realidad consolidada, sino como un proceso emergente en construcción.

Este proceso implica no solo la transformación de las fuentes de energía, sino también una profunda reconfiguración de las instituciones, los actores y las relaciones de poder que estructuran el sistema energético global. Como señala Geels (2021), las transiciones energéticas son procesos sociotécnicos complejos en los que interactúan dinámicas tecnológicas, económicas, políticas y culturales.

El nuevo régimen energético se articula en torno a tres grandes ejes: gobernanza global, justicia energética y reconfiguración geopolítica. Estos elementos determinan no solo la dirección de la transición, sino también su legitimidad y sostenibilidad a largo plazo.

Uno de los principales desafíos del nuevo régimen energético es la construcción de mecanismos eficaces de gobernanza global. A diferencia del sistema fósil, relativamente estable y estructurado en torno a actores bien definidos (Estados, corporaciones, organizaciones como la OPEP), el nuevo sistema energético se caracteriza por una mayor complejidad y pluralidad de actores.

Actualmente, la gobernanza energética global presenta un alto grado de fragmentación institucional. Diversas organizaciones, como la Agencia Internacional de la Energía, la International Renewable Energy Agency, el G20 o el sistema de Naciones Unidas, operan con mandatos parciales y, en ocasiones, superpuestos.

El Acuerdo de París constituye el principal marco global para la acción climática, estableciendo objetivos de reducción de emisiones y mecanismos de cooperación internacional. Sin embargo, su carácter no vinculante y la heterogeneidad de los compromisos nacionales limitan su efectividad (Keohane & Oppenheimer, 2016).

En este contexto, la gobernanza del nuevo régimen energético se enfrenta a varios desafíos clave:

- Coordinación internacional insuficiente.
- Asimetrías de poder entre países.
- Falta de financiación climática para el Sur global.
- Debilidad de mecanismos de cumplimiento.

Al mismo tiempo, emergen nuevas formas de gobernanza multinivel que incluyen actores no estatales, como ciudades, empresas y comunidades locales. Este fenómeno refleja una transición hacia un modelo más policéntrico, en línea con las propuestas de Ostrom (2010).

Uno de los elementos centrales del nuevo régimen energético es la necesidad de garantizar una transición justa. Este concepto, impulsado inicialmente por el movimiento sindical y posteriormente adoptado por organismos internacionales como la Organización Internacional del Trabajo, se refiere a la necesidad de asegurar que los costes y beneficios de la transición energética se distribuyan de manera equitativa.

La transición energética implica transformaciones profundas en el mercado laboral, los territorios y las estructuras económicas. Según la OIT (2018), la descarbonización podría generar millones de empleos en sectores verdes, pero también provocar la pérdida de empleos en industrias intensivas en carbono.

Una transición justa requiere:

- Políticas de reconversión laboral y formación.
- Protección social para trabajadores afectados.
- Inversión en regiones dependientes de combustibles fósiles.
- Participación ciudadana en la toma de decisiones.

Desde una perspectiva teórica, la transición justa se vincula con el concepto de justicia energética, que integra dimensiones distributivas, procedimentales y reconocitivas (Sovacool & Dworkin, 2015).

Además, la transición energética tiene una dimensión global de justicia. Los países en desarrollo enfrentan el desafío de descarbonizar sus economías sin haber alcanzado aún niveles de desarrollo comparables a los países industrializados. Esto plantea la cuestión de la responsabilidad histórica y la necesidad de mecanismos de financiación y transferencia tecnológica.

El nuevo régimen energético está redefiniendo la geopolítica global. Aunque la dependencia de los combustibles fósiles está disminuyendo progresivamente, la transición hacia tecnologías limpias genera nuevas dependencias relacionadas con los materiales necesarios para su desarrollo.

Los minerales críticos, son esenciales para la producción de baterías, paneles solares y tecnologías digitales. La distribución geográfica de estos recursos es altamente desigual, lo que genera nuevas dinámicas de poder.

Por ejemplo:

- América Latina concentra gran parte de las reservas de litio.
- África es un actor clave en la producción de cobalto.
- China domina el procesamiento y la fabricación de tecnologías limpias.

Este escenario configura una nueva geopolítica energética, en la que el control de las cadenas de valor y de la tecnología adquiere un papel central (IEA, 2023).

Como advierte Cowen (2014), la logística y las infraestructuras globales se convierten en elementos clave del poder contemporáneo. En el caso de la energía, esto se traduce en la importancia de redes eléctricas, sistemas de almacenamiento y plataformas digitales.

Sin embargo, esta nueva geopolítica también plantea riesgos:

- Reproducción de desigualdades Norte-Sur.
- Conflictos socioambientales en territorios extractivos.
- Dependencia tecnológica de países líderes.

Más allá de las dimensiones tecnológicas y geopolíticas, el nuevo régimen energético implica una transformación cultural profunda. Durante más de dos siglos, el desarrollo económico ha estado asociado a un aumento continuo del consumo de energía.

Sin embargo, la sostenibilidad energética requiere un cambio hacia un modelo basado en la suficiencia, la eficiencia y el respeto a los límites planetarios. Como plantea Raworth (2017), el objetivo no es maximizar el crecimiento, sino situar la actividad económica dentro de un “espacio seguro y justo”.

Este cambio de paradigma implica:

- Redefinir los indicadores de progreso (más allá del PIB).
- Promover estilos de vida sostenibles.
- Fomentar la educación y la conciencia energética.
- Revalorizar la energía como bien común.

La cultura energética se convierte así en un elemento clave para la viabilidad de la transición. Sin cambios en los valores, las normas y los comportamientos sociales, las innovaciones tecnológicas y las políticas públicas serán insuficientes.

Por todo ello, el nuevo régimen energético se encuentra en una fase de construcción marcada por la incertidumbre y la complejidad. A diferencia del sistema fósil, relativamente estable, el nuevo paradigma se caracteriza por:

- Mayor diversidad de actores.
- Innovación tecnológica acelerada.
- Tensiones geopolíticas emergentes.
- Demandas sociales de justicia y sostenibilidad.

Este proceso no sigue una trayectoria lineal ni predeterminada. Como señala Anthony Giddens (2009), las sociedades contemporáneas enfrentan desafíos globales que requieren nuevas formas de gobernanza y cooperación.

En este sentido, la transición energética no es solo un proceso técnico, sino un proyecto político y moral que plantea preguntas fundamentales sobre el futuro del desarrollo humano.

El éxito del nuevo régimen energético dependerá de la capacidad de:

- Integrar sostenibilidad ambiental y justicia social.
- Construir instituciones de gobernanza eficaces.
- Gestionar las tensiones geopolíticas emergentes.
- Promover un cambio cultural hacia la sostenibilidad.

En definitiva, el sistema energético global se encuentra en un momento de transformación histórica. La forma en que se gestione esta transición determinará no solo el futuro de la energía, sino también el del orden mundial y la propia habitabilidad del planeta.

El análisis del régimen energético internacional permite comprender que la energía no es únicamente un recurso técnico o económico, sino un elemento estructurante del orden mundial, profundamente vinculado a las dinámicas de poder, a la organización de la economía global y a las relaciones entre sociedad y naturaleza. A lo largo del siglo XX, el sistema energético basado en combustibles fósiles se consolidó como el soporte material del crecimiento económico, la industrialización y la globalización, configurando un modelo relativamente estable, aunque profundamente desigual y ambientalmente insostenible.

Tal como se ha desarrollado en los apartados anteriores, este régimen energético fósil se articuló sobre tres pilares fundamentales: la centralidad del petróleo y el gas como fuentes dominantes, la concentración del poder en Estados y corporaciones capaces de controlar su producción y distribución, y la existencia de un marco institucional internacional que, aun siendo fragmentado, permitió garantizar un cierto grado de estabilidad en los mercados energéticos. Sin embargo, este modelo generó también externalidades de gran magnitud, especialmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, degradación ambiental y desigualdades territoriales.

La emergencia de la crisis climática, ampliamente documentada por el IPCC (2023), ha puesto en evidencia la incompatibilidad entre este modelo energético y la estabilidad del sistema Tierra. En este sentido, la crisis del régimen fósil no debe interpretarse como una disfunción puntual, sino como una crisis estructural, que cuestiona los fundamentos mismos del modelo de desarrollo contemporáneo.

A esta dimensión ecológica se suman otras formas de crisis que refuerzan el carácter sistémico del problema. En el plano geopolítico, la dependencia de recursos energéticos concentrados en determinadas regiones ha generado tensiones recurrentes, conflictos y vulnerabilidades que ponen en cuestión la seguridad energética global (Yergin, 2020). En el plano económico, la volatilidad de los mercados fósiles y la irrupción de tecnologías renovables más competitivas están transformando las bases del sistema energético. Y en el plano sociotécnico, los bloqueos estructurales del régimen fósil dificultan una transición rápida y ordenada hacia alternativas sostenibles (Unruh, 2000).

En este contexto, la transición energética emerge como un proceso inevitable, pero no necesariamente lineal ni consensuado. Lejos de representar una simple sustitución de fuentes energéticas, la transición implica una reconfiguración profunda del sistema energético global, incluyendo sus dimensiones tecnológicas, institucionales, económicas y culturales. Como señala Frank Geels (2021), se trata de un proceso sociotécnico complejo, caracterizado por la interacción entre múltiples niveles y actores.

El nuevo régimen energético en construcción presenta rasgos claramente diferenciados respecto al modelo fósil. Entre ellos destacan la creciente im-

portancia de las energías renovables, la descentralización de la producción energética, la digitalización de las infraestructuras y la emergencia de nuevos actores en la gobernanza del sistema. No obstante, este nuevo paradigma no está exento de contradicciones. La dependencia de minerales críticos, las desigualdades en el acceso a la tecnología y los conflictos socioambientales asociados a la transición evidencian que los problemas del régimen fósil no desaparecen, sino que pueden transformarse y reproducirse bajo nuevas formas (Sovacool, 2021).

En este sentido, uno de los principales desafíos del nuevo régimen energético es garantizar que la transición sea justa, inclusiva y sostenible. El concepto de transición justa, promovido por organismos como la Organización Internacional del Trabajo, pone de relieve la necesidad de considerar no solo la dimensión ambiental, sino también los impactos sociales y económicos del cambio. La distribución de los costes y beneficios de la transición, tanto entre países como dentro de ellos, se convierte así en una cuestión central para su legitimidad.

Asimismo, la gobernanza energética global se enfrenta al reto de adaptarse a un sistema más complejo y fragmentado. La coexistencia de múltiples actores, Estados, organizaciones internacionales, empresas, ciudades y comunidades, requiere nuevos mecanismos de coordinación y cooperación. Sin embargo, como se ha señalado, la arquitectura institucional actual presenta importantes limitaciones en términos de eficacia y equidad.

Desde una perspectiva teórica, el análisis desarrollado en este apartado permite interpretar la transición energética como un proceso abierto y en disputa, en el que diferentes modelos de desarrollo compiten por definir el futuro del sistema energético global. En palabras de Raworth (2017), el desafío no es simplemente hacer “más verde” el crecimiento económico, sino repensar el sistema para que funcione dentro de los límites planetarios y garantice el bienestar humano.

En definitiva, el régimen energético internacional se encuentra en un momento de transformación histórica. La transición hacia un sistema energético sostenible no está predeterminada, sino que dependerá de las decisiones políticas, las innovaciones tecnológicas y los cambios culturales que

se produzcan en las próximas décadas. La energía, como eje central de la organización social y económica, seguirá siendo un campo clave de disputa y negociación.

Este análisis proporciona el marco conceptual necesario para avanzar hacia el siguiente apartado del capítulo, en el que se abordará la dimensión metodológica y aplicada de la transición energética. En particular, el apartado 3.2 se centrará en los instrumentos analíticos, los indicadores y las herramientas de evaluación que permiten operacionalizar los conceptos desarrollados, facilitando su aplicación en contextos empíricos concretos.

De este modo, el capítulo transita desde un enfoque estructural y teórico hacia una aproximación más operativa, manteniendo como hilo conductor la comprensión de la transición energética como un fenómeno complejo, multidimensional y profundamente interconectado con los desafíos globales del siglo XXI.

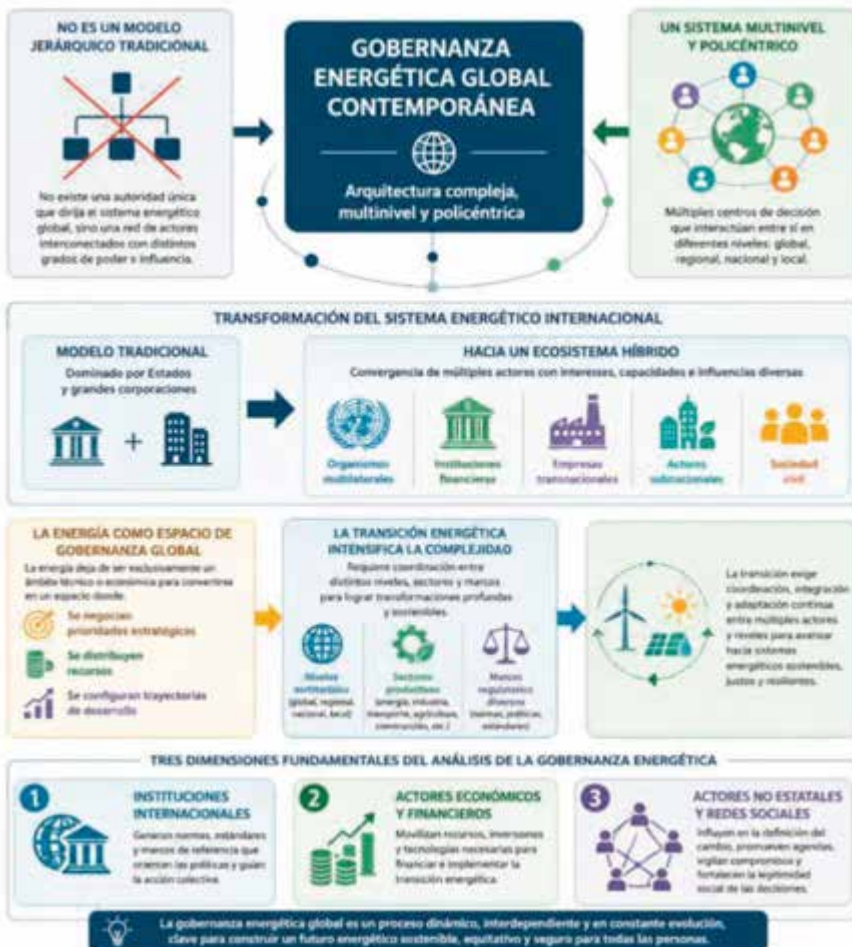
3.2. Instituciones, alianzas y actores de la gobernanza energética

La gobernanza energética global contemporánea no responde a un modelo jerárquico tradicional, sino a una arquitectura compleja, multinivel y policéntrica en la que interactúan múltiples actores con intereses, capacidades y grados de influencia diversos. Este entramado institucional refleja la transformación del sistema energético internacional desde un esquema dominado por Estados y grandes corporaciones hacia un ecosistema híbrido donde confluyen organismos multilaterales, instituciones financieras, empresas transnacionales, actores subnacionales y sociedad civil (Florini & Sovacool, 2009).

En este contexto, la energía deja de ser exclusivamente un ámbito técnico o económico para convertirse en un espacio de gobernanza global donde se negocian prioridades estratégicas, se distribuyen recursos y se configuran las trayectorias de desarrollo. La transición energética, en particular, intensifica esta complejidad al requerir coordinación entre niveles territoriales, sectores productivos y marcos regulatorios diversos.

El análisis de la gobernanza energética exige, por tanto, comprender tres dimensiones fundamentales:

- El papel de las instituciones internacionales como generadoras de normas y marcos de referencia
- La función de los actores económicos y financieros en la movilización de recursos
- La creciente influencia de actores no estatales y redes sociales en la definición del cambio



3.2.1. Instituciones multilaterales y arquitectura normativa global

La configuración institucional de la gobernanza energética global constituye uno de los pilares fundamentales sobre los que se articula la transición hacia un sistema energético sostenible. Lejos de existir una autoridad centralizada que regule de forma unificada el sistema energético mundial, la arquitectura institucional se caracteriza por una pluralidad de organismos internacionales que operan con distintos mandatos, niveles de influencia y capacidades de intervención.

Estas instituciones no solo desempeñan funciones técnicas o administrativas, sino que actúan como espacios de construcción normativa, producción de conocimiento y coordinación política entre Estados. A través de acuerdos multilaterales, marcos regulatorios y recomendaciones estratégicas, contribuyen a definir los principios, objetivos y mecanismos que orientan la acción colectiva en materia energética y climática (Keohane & Victor, 2011).

En el contexto de la transición energética, el papel de estas organizaciones adquiere una relevancia creciente. La necesidad de reducir emisiones, garantizar el acceso universal a la energía y gestionar recursos estratégicos en un entorno de incertidumbre global exige marcos institucionales capaces de integrar intereses divergentes y promover soluciones cooperativas. Sin embargo, esta gobernanza institucional enfrenta importantes limitaciones, derivadas de la falta de mecanismos vinculantes, la fragmentación normativa y las asimetrías de poder entre países (Hale, 2020).

El presente apartado examina el papel de las principales instituciones multilaterales en la gobernanza energética global, analizando su evolución, sus funciones y su capacidad real para impulsar la transición hacia un modelo energético más sostenible, equitativo y resiliente.

a) Naciones Unidas y la institucionalización de la sostenibilidad energética

La Organización de las Naciones Unidas constituye el principal marco normativo de la gobernanza energética global, no tanto por su capacidad coercitiva como por su legitimidad política y su capacidad de articulación de

consensos internacionales. A través de sus múltiples agencias y programas, la ONU ha integrado progresivamente la energía en la agenda global del desarrollo sostenible.

El punto de inflexión se produce con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), que establece el vínculo estructural entre sistema energético y cambio climático. Este marco se consolida posteriormente con el Acuerdo de París, que redefine la gobernanza energética en términos de compromisos nacionales, transparencia y cooperación internacional.

Asimismo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 7, institucionalizan el acceso a la energía como un derecho fundamental vinculado al desarrollo humano, incorporando dimensiones de equidad, sostenibilidad y eficiencia (UN, 2022).

Este entramado normativo configura lo que Hale (2020) denomina “gobernanza climática cooperativa”, caracterizada por la ausencia de coerción directa y la centralidad de mecanismos de seguimiento, reputación y aprendizaje colectivo.

b) Agencias especializadas y producción de conocimiento energético

Las agencias técnicas desempeñan un papel crucial en la gobernanza energética al proporcionar datos, análisis y recomendaciones de política pública. Entre ellas destacan:

- Agencia Internacional de la Energía: tradicionalmente centrada en la seguridad energética, ha evolucionado hacia un actor clave en la transición energética, produciendo escenarios globales y recomendaciones estratégicas.
- Agencia Internacional de Energías Renovables: orientada específicamente a la promoción de energías limpias, con un enfoque más inclusivo y cooperativo.
- Organización de Países Exportadores de Petróleo: actor histórico de regulación de la oferta fósil, cuya influencia persiste en los mercados energéticos globales.

Estas instituciones no solo generan conocimiento, sino que también configuran narrativas dominantes sobre la transición energética, influyendo en la toma de decisiones a nivel global. Como señala Jasanoff (2018), el conocimiento experto es una forma de poder que estructura las políticas públicas.

3.2.2. Actores económicos, financieros y regionales

Más allá del ámbito estrictamente institucional, la gobernanza energética global se encuentra profundamente condicionada por la actuación de actores económicos y regionales que operan como vectores clave en la configuración de las dinámicas de producción, inversión y distribución de la energía. En particular, las instituciones financieras, los procesos de integración regional y las grandes corporaciones energéticas desempeñan un papel determinante en la orientación material de la transición energética.

Estos actores no solo canalizan recursos, sino que también configuran incentivos, establecen prioridades tecnológicas y condicionan las trayectorias de desarrollo energético a escala global. En un contexto marcado por la creciente financiarización de la economía, la transición energética se convierte en un campo de inversión estratégica donde convergen intereses económicos, riesgos climáticos y oportunidades de innovación (Newell, 2019).

Al mismo tiempo, los espacios regionales emergen como niveles intermedios de gobernanza capaces de articular respuestas más adaptadas a contextos específicos, mientras que las corporaciones transnacionales continúan ejerciendo una influencia significativa sobre los mercados energéticos y las decisiones políticas.

Este apartado analiza, por tanto, el papel de estos actores en la gobernanza energética global, poniendo especial énfasis en las tensiones entre rentabilidad, sostenibilidad y equidad que atraviesan la economía política de la transición energética.

a) Instituciones financieras y economía política de la transición energética

La transición energética requiere movilizar volúmenes masivos de capital, lo que sitúa a las instituciones financieras en el centro de la gobernanza

global. Organismos como el Banco Mundial, el Fondo Verde para el Clima y los bancos multilaterales de desarrollo desempeñan un papel estratégico en la financiación de infraestructuras energéticas y proyectos de descarbonización.

Estos actores no solo asignan recursos, sino que también condicionan las trayectorias de desarrollo mediante criterios de elegibilidad, evaluación de riesgos y prioridades estratégicas. En este sentido, la gobernanza energética está profundamente imbricada con la arquitectura financiera internacional (Newell, 2019).

El auge de los criterios ESG (Environmental, Social and Governance) y de los bonos verdes refleja una creciente financiarización de la sostenibilidad, donde los mercados de capital se convierten en mecanismos de gobernanza indirecta. Sin embargo, esta tendencia plantea interrogantes sobre la equidad, ya que la mayor parte de las inversiones se concentran en economías avanzadas, ampliando la brecha Norte–Sur.

b) Integración regional y gobernanza multinivel

Los procesos de integración regional constituyen un nivel intermedio fundamental en la gobernanza energética. La Unión Europea representa el caso más avanzado de gobernanza supranacional, con políticas energéticas comunes, regulación ambiental y objetivos vinculantes de descarbonización.

El Pacto Verde Europeo ejemplifica un enfoque integral que combina regulación, inversión y planificación estratégica, articulando la transición energética como proyecto político de largo plazo (European Commission, 2022).

En otras regiones, como América Latina, África o Asia, los procesos de integración energética son más fragmentados, pero igualmente relevantes. Iniciativas como OLADE, ASEAN Energy Cooperation o la Unión Africana reflejan la emergencia de modelos regionales adaptados a contextos específicos.

Estos espacios regionales permiten:

- Optimizar recursos energéticos
- Reducir vulnerabilidades externas
- Coordinar políticas públicas

No obstante, su eficacia depende de la estabilidad política, la capacidad institucional y la convergencia de intereses entre los Estados miembros.

c) Corporaciones energéticas y poder transnacional

Las empresas transnacionales constituyen actores centrales en la gobernanza energética, dado su control sobre tecnologías, infraestructuras y cadenas de valor. Las grandes compañías energéticas, tanto tradicionales como emergentes, influyen en la transición mediante decisiones de inversión, innovación y lobby político (Bridge & Le Billon, 2017).

En los últimos años, muchas de estas corporaciones han adoptado estrategias de diversificación hacia energías renovables. Sin embargo, diversos estudios cuestionan la profundidad de estos cambios, señalando la persistencia de modelos de negocio basados en combustibles fósiles (Heede, 2023).

Este fenómeno plantea una tensión clave: la transición energética depende en gran medida de actores que han sido históricamente responsables del modelo fósil, lo que genera conflictos entre rentabilidad y sostenibilidad.

3.2.3. Actores emergentes y nuevas dinámicas de gobernanza

La creciente complejidad del sistema energético global ha propiciado la emergencia de nuevos actores y formas de gobernanza que desbordan los marcos tradicionales centrados en los Estados y las instituciones internacionales. En este nuevo escenario, la sociedad civil, los gobiernos locales, las redes transnacionales y los productores de conocimiento adquieren un protagonismo creciente en la definición de las agendas energéticas y climáticas.

Estos actores introducen nuevas lógicas de acción basadas en la participación, la legitimidad social y la innovación institucional, ampliando el campo de la gobernanza más allá de los canales formales. La transición energética se convierte así en un proceso no solo técnico o económico, sino también profundamente social y político, en el que se disputan visiones del desarrollo, modelos de bienestar y formas de relación con la naturaleza (Scoones et al., 2020).

La incorporación de estos actores plantea, sin embargo, importantes desafíos en términos de coordinación, representatividad y eficacia. La multiplicidad de iniciativas y niveles de acción puede generar tanto sinergias como fragmentación, lo que refuerza la necesidad de marcos de gobernanza capaces de integrar diversidad sin perder coherencia.

En este contexto, el presente apartado examina el papel de los actores emergentes en la gobernanza energética, analizando su capacidad para democratizar el sistema, impulsar la innovación y contribuir a una transición energética más inclusiva y sostenible.

a) Sociedad civil, movimientos sociales y democratización energética

La creciente movilización social en torno al cambio climático ha introducido nuevos actores en la gobernanza energética. Movimientos como Fridays for Future o Extinction Rebellion han contribuido a redefinir el debate público, presionando a gobiernos y empresas hacia compromisos más ambiciosos.

Estos actores operan principalmente a través de mecanismos de legitimidad moral y movilización social, más que mediante poder económico o institucional. Su influencia radica en su capacidad para:

- Generar presión política
- Transformar narrativas sociales
- Visibilizar desigualdades

El concepto de “democracia energética” (Szulecki, 2018) emerge en este contexto como una propuesta para ampliar la participación ciudadana en la toma de decisiones energéticas.

b) Ciudades, territorios y gobernanza local

Las ciudades y gobiernos locales desempeñan un papel cada vez más relevante en la transición energética, actuando como laboratorios de innovación y gobernanza. Redes como C40 Cities o ICLEI muestran cómo la acción local

puede complementar, e incluso superar, la acción estatal en determinados ámbitos (Bulkeley & Betsill, 2013).

La descentralización energética, impulsada por tecnologías renovables y sistemas distribuidos, refuerza esta tendencia, permitiendo una mayor participación de comunidades locales en la producción y gestión de energía.

c) Conocimiento, tecnología y geopolítica del saber

El conocimiento científico y tecnológico constituye un recurso estratégico en la gobernanza energética. Instituciones académicas, centros de investigación y paneles de expertos influyen en la definición de políticas mediante la producción de evidencia y escenarios futuros.

Sin embargo, este conocimiento está desigualmente distribuido, lo que genera lo que algunos autores denominan “geopolítica del conocimiento” (Jasanoff, 2018). Los países del Norte global concentran capacidades de investigación, mientras que los del Sur dependen de transferencia tecnológica.

Esta asimetría plantea la necesidad de democratizar el acceso al conocimiento y promover la cooperación científica internacional como condición para una transición energética justa.

Conclusión

El análisis desarrollado a lo largo de este capítulo permite afirmar que la gobernanza energética constituye uno de los elementos más críticos y complejos de la transición hacia la sostenibilidad. Lejos de tratarse de un marco institucional estable y coherente, el régimen energético internacional se caracteriza por su fragmentación, su carácter dinámico y la coexistencia de múltiples actores, intereses y escalas de actuación.

En primer lugar, el recorrido histórico del régimen energético global ha puesto de manifiesto que la energía ha sido, de forma constante, un factor estructurante del orden internacional. Desde la consolidación del sistema fósil hasta las actuales dinámicas de transición, el control de los recursos energéti-

cos, las infraestructuras y las tecnologías ha configurado relaciones de poder, dependencias geopolíticas y patrones de desarrollo profundamente desiguales. La actual transición energética no elimina estas dinámicas, sino que las reconfigura en torno a nuevos vectores estratégicos, como las energías renovables, los minerales críticos o la innovación tecnológica.

En segundo lugar, el análisis de las instituciones y actores de la gobernanza energética ha evidenciado la existencia de una arquitectura global compleja y multinivel, en la que intervienen organismos multilaterales, Estados, empresas, instituciones financieras, gobiernos locales y sociedad civil. Esta diversidad de actores refleja la creciente importancia de la energía como cuestión transversal, pero también introduce importantes desafíos de coordinación, coherencia y eficacia en la toma de decisiones.

Asimismo, el capítulo ha puesto de relieve que la gobernanza energética contemporánea se enfrenta a una tensión estructural entre, por un lado, la necesidad de cooperación internacional para abordar problemas globales como el cambio climático y, por otro, la persistencia de intereses nacionales, asimetrías de poder y estrategias geopolíticas divergentes. Esta tensión dificulta la construcción de marcos regulatorios globales sólidos y limita la capacidad de implementar de forma efectiva los compromisos climáticos.

Otro elemento central es la creciente relevancia de actores emergentes y nuevas dinámicas de gobernanza. La participación de ciudades, regiones, comunidades energéticas y actores no estatales está transformando la forma en que se toman decisiones en el ámbito energético, introduciendo modelos más descentralizados y participativos. Sin embargo, esta pluralidad también puede generar fragmentación si no se articula adecuadamente dentro de marcos institucionales coherentes.

En este contexto, la sostenibilidad energética no puede alcanzarse sin una transformación profunda de la gobernanza global. No basta con desarrollar nuevas tecnologías o implementar políticas aisladas; es necesario construir sistemas de gobernanza capaces de integrar múltiples niveles de decisión, coordinar actores diversos y garantizar la coherencia entre objetivos ambientales, económicos y sociales.

Finalmente, este capítulo pone de manifiesto que la gobernanza energética es, en última instancia, un problema político. La transición energética implica decisiones sobre la distribución de recursos, la asignación de costes y beneficios, y la definición de prioridades colectivas. Por ello, su éxito dependerá no solo de la capacidad técnica o institucional, sino también de la legitimidad democrática, la justicia en la toma de decisiones y la capacidad de generar consensos en un contexto global marcado por la incertidumbre y la desigualdad.

En síntesis, la gobernanza global de la sostenibilidad energética se configura como un elemento clave para orientar la transición hacia un sistema energético más justo, resiliente y compatible con los límites del planeta. Sin una arquitectura institucional capaz de gestionar esta complejidad, los avances tecnológicos y las políticas climáticas corren el riesgo de resultar insuficientes frente a la magnitud del desafío.

La gobernanza energética global se configura como un sistema complejo, multinivel y policéntrico en el que interactúan instituciones, mercados y sociedad civil. Esta pluralidad de actores constituye tanto una fortaleza, por su capacidad de innovación, como una fuente de fragmentación y conflicto.

El análisis realizado permite identificar tres tendencias clave:

- La consolidación de marcos normativos globales basados en cooperación y soft law
- La creciente centralidad de actores financieros y corporativos en la transición energética
- La emergencia de nuevos actores sociales y territoriales que demandan mayor participación y equidad

El principal desafío radica en articular coherencia entre estos niveles y actores, evitando que la fragmentación institucional comprometa la eficacia de la transición energética.

En este sentido, la gobernanza del futuro deberá combinar coordinación global, adaptación local y participación democrática, integrando dimensiones económicas, sociales y ambientales en un marco coherente.

CAPÍTULO 4
ECONOMÍA Y TRANSFORMACIÓN
INDUSTRIAL EN LA ERA POSTCARBONO

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente
Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona

Dra. Josefa Boria-Reverter
Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona

La transición energética contemporánea no constituye únicamente un desafío técnico o ambiental, sino una transformación estructural de carácter económico, industrial y social que redefine los fundamentos mismos del desarrollo. Al igual que la Revolución Industrial supuso la consolidación de un modelo basado en la explotación intensiva de combustibles fósiles, y la revolución digital reconfiguró los sistemas productivos y de información, la transición hacia una economía postcarbono representa una mutación sistémica que afecta simultáneamente a la producción, el consumo, el trabajo y la organización del capital.

Durante más de dos siglos, el crecimiento económico global ha estado estrechamente vinculado a la disponibilidad de energía fósil abundante y de bajo coste. Este modelo permitió avances significativos en productividad, comercio internacional y bienestar material, pero también generó una profunda dependencia estructural de recursos finitos y una acumulación progresiva de externalidades ambientales, particularmente en forma de emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, la crisis climática no puede entenderse como una disfunción puntual del sistema económico, sino como la consecuencia inherente de su lógica expansiva y extractiva.

En el contexto del siglo XXI, la necesidad de descarbonizar la economía introduce una tensión fundamental entre crecimiento, sostenibilidad y equidad. El reto ya no consiste únicamente en sustituir unas fuentes energéticas por otras, sino en rediseñar el metabolismo económico global para hacerlo compatible con los límites biofísicos del planeta (Rockström et al., 2009). Esto implica avanzar hacia modelos productivos capaces de generar valor sin incrementar proporcionalmente el consumo de recursos y energía, así como reconfigurar las estructuras industriales que sustentan la economía contemporánea.

La economía postcarbono emerge, por tanto, como un nuevo paradigma que integra dimensiones tecnológicas, institucionales y sociales. En este marco, conceptos como bioeconomía circular, desacoplamiento, innovación verde o transición justa adquieren centralidad analítica. No se trata únicamente de mejorar la eficiencia del sistema existente, sino de transformarlo en profundidad, incorporando criterios de sostenibilidad, resiliencia y justicia distributiva.

Asimismo, la transformación industrial desempeña un papel clave en este proceso. Sectores intensivos en carbono, como la siderurgia, el cemento, la petroquímica o el transporte, deben experimentar cambios tecnológicos y organizativos sin precedentes. La electrificación, el hidrógeno verde, la digitalización y la economía circular configuran los pilares tecnológicos de esta transición, pero su despliegue efectivo depende de marcos institucionales adecuados, políticas industriales activas y sistemas de financiación coherentes con los objetivos climáticos.

En paralelo, la transición energética redefine la arquitectura económica global. Los instrumentos fiscales, los mercados de carbono, las finanzas sostenibles y la inversión pública adquieren una función estratégica en la orientación de los flujos de capital hacia actividades bajas en carbono. La economía deja de ser un sistema neutral para convertirse en un espacio de gobernanza donde se disputan modelos de desarrollo, prioridades políticas y visiones del bienestar.

Finalmente, esta transformación no puede desvincularse de su dimensión social. El cambio hacia una economía postcarbono implica la creación y destrucción de empleo, la reconfiguración de territorios productivos y la necesidad de garantizar una transición justa que no profundice las desigualdades existentes. El trabajo, la equidad y la participación social se convierten así en elementos centrales para asegurar la legitimidad y viabilidad del proceso de cambio.

En este contexto, el presente capítulo tiene como objetivo analizar los fundamentos económicos, industriales y sociales de la transición hacia una economía postcarbono. Para ello, se estructura en cuatro grandes apartados. En primer lugar, se examinan los fundamentos teóricos de la economía postcarbono, incluyendo el papel de la bioeconomía circular, el desacoplamiento y la innovación verde (4.1). En segundo lugar, se analiza la transformación de los sistemas industriales y el impacto de las tecnologías emergentes en la descarbonización productiva (4.2). En tercer lugar, se abordan los instrumentos económicos, fiscales y financieros que permiten materializar la transición energética (4.3). Finalmente, se estudian las implicaciones laborales y sociales del nuevo modelo económico, con especial atención al concepto de transición justa (4.4).

Lejos de representar una simple adaptación del sistema económico existente, la transición hacia una economía postcarbono constituye un proceso de reconfiguración profunda que redefine la relación entre economía, energía y sociedad. Su éxito dependerá no solo de la innovación tecnológica, sino de la capacidad colectiva para articular un nuevo contrato social basado en la sostenibilidad, la equidad y la resiliencia.

4.1. Fundamentos de la economía postcarbono

La transición hacia una economía postcarbono no puede entenderse únicamente como un proceso de sustitución energética, sino como una transformación profunda de los principios que han sustentado el desarrollo económico moderno. Durante más de dos siglos, el crecimiento se ha basado en la disponibilidad creciente de energía fósil, en la expansión material y en una lógica lineal de producción y consumo. Este modelo, aunque exitoso en términos de acumulación y progreso material, ha generado desequilibrios ecológicos y sociales que hoy se manifiestan en forma de crisis climática, degradación ambiental y desigualdad estructural.

En este contexto, la economía postcarbono emerge como un nuevo paradigma que busca compatibilizar la actividad económica con los límites biofísicos del planeta. Este enfoque no solo redefine las fuentes energéticas, sino también la naturaleza del valor, los patrones de consumo, la organización productiva y el papel de las instituciones. Conceptos como bioeconomía circular, desacoplamiento, innovación verde o bienestar sostenible constituyen los pilares teóricos de este nuevo marco.

El presente apartado analiza estos fundamentos desde una perspectiva integradora. En primer lugar, se examina la transición desde la economía fósil hacia modelos circulares y regenerativos. En segundo lugar, se aborda el debate sobre el desacoplamiento entre crecimiento económico y uso de recursos. Finalmente, se analiza el papel de la innovación y los distintos paradigmas de transformación estructural que configuran la economía postcarbono.

4.1.1. De la economía fósil a la bioeconomía circular

El modelo económico dominante desde la Revolución Industrial puede caracterizarse como un sistema fósil-extractivista, basado en la extracción intensiva de recursos naturales, su transformación en bienes de consumo y su posterior eliminación como residuos. Esta lógica lineal, extraer, producir, consumir y desechar, ha permitido una expansión sin precedentes del producto interior bruto (PIB) global, pero ha generado al mismo tiempo una presión insostenible sobre los sistemas naturales.

El uso masivo de carbón, petróleo y gas natural ha sido el motor energético de este modelo. Sin embargo, su carácter finito y su impacto climático han puesto de manifiesto sus límites estructurales. La acumulación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas evidencian que el sistema económico actual excede la capacidad de carga del planeta (Rockström et al., 2009).

Frente a este paradigma, la bioeconomía circular propone una transformación radical de la lógica productiva. Este enfoque se fundamenta en la integración de los flujos económicos dentro de los ciclos naturales, minimizando el desperdicio y maximizando la eficiencia en el uso de recursos. A diferencia del modelo lineal, la economía circular se basa en tres principios fundamentales:

- El uso sostenible de recursos renovables, como la biomasa, la energía solar o la eólica.
- La reutilización, reciclaje y valorización de residuos como insumos productivos.
- La prolongación del ciclo de vida de los productos mediante diseño ecológico y mantenimiento.

En este marco, los residuos dejan de ser considerados externalidades y pasan a formar parte del sistema productivo como recursos secundarios. Este cambio implica una redefinición del concepto de eficiencia: no se trata únicamente de producir más con menos, sino de producir mejor, reduciendo el impacto ambiental y preservando el capital natural.

Autores como Stahel (2019) destacan que la economía circular no es solo un modelo técnico, sino un cambio cultural profundo que redefine la relación entre economía y naturaleza. Desde esta perspectiva, la bioeconomía circular introduce una nueva racionalidad económica basada en la regeneración de los sistemas naturales y en la cooperación con los ciclos ecológicos.

No obstante, su implementación enfrenta desafíos significativos. La transición requiere inversiones en infraestructura, cambios regulatorios, innovación tecnológica y, sobre todo, una transformación de los patrones de consumo. La circularidad no puede limitarse a mejoras marginales en eficiencia, sino que exige una reconfiguración estructural del sistema económico.

4.1.2. El desacoplamiento y los límites del crecimiento verde

Uno de los debates centrales en la economía postcarbono gira en torno al concepto de desacoplamiento (decoupling), entendido como la posibilidad de desvincular el crecimiento económico del uso de recursos naturales y de las emisiones contaminantes.

Se distinguen dos tipos de desacoplamiento:

- Desacoplamiento relativo, cuando la intensidad energética o material del PIB disminuye, pero el consumo total de recursos sigue aumentando.
- Desacoplamiento absoluto, cuando el uso total de recursos y las emisiones disminuyen en términos absolutos, independientemente del crecimiento económico.

La evidencia empírica muestra que, si bien algunos países han logrado desacoplamientos relativos, el desacoplamiento absoluto a escala global sigue siendo limitado (Haberl et al., 2020). El crecimiento económico continúa estando estrechamente vinculado al consumo de energía y materiales, especialmente en economías emergentes.

Este hecho ha generado un intenso debate teórico. Por un lado, los defensores del crecimiento verde sostienen que la innovación tecnológica, la eficiencia energética y las energías renovables permitirán mantener el creci-

miento económico reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental (OECD, 2021). Desde esta perspectiva, el desacoplamiento es no solo posible, sino necesario para compatibilizar desarrollo y sostenibilidad.

Por otro lado, autores críticos como Hickel y Kallis (2020) argumentan que el desacoplamiento absoluto a gran escala es improbable dentro del sistema económico actual. Señalan que los avances en eficiencia suelen verse compensados por el efecto rebote, donde la reducción de costes incrementa el consumo total. En este sentido, sostienen que el crecimiento perpetuo es incompatible con un planeta finito.

Entre ambas posiciones emerge una visión intermedia centrada en el concepto de suficiencia. Este enfoque no se limita a mejorar la eficiencia, sino que cuestiona los niveles de consumo y propone redefinir el bienestar más allá del crecimiento económico. La economía del “donut” de Raworth (2017) es un ejemplo paradigmático de esta visión, al situar la actividad económica dentro de un espacio seguro que equilibra necesidades sociales y límites ecológicos.

En este contexto, la economía postcarbono no puede basarse exclusivamente en el desacoplamiento tecnológico, sino que requiere también cambios en los patrones de producción y consumo. La sostenibilidad no depende únicamente de cómo producimos, sino también de cuánto y para qué producimos.

4.1.3. Innovación verde y paradigmas de transformación estructural

La innovación tecnológica desempeña un papel fundamental en la transición hacia una economía postcarbono. Sin embargo, su impacto no depende únicamente de su desarrollo, sino de su orientación y de los marcos institucionales que la regulan.

Desde la perspectiva schumpeteriana, el desarrollo económico se produce a través de procesos de destrucción creativa, donde nuevas tecnologías sustituyen a las antiguas (Schumpeter, 1939). En el contexto actual, esta dinámica se reformula bajo el concepto de innovación verde, entendida como el conjunto de tecnologías, procesos y modelos de negocio orientados a reducir el impacto ambiental.

Perez (2013) introduce la idea de una nueva revolución tecnoeconómica basada en la sostenibilidad, donde la transición energética se convierte en el núcleo de una nueva fase de desarrollo. Esta transformación no es automática, sino que requiere una alineación entre tecnología, políticas públicas e inversión.

Diversos enfoques teóricos permiten comprender este proceso:

- La teoría del cambio estructural verde (Aghion et al., 2016), que destaca el papel de las políticas públicas en la orientación del progreso tecnológico.
- La hipótesis Porter (Porter & van der Linde, 1995), que sostiene que la regulación ambiental puede estimular la innovación y la competitividad.
- La economía evolutiva (Nelson & Winter, 2002), que enfatiza el aprendizaje colectivo y la adaptación institucional.

Estos enfoques coinciden en señalar que la innovación verde no surge de manera espontánea, sino que depende de ecosistemas institucionales que incentiven la sostenibilidad. En este sentido, el Estado desempeña un papel clave como agente orientador de la innovación (Mazzucato, 2018), impulsando misiones estratégicas como la neutralidad climática o la transición energética.

No obstante, la innovación tecnológica por sí sola no garantiza la sostenibilidad. Puede incluso generar nuevas externalidades si no se integra en un marco sistémico. Por ello, la economía postcarbono requiere una combinación de innovación tecnológica, cambios institucionales y transformación cultural.

En última instancia, la transición hacia una economía sostenible no es únicamente un proceso técnico, sino un cambio de paradigma que redefine el concepto de progreso. El objetivo deja de ser el crecimiento ilimitado para centrarse en la construcción de sistemas económicos resilientes, equitativos y compatibles con los límites planetarios.

Los fundamentos de la economía postcarbono, pues, revelan que la transición energética implica una transformación estructural del sistema econó-

mico. No se trata únicamente de sustituir combustibles fósiles por energías renovables, sino de redefinir la lógica del desarrollo, integrando los límites ecológicos en la toma de decisiones económicas.

La bioeconomía circular, el debate sobre el desacoplamiento y el papel de la innovación verde muestran que la sostenibilidad requiere una combinación de eficiencia, suficiencia y transformación institucional. El desafío no es solo tecnológico, sino también político, social y cultural.

Este marco teórico constituye la base para comprender la transformación industrial que se analiza en el siguiente apartado, donde se abordará cómo los sistemas productivos pueden adaptarse a las exigencias de la economía postcarbón.

FUNDAMENTOS DE LA ECONOMÍA POSTCARBONO

De la sustitución energética a una transformación estructural del desarrollo



La transición hacia una economía postcarbón no consiste solo en sustituir combustibles fósiles por energías renovables. Implica redefinir la lógica del crecimiento, la organización productiva, los patrones de consumo y el papel de las instituciones, dentro de los límites biofísicos del planeta.



1. DE LA ECONOMÍA FÓSIL A LA BIOECONOMÍA CIRCULAR

Modelo fósil-extractivista



- Lógica lineal: extraer, producir, consumir y desachar
- Basado en carbón, petróleo y gas
- Crecimiento material con altos costos ecológicos
- Emisiones, pérdida de biodiversidad y degradación ambiental



Bioeconomía circular



- Uso sostenible de recursos renovables: biomasa, solar y eólica
- Reutilización, reciclaje y valorización de residuos
- Prolongación de la vida útil mediante eco-diseño y mantenimiento



Los residuos dejan de ser externalidades y pasan a integrarse como recursos secundarios en el sistema productivo.



La eficiencia ya no es solo producir más con menos, sino producir mejor preservando el capital natural.

2. DESACOPLOAMIENTO Y LÍMITES DEL CRECIMIENTO VERDE



Desacoplamiento: posibilidad de desvincular el crecimiento económico del uso de recursos y de las emisiones.



Desacoplamiento relativo
Disminuye la intensidad energética o material del PIB, pero el uso total de recursos sigue aumentando.



Desacoplamiento absoluto
Disminuyen en términos absolutos tanto el uso de recursos como las emisiones, independientemente del crecimiento económico.



Crecimiento verde

- Cae en innovación, eficiencia y renovables
- Busca compatibilizar crecimiento y sostenibilidad



Visión crítica

- El desacoplamiento absoluto global sigue siendo limitado
- Claramente y límites de un planeta finito



Suficiencia

- No solo eficiencia, también moderación del consumo
- Bienestar dentro de límites sociales y ecológicos



La sostenibilidad depende no solo de cómo producimos, sino también de cuánto y para qué producimos.

3. INNOVACIÓN VERDE Y TRANSFORMACIÓN ESTRUCTURAL



Innovación verde

Tecnología, procesos y modelos de negocio sostenibles o reducen el impacto ambiental.



A. Sustitución tecnológica
Nuevas tecnologías sustituyen a las antiguas.



B. Cambio estructural verde
Las políticas públicas orientan el progreso tecnológico.



C. Liderazgo Verde
Las empresas líderes promueven innovación y competitividad.



D. Economía circular
Aplicación exitosa y efectiva de innovación.



La innovación no surge de forma espontánea: depende de marcos institucionales, incentivos y políticas públicas.



El Estado cumple un papel clave como agente orientador de la innovación y de reformas estructurales como la neutralidad climática.



La innovación tecnológica por sí sola no garantiza la sostenibilidad: debe integrarse con cambios institucionales y transformación cultural.

SÍNTESIS FINAL



Eficiencia



Suficiencia



Transformación institucional

La economía postcarbón no es solo una transición energética, sino un cambio de paradigma.

Su objetivo es construir sistemas económicos resilientes, equitativos y compatibles con los límites planetarios.



El desafío de la economía postcarbón es tecnológico, pero también político, social y cultural.

4.2. Transformación industrial y tecnologías emergentes en la economía postcarbono

La transición hacia una economía postcarbono no puede materializarse sin una transformación profunda del sistema industrial. Si el modelo energético constituye la base material de la economía, la industria representa su expresión organizada en términos de producción, tecnología y empleo. En este sentido, la descarbonización no es únicamente un proceso energético, sino un cambio estructural en la forma en que las sociedades producen bienes, organiza cadenas de valor y gestionan los recursos.

Los sectores industriales intensivos en energía, como la siderurgia, el cemento, la petroquímica o el transporte pesado, concentran una parte significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Su transformación resulta, por tanto, imprescindible para alcanzar los objetivos climáticos. Sin embargo, estos sectores presentan características que dificultan su descarbonización: elevados requerimientos energéticos, infraestructuras rígidas, largos ciclos de inversión y una fuerte inserción en cadenas globales de suministro.

En este contexto, la transformación industrial se apoya en tres grandes vectores: la electrificación de los procesos productivos, la incorporación de tecnologías emergentes (como el hidrógeno verde o la captura de carbono) y la digitalización de los sistemas industriales. Estos elementos configuran un nuevo paradigma productivo caracterizado por la eficiencia, la flexibilidad y la reducción de emisiones.

El presente apartado analiza esta transformación desde una perspectiva sistémica. En primer lugar, se examina la descarbonización de los sectores industriales y los retos asociados. En segundo lugar, se analizan las principales tecnologías emergentes que sustentan la transición. Finalmente, se aborda el papel de la digitalización y la industria 4.0 como catalizadores de un nuevo modelo industrial sostenible.

4.2.1. Descarbonización de los sistemas industriales

La industria es responsable de aproximadamente una cuarta parte de las emisiones globales de CO₂, lo que la convierte en un actor central en la transición energética (IEA, 2023). Sin embargo, a diferencia del sector eléctrico, donde la sustitución por energías renovables ha avanzado significativamente, la descarbonización industrial presenta mayores dificultades técnicas y económicas.

Los denominados sectores “difíciles de descarbonizar” (hard-to-abate sectors) incluyen actividades como la producción de acero, cemento, productos químicos o el transporte pesado. En estos sectores, las emisiones no provienen únicamente del uso de energía, sino también de procesos químicos inherentes a la producción. Por ejemplo, en la fabricación de cemento, una parte sustancial de las emisiones se genera durante la descarbonatación de la piedra caliza, independientemente de la fuente energética utilizada.

La transformación de estos sectores requiere una combinación de estrategias:

- Sustitución de combustibles fósiles por electricidad renovable (electrificación).
- Uso de vectores energéticos alternativos como el hidrógeno verde.
- Implementación de tecnologías de captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS).
- Mejora de la eficiencia energética y optimización de procesos.

La electrificación constituye una de las vías más directas para reducir emisiones, especialmente en procesos de baja y media temperatura. Sin embargo, en industrias de alta temperatura, como la siderurgia, la electrificación presenta limitaciones técnicas, lo que refuerza el papel de tecnologías alternativas.

Además, la descarbonización industrial no es solo una cuestión tecnológica, sino también económica. Las inversiones necesarias son elevadas y los

retornos a menudo inciertos, lo que genera riesgos para las empresas. En este sentido, las políticas públicas, subsidios, regulación, precios del carbono, desempeñan un papel fundamental para incentivar la transformación.

Desde una perspectiva sistémica, la descarbonización industrial implica también una reorganización de las cadenas de valor. La producción se vuelve más local, más circular y menos dependiente de combustibles fósiles, lo que redefine las dinámicas de competitividad global.

4.2.2. Tecnologías emergentes para la transición industrial

El proceso de transformación industrial se sustenta en un conjunto de tecnologías emergentes que permiten reducir emisiones, mejorar la eficiencia y reconfigurar los sistemas productivos. Entre ellas, destacan el hidrógeno verde, la captura de carbono y los sistemas avanzados de almacenamiento energético.

El hidrógeno verde se ha consolidado como uno de los vectores más prometedores para la descarbonización de sectores industriales intensivos. Su capacidad para generar calor a altas temperaturas y su potencial como materia prima lo convierten en una alternativa viable al carbón y al gas en procesos como la producción de acero o fertilizantes. No obstante, su despliegue a gran escala enfrenta desafíos significativos: elevados costes, necesidad de infraestructura específica y alta demanda de electricidad renovable (IRENA, 2023).

La captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS) representa otra tecnología clave, especialmente en sectores donde las emisiones son difíciles de eliminar. Este enfoque permite capturar el CO₂ generado en procesos industriales y almacenarlo de forma segura o reutilizarlo en otras aplicaciones. Sin embargo, su viabilidad económica y su eficacia a largo plazo siguen siendo objeto de debate (Anderson & Peters, 2016).

Por su parte, los sistemas de almacenamiento energético desempeñan un papel fundamental en la integración de energías renovables en la industria. Las baterías de alta capacidad, el almacenamiento térmico y las soluciones power-to-gas permiten gestionar la intermitencia de las renovables y garantizar un suministro estable.

Además, la combinación de estas tecnologías genera sinergias que amplían su potencial. Por ejemplo, el uso de electricidad renovable para producir hidrógeno (power-to-hydrogen) permite almacenar energía y utilizarla posteriormente en procesos industriales o transporte.

No obstante, es importante subrayar que estas tecnologías no son neutras. Su desarrollo implica nuevas dependencias materiales (minerales críticos), riesgos ambientales y desafíos geopolíticos. Por ello, su implementación debe evaluarse desde una perspectiva integral que considere todo el ciclo de vida y sus impactos asociados.

4.2.3. Digitalización e industria 4.0 como catalizadores de sostenibilidad

La digitalización constituye uno de los principales catalizadores de la transformación industrial. La denominada industria 4.0, basada en tecnologías como inteligencia artificial, Internet de las cosas (IoT), big data y gemelos digitales, permite optimizar los procesos productivos, mejorar la eficiencia y reducir el consumo de recursos.

Las redes inteligentes industriales permiten monitorizar en tiempo real el consumo energético, identificar ineficiencias y ajustar la producción de forma dinámica. La inteligencia artificial facilita el mantenimiento predictivo, reduciendo fallos y prolongando la vida útil de los equipos. Los gemelos digitales, por su parte, permiten simular escenarios y optimizar decisiones sin necesidad de intervenir físicamente en el sistema (Ramos et al., 2022).

Estas herramientas no solo mejoran la eficiencia, sino que transforman la lógica de la producción industrial. La industria pasa de un modelo rígido y centralizado a uno flexible, adaptativo y basado en datos. Este cambio favorece la integración de energías renovables, la reducción de residuos y la personalización de la producción.

Sin embargo, la digitalización también plantea desafíos. El aumento del consumo energético de los centros de datos, los riesgos de ciberseguridad y la concentración del poder tecnológico en grandes corporaciones son aspectos que deben ser gestionados cuidadosamente (IEA, 2022).

Desde una perspectiva económica, la digitalización redefine las ventajas competitivas. Las empresas ya no compiten únicamente en costes, sino en capacidad de innovación, gestión de datos y adaptación a entornos cambiantes. Esto genera nuevas oportunidades, pero también riesgos de exclusión para regiones o sectores con menor acceso a tecnología.

En este sentido, la digitalización debe integrarse en una estrategia más amplia de sostenibilidad, asegurando que sus beneficios se distribuyan de manera equitativa y que no genere nuevas formas de desigualdad.

Por todo ello, la transformación industrial constituye uno de los pilares fundamentales de la economía postcarbono. La descarbonización de los sistemas productivos, el despliegue de tecnologías emergentes y la digitalización configuran un nuevo paradigma industrial orientado a la sostenibilidad.

Sin embargo, este proceso no está exento de tensiones. La transición implica elevados costes, cambios estructurales en el empleo y nuevas dependencias tecnológicas. Su éxito dependerá de la capacidad para articular políticas públicas coherentes, fomentar la innovación y garantizar una distribución equitativa de los beneficios.

La industria del futuro no será únicamente más limpia, sino también más inteligente, flexible y resiliente. Este nuevo modelo productivo constituye la base material sobre la cual se construirá la economía postcarbono.

4.3. Instrumentos económicos y financieros de la transición energética

La transición hacia una economía postcarbono no puede sostenerse únicamente sobre avances tecnológicos o transformaciones industriales; requiere, de manera imprescindible, un rediseño profundo de los mecanismos económicos y financieros que orientan las decisiones de inversión, producción y consumo. En este sentido, la economía deja de ser un marco neutral para convertirse en un instrumento activo de transformación, capaz de acelerar, o frenar, la descarbonización.

El sistema económico contemporáneo ha estado históricamente configurado para favorecer la explotación de recursos fósiles, mediante subsidios, infraestructuras consolidadas y estructuras de mercado que no internalizan adecuadamente los costes ambientales. Esta situación ha generado lo que se conoce como “fallo de mercado climático”: los precios no reflejan el verdadero coste social del carbono, lo que conduce a una sobreutilización de recursos contaminantes (Stiglitz et al., 2017).

Para corregir esta distorsión, los instrumentos económicos y financieros desempeñan un papel central. A través de políticas fiscales, mecanismos de mercado, regulación financiera e incentivos a la inversión, es posible reorientar los flujos de capital hacia actividades sostenibles y acelerar la transición energética.

4.3.1. Precios del carbono y fiscalidad ecológica

Uno de los instrumentos más relevantes para impulsar la transición energética es la fijación de un precio al carbono. Este mecanismo busca internalizar las externalidades ambientales asociadas a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incorporando su coste en las decisiones económicas de empresas y consumidores.

Existen dos principales modalidades de fijación del precio del carbono:

- Impuestos al carbono, que establecen un precio fijo por tonelada de CO₂ emitida.
- Sistemas de comercio de emisiones (ETS), que fijan un límite total de emisiones y permiten la compra-venta de permisos.

Ambos instrumentos responden a una lógica común: hacer que contaminar sea económicamente costoso, incentivando así la adopción de tecnologías limpias y la reducción de emisiones.

El impuesto al carbono es considerado uno de los instrumentos más eficientes desde el punto de vista económico, ya que proporciona una señal de precio clara y estable (Stiglitz et al., 2017). Ejemplos como el caso de Suecia muestran que es posible reducir emisiones significativamente sin comprometer el crecimiento económico.

Por su parte, los sistemas de comercio de emisiones, como el EU ETS en Europa, permiten una mayor flexibilidad al mercado, aunque pueden presentar volatilidad en los precios y riesgos de especulación (European Commission, 2022).

Más allá del carbono, la fiscalidad ecológica incluye un conjunto más amplio de instrumentos orientados a gravar actividades contaminantes y favorecer comportamientos sostenibles. Entre ellos destacan:

- Impuestos sobre combustibles fósiles.
- Incentivos fiscales para energías renovables.
- Subvenciones a la eficiencia energética.

Sin embargo, uno de los principales desafíos de la fiscalidad verde es su impacto distributivo. Estos instrumentos pueden ser regresivos si afectan proporcionalmente más a los hogares de bajos ingresos. Por ello, es fundamental diseñar mecanismos de compensación, como transferencias directas o reducción de otros impuestos, que garanticen la equidad social (Klenert et al., 2018).

En este sentido, la fiscalidad ecológica no debe entenderse únicamente como una herramienta ambiental, sino también como un instrumento de justicia distributiva y cohesión social.

4.3.2. Finanzas sostenibles e inversión verde

La magnitud de la transición energética requiere una movilización de capital sin precedentes. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023), alcanzar los objetivos de neutralidad climática exige inversiones anuales de varios billones de dólares en tecnologías limpias, infraestructura energética y eficiencia.

En este contexto, las finanzas sostenibles emergen como un elemento clave para canalizar recursos hacia actividades compatibles con los objetivos climáticos. Este enfoque integra criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) en la toma de decisiones de inversión, redefiniendo el papel del sistema financiero.

Entre los principales instrumentos de financiación verde destacan:

- Bonos verdes (green bonds): utilizados para financiar proyectos de energías renovables, transporte sostenible o eficiencia energética.
- Fondos ESG: que incorporan criterios de sostenibilidad en la selección de activos.
- Taxonomías verdes: que clasifican las actividades económicas según su contribución ambiental (European Commission, 2020).
- Fondos climáticos multilaterales, como el Green Climate Fund o el Global Environment Facility.

Estos instrumentos permiten alinear los incentivos del sector financiero con los objetivos de sostenibilidad, reduciendo el riesgo climático y promoviendo inversiones a largo plazo.

No obstante, el desarrollo de las finanzas sostenibles enfrenta varios desafíos. Uno de los principales es la falta de estándares homogéneos, lo que dificulta la comparabilidad y transparencia de las inversiones. Esto ha dado lugar al fenómeno del greenwashing, donde actividades que no son realmente sostenibles se presentan como tales para atraer financiación.

Además, existe una fuerte desigualdad en la distribución global de la inversión verde. Los países en desarrollo, que a menudo son los más vulnerables al cambio climático, reciben una proporción limitada de los flujos de capital, lo que limita su capacidad para implementar políticas de transición (World Bank, 2023).

Por ello, es necesario fortalecer los mecanismos de financiación internacional, mejorar la transparencia y garantizar que las inversiones contribuyan efectivamente a la sostenibilidad.

4.3.3. Gobernanza económica y papel del Estado en la transición

La transición energética plantea un desafío fundamental para la teoría económica: la necesidad de superar la dicotomía tradicional entre mercado y Estado. La magnitud y complejidad del cambio requerido hacen evidente que

ni los mecanismos de mercado ni la intervención pública, por separado, son suficientes para impulsar la transformación.

En este contexto, el Estado adquiere un papel estratégico como agente coordinador, regulador e inversor. Siguiendo la perspectiva de la “economía de misiones” (Mazzucato, 2018), los gobiernos pueden orientar la innovación y la inversión hacia objetivos concretos, como la neutralidad climática o la descarbonización industrial.

Las funciones del Estado en la transición incluyen:

- Establecer marcos regulatorios claros y estables.
- Incentivar la innovación mediante políticas industriales.
- Movilizar inversión pública en infraestructuras sostenibles.
- Garantizar la equidad social y territorial del proceso.

Asimismo, la gobernanza económica debe adaptarse a la naturaleza global del cambio climático. La cooperación internacional resulta esencial para coordinar políticas, evitar fugas de carbono y facilitar la transferencia tecnológica.

Sin embargo, la gobernanza global presenta importantes limitaciones. La fragmentación institucional, la falta de mecanismos vinculantes y las asimetrías de poder entre países dificultan la implementación de acuerdos efectivos (Newell, 2019).

En este sentido, la transición energética requiere una gobernanza multinivel que integre actores públicos, privados y sociales. Las ciudades, las empresas y las comunidades locales desempeñan un papel cada vez más relevante, complementando la acción de los Estados.

Finalmente, la legitimidad política de la transición depende de su capacidad para generar beneficios tangibles y distribuirlos de manera equitativa. Sin justicia social, no puede haber sostenibilidad a largo plazo.

Se puede indicar que, los instrumentos económicos y financieros constituyen la arquitectura que permite materializar la transición energética. A

través de precios del carbono, fiscalidad ecológica, finanzas sostenibles y políticas públicas, es posible reorientar el sistema económico hacia un modelo bajo en carbono.

Sin embargo, estos instrumentos no son neutros. Su diseño y aplicación tienen implicaciones profundas en términos de equidad, competitividad y gobernanza. El desafío consiste en equilibrar eficiencia económica, sostenibilidad ambiental y justicia social.

La transición energética no será el resultado automático de las fuerzas del mercado, sino de decisiones políticas, institucionales y colectivas que definan el rumbo del desarrollo económico en el siglo XXI.

El siguiente apartado abordará precisamente esta dimensión social, analizando las implicaciones laborales, distributivas y territoriales de la transición hacia una economía postcarbono.

4.4. Dimensión social y laboral de la transición energética

La transición energética no es únicamente un proceso tecnológico o económico, sino una transformación profundamente social que reconfigura las estructuras laborales, las dinámicas territoriales y las condiciones de vida de millones de personas. En este sentido, cualquier estrategia de descarbonización que ignore su dimensión social está condenada a generar resistencias, desigualdades y, en última instancia, a fracasar políticamente.

El paso de un sistema energético basado en combustibles fósiles a otro sustentado en energías renovables implica cambios sustanciales en la organización del trabajo, en la distribución del empleo y en la configuración de las economías regionales. Sectores tradicionales como la minería del carbón, la industria petrolera o determinadas actividades intensivas en carbono experimentarán procesos de declive, mientras que emergen nuevas oportunidades en ámbitos como las energías renovables, la eficiencia energética o la economía circular.

Este proceso de destrucción y creación de empleo no es neutro ni automático. Requiere políticas activas, planificación estratégica y mecanismos

de protección social que garanticen una transición justa. Como señala la Organización Internacional del Trabajo, la transición energética puede generar millones de empleos verdes, pero también implica riesgos significativos de exclusión laboral si no se gestiona adecuadamente (ILO, 2018).

Además, la transición energética tiene implicaciones profundas en términos de desigualdad, acceso a la energía y cohesión territorial. La energía no es solo un insumo productivo, sino un elemento esencial para la vida digna. Por ello, garantizar su acceso universal, asequible y sostenible constituye un objetivo central de la Agenda 2030 (ODS 7).

4.4.1. Transición justa y transformación del empleo

La transición energética implica una profunda reconfiguración del mercado laboral. La descarbonización progresiva de la economía conlleva el declive de sectores intensivos en carbono y el crecimiento de nuevas actividades vinculadas a la sostenibilidad.

Según la Organización Internacional del Trabajo (ILO, 2018), la transición hacia una economía verde podría generar aproximadamente 24 millones de nuevos empleos a nivel global para 2030, especialmente en sectores como:

- Energías renovables (solar, eólica, biomasa).
- Eficiencia energética en edificios e industria.
- Transporte sostenible.
- Gestión de residuos y economía circular.

Sin embargo, este proceso también implica la pérdida de empleo en sectores tradicionales, estimada en alrededor de seis millones de puestos de trabajo, especialmente en industrias fósiles y actividades asociadas.

Este desequilibrio pone de manifiesto la necesidad de una transición justa, entendida como el conjunto de políticas destinadas a garantizar que los beneficios y costes de la transición se distribuyan de manera equitativa (Sovacool et al., 2022).

Los principales instrumentos de una transición justa incluyen:

- Políticas de reconversión laboral, orientadas a la formación y recualificación de trabajadores.
- Protección social, mediante subsidios, pensiones y mecanismos de transición.
- Diversificación económica regional, especialmente en territorios dependientes de industrias fósiles.
- Participación de los trabajadores, en la planificación de las estrategias de transición.

Un ejemplo relevante es el Just Transition Mechanism de la Unión Europea, que busca apoyar a las regiones más afectadas por la transición mediante financiación específica, programas de empleo y desarrollo regional (European Commission, 2022).

No obstante, la implementación de estas políticas enfrenta importantes desafíos, especialmente en países con alta informalidad laboral o limitada capacidad institucional. En estos contextos, la transición puede generar exclusión y precariedad si no se acompaña de medidas adecuadas.

Por tanto, la transición energética no solo debe crear empleo, sino también garantizar su calidad, estabilidad y accesibilidad.

4.4.2. Desigualdad energética y cohesión territorial

La transición energética tiene implicaciones directas en la distribución de recursos y oportunidades entre distintos grupos sociales y territorios. La desigualdad energética se manifiesta tanto en el acceso a servicios básicos como en la capacidad de participar en los beneficios de la transición.

A nivel global, más de 700 millones de personas carecen de acceso a electricidad, y alrededor de 2.000 millones dependen de combustibles contaminantes para cocinar (World Bank, 2023). Esta situación refleja una profunda brecha energética entre el Norte y el Sur global.

En los países desarrollados, la desigualdad energética adopta formas diferentes, como la pobreza energética, que afecta a hogares que no pueden mantener condiciones adecuadas de temperatura o afrontar los costes de la energía (Bouzarovski & Petrova, 2015).

La transición energética puede agravar estas desigualdades si no se diseñan políticas inclusivas. Por ejemplo:

- El aumento de los precios de la energía, derivado de impuestos al carbono, puede afectar más a los hogares vulnerables.
- Las inversiones en tecnologías limpias pueden concentrarse en regiones con mayor capacidad económica.
- Las infraestructuras renovables pueden generar conflictos territoriales si no se gestionan adecuadamente.

Por ello, es fundamental integrar criterios de equidad en las políticas energéticas. Algunas medidas clave incluyen:

- Subsidios focalizados para hogares vulnerables.
- Programas de eficiencia energética en viviendas sociales.
- Desarrollo de infraestructuras energéticas en regiones periféricas.
- Promoción de modelos descentralizados, como microredes o comunidades energéticas.

Estas estrategias no solo reducen la desigualdad, sino que también fortalecen la resiliencia del sistema energético.

Desde una perspectiva territorial, la transición energética redefine las dinámicas económicas regionales. Algunas regiones pueden beneficiarse de nuevas inversiones en energías renovables, mientras que otras enfrentan el declive de sectores tradicionales.

La cohesión territorial depende, por tanto, de la capacidad de las políticas públicas para redistribuir oportunidades y evitar la concentración de beneficios.

4.4.3. Participación social, legitimidad y cambio cultural

La transición energética no puede imponerse de manera exclusivamente tecnocrática. Su éxito depende de la aceptación social y de la capacidad de las instituciones para generar confianza y participación.

Los proyectos energéticos, incluso los sostenibles, pueden generar conflictos si afectan a comunidades locales sin procesos adecuados de consulta. Ejemplos de oposición a parques eólicos, proyectos hidroeléctricos o minería de litio muestran que la sostenibilidad ambiental no garantiza automáticamente la legitimidad social.

En este contexto, la participación ciudadana se convierte en un elemento clave de la gobernanza energética. Incluye:

- Procesos de consulta y deliberación pública.
- Participación en la planificación de infraestructuras.
- Modelos de propiedad compartida, como cooperativas energéticas.
- Acceso a información transparente y comprensible.



Las comunidades energéticas representan una de las innovaciones más relevantes en este ámbito. Permiten a ciudadanos y colectivos locales producir, gestionar y consumir su propia energía, fortaleciendo la autonomía y la implicación social (Walker et al., 2010).

Además, la transición energética requiere un cambio cultural profundo. Durante décadas, el progreso se ha asociado al consumo creciente de energía. Sin embargo, la sostenibilidad implica redefinir esta relación, orientándola hacia la eficiencia, la suficiencia y el equilibrio.

Autores como Raworth (2017) plantean la necesidad de situar el bienestar humano dentro de los límites planetarios, superando la lógica del crecimiento ilimitado.

Este cambio cultural no es automático. Requiere educación, comunicación y liderazgo político. La transición energética es, en última instancia, un proceso de transformación de valores.

Es evidente que, la dimensión social y laboral de la transición energética revela que el cambio hacia un modelo sostenible no es únicamente una cuestión técnica o económica, sino un proceso profundamente humano.

La creación de empleo verde, la reducción de desigualdades y la participación social son condiciones necesarias para garantizar la legitimidad y la sostenibilidad del proceso. Sin una transición justa, la descarbonización puede generar exclusión y conflictos.

El desafío consiste en articular políticas que integren eficiencia, equidad y participación, construyendo un modelo energético que no solo sea limpio, sino también inclusivo.

La transición energética será exitosa no cuando reduzca únicamente las emisiones, sino cuando contribuya a mejorar la calidad de vida de las personas y a fortalecer la cohesión social.



Conclusión

El análisis desarrollado a lo largo de este capítulo ha permitido trasladar el marco teórico de la sostenibilidad energética, establecido en los capítulos anteriores, hacia su dimensión operativa, institucional y aplicada. Al abordar la cuestión clave de cómo dicha transición se materializa en políticas públicas, modelos de gobernanza, sistemas de innovación y transformaciones sociales concretas.

Una primera conclusión fundamental es que la transición energética no puede entenderse como un proceso lineal ni exclusivamente tecnológico. Por el contrario, se configura como un sistema complejo de transformación multidimensional en el que interactúan variables económicas, institucionales, sociales y culturales. La descarbonización de los sistemas energéticos no depende únicamente de la disponibilidad de tecnologías limpias, sino de la capacidad de articular marcos regulatorios coherentes, incentivos económicos adecuados y mecanismos de gobernanza capaces de gestionar la incertidumbre y el conflicto (Kuzemko et al., 2020).

En este sentido, el análisis de los instrumentos de política energética ha puesto de manifiesto la centralidad de la acción pública. Las políticas regulatorias, los mecanismos de fijación de precios del carbono, la fiscalidad ecológica y los incentivos a la innovación constituyen la arquitectura básica que orienta el comportamiento de los agentes económicos. Sin embargo, su eficacia depende en gran medida de su coherencia interna y de su alineación con objetivos de sostenibilidad a largo plazo. La persistencia de subsidios a los combustibles fósiles, la fragmentación institucional y la falta de coordinación intersectorial siguen representando obstáculos significativos para la transición (IEA, 2023; OECD, 2022).

Asimismo, el capítulo ha evidenciado que la innovación, tecnológica, institucional y social, desempeña un papel determinante en la aceleración del cambio. Las energías renovables, la digitalización, el almacenamiento energético y los nuevos vectores como el hidrógeno verde abren posibilidades inéditas para la descarbonización. No obstante, la innovación no es neutra: está condicionada por estructuras de poder, acceso al conocimiento y capacidades territoriales. Por ello, el desarrollo tecnológico debe ir acompañado de políticas que garanticen su difusión equitativa y su integración en modelos de desarrollo sostenibles (IRENA, 2023; Mazzucato, 2018).

Desde una perspectiva territorial, el capítulo ha mostrado que la transición energética reconfigura profundamente las dinámicas regionales. La localización de recursos renovables, la distribución de infraestructuras y la capacidad institucional de los territorios determinan quién se beneficia y quién asume los costes del cambio. Esta dimensión espacial introduce un elemento clave de desigualdad que debe ser abordado mediante políticas de cohesión territorial y planificación estratégica. La transición no será sostenible si reproduce o amplifica las asimetrías existentes entre regiones (Bridge et al., 2013).

Una de las aportaciones más relevantes del capítulo es la integración de la dimensión social en el análisis de la transición energética. La transformación del sistema energético implica necesariamente cambios en el mercado laboral, en los patrones de consumo y en las condiciones de vida de la población. El concepto de transición justa emerge, en este contexto, como un principio normativo y operativo imprescindible. Garantizar la protección de los trabajadores, la creación de empleo de calidad y la inclusión de los colectivos vulnerables no es solo una cuestión ética, sino también una condición de viabilidad política del proceso (ILO, 2018; Sovacool et al., 2022).

En paralelo, la cuestión de la desigualdad energética ha revelado que el acceso a la energía sigue siendo un desafío global de primer orden. La coexistencia de pobreza energética en países desarrollados y falta de acceso en regiones en desarrollo evidencia la necesidad de abordar la transición desde una perspectiva de justicia distributiva. La energía debe ser concebida no únicamente como un bien económico, sino como un servicio esencial vinculado a derechos fundamentales (Bouzarovski & Petrova, 2015; World Bank, 2023).

Otro elemento central es la importancia de la participación social y la legitimidad institucional. La transición energética implica decisiones que afectan a territorios, comunidades y estilos de vida, por lo que no puede imponerse de manera unilateral. La gobernanza participativa, la transparencia y la inclusión de actores locales son condiciones necesarias para evitar conflictos y garantizar la aceptación social de las políticas energéticas (Walker et al., 2010). En este sentido, la emergencia de modelos como las comunidades energéticas refleja un cambio significativo hacia formas más democráticas y descentralizadas de gestión de la energía.

Finalmente, el capítulo ha subrayado la dimensión cultural de la transición energética. Más allá de las políticas y las tecnologías, el cambio hacia un modelo sostenible requiere una transformación profunda de los valores, las percepciones y los comportamientos sociales. La lógica del consumo ilimitado, característica del modelo fósil, debe ser sustituida por una cultura de la suficiencia, la eficiencia y el respeto a los límites planetarios (Raworth, 2017). Este cambio cultural es, probablemente, uno de los desafíos más complejos y menos visibles de la transición.

En síntesis, se ha demostrado que la sostenibilidad energética es un proceso sistémico que requiere la integración de múltiples dimensiones: tecnológica, económica, institucional, social y cultural. La transición energética no puede reducirse a la sustitución de fuentes de energía, sino que implica una reconfiguración profunda del modelo de desarrollo.

Esta conclusión conecta directamente con el hilo conductor de la tesis: la necesidad de abordar la sostenibilidad energética desde una perspectiva integral, capaz de articular conocimiento teórico, análisis empírico y propuestas aplicadas. La transición energética, en última instancia, no es solo un desafío técnico, sino un proyecto civilizatorio que redefine la relación entre la humanidad, la economía y la biosfera.

El avance hacia un sistema energético sostenible dependerá, por tanto, no solo de la innovación tecnológica o de la inversión económica, sino de la capacidad colectiva para construir instituciones sólidas, generar consensos sociales y redefinir los valores que orientan el desarrollo. Solo en ese marco será posible alcanzar una transición que no sea únicamente baja en carbono, sino también justa, inclusiva y duradera.

CAPÍTULO 5
MODELOS INSTITUCIONALES
Y ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN
TERRITORIAL DE LA SOSTENIBILIDAD
ENERGÉTICA

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente
Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona

Dra. Josefa Boria-Reverter
Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona

La transición hacia sistemas energéticos sostenibles no puede entenderse como un proceso exclusivamente tecnológico ni como el resultado automático de compromisos internacionales. Su materialización efectiva depende, en última instancia, de la capacidad de las instituciones para organizar, coordinar y legitimar el cambio en contextos territoriales concretos.

En este sentido, la sostenibilidad energética se configura como un fenómeno profundamente institucionalizado, en el que confluyen normas, estructuras de gobernanza y dinámicas territoriales que condicionan tanto la dirección como la intensidad de la transformación. Los acuerdos globales establecen marcos de referencia indispensables, pero son los Estados, las regiones y, especialmente, los gobiernos locales quienes traducen estos objetivos en políticas operativas, infraestructuras y prácticas sociales.

Esta tensión entre lo global y lo territorial define el núcleo analítico del capítulo. Mientras que la globalización impulsa la convergencia normativa y la cooperación internacional en materia climática, la territorialización introduce diversidad, adaptación y, en muchos casos, desigualdad en la implementación. Cada territorio enfrenta la transición desde condiciones iniciales distintas: recursos naturales, capacidades institucionales, estructura productiva y cohesión social.

A partir de esta premisa, el capítulo se articula en torno a cuatro grandes ejes interrelacionados. En primer lugar, se analiza la gobernanza multinivel como arquitectura institucional de la transición energética, destacando los mecanismos de coordinación entre escalas de gobierno y actores. En segundo lugar, se examinan las estrategias territoriales de implementación, donde la sostenibilidad se concreta en ciudades, regiones y comunidades. En tercer lugar, se desarrolla un análisis comparado entre distintos modelos regionales, Europa, América Latina y Asia, identificando patrones, divergencias y aprendizajes. Finalmente, se aborda la dimensión democrática y ética de la transición, poniendo el foco en la legitimidad institucional, la participación ciudadana y la justicia energética.

El objetivo del capítulo es, por tanto, ofrecer una comprensión integral de la sostenibilidad energética como proceso institucional y territorial. Lejos de concebir las instituciones como meros instrumentos de ejecución, se plantea

que estas configuran las condiciones de posibilidad del cambio, determinando quién participa, cómo se distribuyen los beneficios y qué trayectorias de transición resultan viables.

5.1. Gobernanza multinivel de la sostenibilidad energética

La transición energética contemporánea se caracteriza por su complejidad institucional y su naturaleza inherentemente multinivel. A diferencia de etapas anteriores, en las que la política energética se concebía principalmente como una competencia estatal centralizada, el nuevo paradigma de sostenibilidad exige la interacción coordinada de múltiples niveles de gobierno, actores económicos y comunidades locales.

Este cambio responde a una doble transformación estructural. Por un lado, la globalización ha intensificado la interdependencia entre países, generando marcos regulatorios internacionales que condicionan las políticas nacionales. Por otro, la territorialización de la sostenibilidad ha reforzado el papel de los gobiernos subnacionales, que actúan como espacios de implementación, innovación y adaptación de las políticas energéticas.

En este contexto, la gobernanza multinivel emerge no solo como un modelo organizativo, sino como una condición necesaria para la eficacia de la transición. La energía, en tanto sistema socio-técnico complejo, atraviesa múltiples escalas, desde lo global hasta lo local, y requiere mecanismos de coordinación que integren objetivos climáticos, políticas económicas y realidades territoriales.

5.1.1. La gobernanza multinivel como paradigma de la transición energética

El concepto de gobernanza multinivel (multi-level governance) fue introducido por Marks (1993) en el análisis de la integración europea, y posteriormente desarrollado junto con Hooghe (2003) para describir la redistribución de la autoridad política en sistemas complejos. Este enfoque cuestiona la visión jerárquica del Estado-nación como único centro de decisión, proponiendo en su lugar una arquitectura policéntrica donde múltiples actores participan en la formulación e implementación de políticas públicas.

En el ámbito energético, este paradigma adquiere especial relevancia debido a la naturaleza transversal de la energía. Como señalan Jordan y Huitema (2014), la sostenibilidad energética constituye un “problema de gobernanza distribuida”, en el que ninguna institución dispone por sí sola de los recursos, conocimientos y legitimidad necesarios para abordar el cambio climático.

Desde una perspectiva teórica, la gobernanza multinivel se vincula con los enfoques de policentrismo institucional desarrollados por Ostrom (2010), quien argumenta que los sistemas complejos se gestionan de forma más eficaz cuando existen múltiples centros de decisión interrelacionados. En este sentido, la transición energética puede entenderse como un proceso de coordinación entre redes de actores que operan en diferentes escalas, desde organismos internacionales hasta comunidades locales.

Asimismo, la gobernanza multinivel incorpora elementos de la teoría de redes (network governance), en la que la cooperación horizontal y la negociación sustituyen a los mecanismos jerárquicos tradicionales. Esto resulta especialmente relevante en contextos donde la innovación tecnológica, la participación ciudadana y la inversión privada desempeñan un papel determinante.

En síntesis, la gobernanza multinivel no es únicamente un marco analítico, sino una transformación estructural del modo en que se ejerce el poder en la transición energética. Su eficacia depende de la capacidad para articular coherencia entre niveles, gestionar conflictos de intereses y generar procesos de aprendizaje colectivo.

5.1.2. Subsidiariedad, coherencia vertical y coordinación institucional

Uno de los principios fundamentales que sustentan la gobernanza multinivel es el de subsidiariedad, según el cual las decisiones deben adoptarse en el nivel más cercano al ciudadano siempre que resulte eficiente hacerlo. Este principio, formalizado en el Tratado de la Unión Europea, ha sido ampliamente adoptado como criterio normativo en la organización de políticas energéticas contemporáneas.

La subsidiariedad implica una redistribución funcional de competencias: mientras que los niveles supranacionales y nacionales establecen objetivos estratégicos y marcos regulatorios, los niveles regionales y locales asumen la implementación y adaptación de las políticas. Sin embargo, esta descentralización no elimina la necesidad de coherencia vertical, entendida como la alineación entre metas globales, estrategias nacionales y acciones territoriales.

En este sentido, la literatura distingue tres niveles de coordinación:

- Nivel global, donde se definen compromisos climáticos (como los acuerdos multilaterales) y estándares internacionales.
- Nivel nacional, responsable de traducir estos compromisos en políticas públicas, instrumentos fiscales y marcos regulatorios.
- Nivel subnacional, donde las políticas se concretan en programas, infraestructuras y prácticas sociales.

El principal desafío radica en evitar la fragmentación institucional. La coexistencia de múltiples niveles de gobierno puede generar solapamientos normativos, incoherencias regulatorias o vacíos de responsabilidad. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2022), los sistemas con mecanismos formales de coordinación intergubernamental, como comités multilaterales, planes integrados o plataformas de datos compartidos, presentan mejores resultados en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones.

Además, la coordinación no se limita a la dimensión vertical. La transición energética requiere también integración horizontal entre sectores (energía, transporte, vivienda, industria), lo que introduce una capa adicional de complejidad institucional. La descarbonización, por ejemplo, no puede lograrse sin políticas simultáneas de movilidad sostenible, rehabilitación urbana y transformación industrial.

Por tanto, la gobernanza multinivel eficaz no depende únicamente de la distribución de competencias, sino de la capacidad para generar coherencia sistémica entre políticas, niveles y actores.

5.1.3. Marcos regulatorios y diversidad institucional en la transición energética

Los marcos regulatorios constituyen la materialización concreta de la gobernanza multinivel, definiendo las reglas del juego para la transición energética. Estos marcos no son homogéneos, sino que reflejan la diversidad de modelos institucionales, trayectorias históricas y capacidades estatales.

En términos generales, las políticas energéticas contemporáneas combinan tres tipos de instrumentos:

- Instrumentos normativos, como leyes de cambio climático, estándares de emisiones y objetivos vinculantes.
- Instrumentos económicos, incluyendo impuestos al carbono, subsidios a energías renovables y mecanismos de mercado (como los sistemas de comercio de emisiones).
- Instrumentos de planificación, como hojas de ruta energéticas, planes nacionales y estrategias de transición.

En el contexto europeo, la gobernanza energética se caracteriza por un alto grado de institucionalización y coordinación supranacional. La obligación de elaborar planes integrados de energía y clima permite alinear las políticas nacionales con los objetivos comunes de neutralidad climática, generando un marco coherente y predecible para la inversión.

En América Latina, en cambio, los marcos regulatorios presentan mayor heterogeneidad. Algunos países han desarrollado modelos de mercado con fuerte penetración de energías renovables, mientras que otros mantienen estructuras más centralizadas o dependientes de recursos fósiles. Esta diversidad refleja tanto diferencias institucionales como desigualdades en capacidades estatales y recursos financieros.

Por su parte, en Asia predominan modelos de planificación estatal con alta capacidad de coordinación vertical. Países como China, Japón o Corea del Sur integran la política energética en estrategias de desarrollo industrial y

tecnológico, lo que permite una implementación rápida, aunque en ocasiones limitada en términos de participación social.

Esta diversidad institucional pone de manifiesto que no existe un único modelo de gobernanza energética. Sin embargo, la evidencia comparada sugiere que los sistemas más eficaces comparten ciertas características: estabilidad regulatoria, coordinación multinivel, capacidad administrativa y mecanismos de adaptación.

En definitiva, los marcos regulatorios no solo orientan la transición energética, sino que configuran sus ritmos, actores y resultados, actuando como el esqueleto institucional sobre el que se construye la sostenibilidad.

5.2. Estrategias territoriales de implementación de la sostenibilidad energética

Si la gobernanza multinivel define la arquitectura institucional de la transición energética, el territorio constituye su espacio de materialización. Es en las ciudades, regiones y comunidades donde los objetivos abstractos de descarbonización se traducen en infraestructuras concretas, patrones de consumo, dinámicas sociales y conflictos de uso del espacio.

La sostenibilidad energética, en este sentido, no es un proceso homogéneo, sino profundamente territorializado. Cada región enfrenta la transición desde condiciones iniciales distintas: disponibilidad de recursos naturales, estructura productiva, densidad urbana, capacidades institucionales y niveles de desarrollo socioeconómico. Estas diferencias configuran trayectorias específicas de transición, que no pueden ser replicadas mecánicamente entre contextos.

Además, el territorio no es solo un espacio físico, sino también un espacio social y político. La implementación de proyectos energéticos, parques eólicos, plantas solares o infraestructuras de hidrógeno, genera impactos sobre comunidades locales, paisajes y economías regionales, lo que introduce dimensiones de aceptación social, conflicto y negociación.

5.2.1. Ciudades como laboratorios de la transición energética

Las ciudades se han consolidado como actores centrales en la transición energética global. Actualmente, más del 55 % de la población mundial vive en entornos urbanos, y estas áreas concentran aproximadamente el 70 % del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero (International Energy Agency, 2023). Esta concentración convierte a las ciudades en espacios prioritarios para la acción climática.

Desde una perspectiva funcional, las ciudades actúan como “laboratorios de innovación” donde se experimentan soluciones energéticas a escala local. Según Bulkeley (2013), los gobiernos urbanos han desarrollado una capacidad creciente para liderar políticas climáticas, incluso en contextos donde los Estados nacionales muestran limitaciones.

Entre las principales estrategias urbanas destacan:

- Electrificación del transporte, mediante redes de transporte público sostenible, infraestructuras de recarga y promoción de movilidad activa.
- Rehabilitación energética de edificios, orientada a mejorar la eficiencia y reducir la demanda.
- Desarrollo de redes inteligentes (smart grids), que integran generación distribuida y gestión digital del consumo.
- Planificación urbana sostenible, que reduce la necesidad de desplazamientos y optimiza el uso del suelo.

Asimismo, redes internacionales como C40 Cities o ICLEI – Local Governments for Sustainability han fortalecido la cooperación entre ciudades, facilitando el intercambio de buenas prácticas y la difusión de innovaciones.

No obstante, el liderazgo urbano enfrenta limitaciones significativas: dependencia de marcos regulatorios nacionales, restricciones presupuestarias y desigualdades intraurbanas. Las ciudades globales del Norte cuentan con mayores recursos para implementar políticas avanzadas, mientras que muchas ciudades del Sur enfrentan desafíos estructurales como informalidad, déficit de infraestructuras y vulnerabilidad climática.

En consecuencia, el papel de las ciudades en la transición energética es ambivalente: son espacios de innovación, pero también de desigualdad y conflicto.

5.2.2. Regiones energéticas, especialización territorial y transición justa

Más allá de las ciudades, las regiones desempeñan un papel estratégico en la transición energética, especialmente en lo que respecta a la producción de energía y la transformación de sistemas productivos.

La transición energética implica una reconfiguración territorial de las actividades económicas. Regiones históricamente dependientes de combustibles fósiles, como cuencas mineras o zonas petroleras, enfrentan procesos de reconversión que afectan al empleo, la identidad y la cohesión social. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado en el marco de la “transición justa”, concepto impulsado por la Organización Internacional del Trabajo (2018).

En paralelo, emergen nuevas regiones energéticas especializadas en energías renovables o en recursos críticos. Ejemplos relevantes incluyen:

- Regiones con alto potencial solar o eólico que se convierten en polos de generación renovable.
- Territorios ricos en minerales estratégicos (litio, cobalto, níquel), esenciales para tecnologías limpias.
- Clústeres industriales vinculados al hidrógeno verde y a la electrificación.

Esta especialización territorial genera oportunidades de desarrollo económico, pero también riesgos de dependencia y desigualdad. Como advierte Bebbington (2018), la extracción de recursos estratégicos puede reproducir dinámicas de “extractivismo verde” si no se gestiona adecuadamente.

Desde el punto de vista institucional, las estrategias regionales requieren políticas integradas que combinen:

- Diversificación económica.
- Formación y reconversión laboral.

- Inversión en infraestructuras sostenibles.
- Participación de actores locales.

La experiencia europea con los fondos de transición justa muestra que la anticipación y la planificación son clave para evitar impactos sociales negativos. Sin embargo, la replicabilidad de estos modelos en otras regiones depende de la capacidad institucional y de la disponibilidad de recursos financieros.

En definitiva, la transición energética redefine la geografía económica, generando nuevos centros y periferias en función de la capacidad de adaptación territorial.

5.2.3. Comunidades energéticas y modelos descentralizados

Uno de los cambios más significativos de la transición energética contemporánea es el avance hacia modelos descentralizados de producción y gestión de la energía. En este contexto, las comunidades energéticas emergen como una innovación institucional que redefine la relación entre ciudadanía y sistema energético.

Las comunidades energéticas se caracterizan por la participación directa de ciudadanos, cooperativas o entidades locales en la generación, gestión y consumo de energía renovable. Este modelo rompe con la lógica centralizada tradicional, en la que la energía era producida por grandes empresas y distribuida de forma unidireccional.

Según European Commission (2020), las comunidades energéticas pueden contribuir a:

- Reducir la pobreza energética.
- Incrementar la aceptación social de las renovables.
- Fomentar la innovación local.
- Democratizar el acceso a la energía.

Desde una perspectiva teórica, este modelo se vincula con la idea de “prosumidor”, es decir, un actor que simultáneamente produce y consume

energía. Este cambio implica una redistribución del poder dentro del sistema energético, donde los ciudadanos dejan de ser agentes pasivos para convertirse en participantes activos.

No obstante, el desarrollo de comunidades energéticas enfrenta diversos desafíos:

- Barreras regulatorias y administrativas.
- Acceso limitado a financiación.
- Desigualdades en capacidades técnicas y organizativas.
- Riesgo de exclusión de colectivos vulnerables.

Autores como Sovacool (2017) advierten que la democratización energética no es automática, sino que requiere políticas específicas para garantizar la inclusión y evitar nuevas formas de desigualdad.

A pesar de estas limitaciones, los modelos descentralizados representan una de las transformaciones más prometedoras de la transición energética, al combinar sostenibilidad ambiental con innovación social y empoderamiento ciudadano.

5.3. Análisis comparado de modelos regionales de transición energética

La transición energética global no sigue una trayectoria única ni homogénea, sino que se despliega a través de múltiples modelos regionales condicionados por factores históricos, institucionales, económicos y geopolíticos. Analizar estas diferencias resulta fundamental para comprender tanto las posibilidades como los límites de la sostenibilidad energética en distintos contextos.

El enfoque comparado permite identificar patrones de convergencia, como la creciente incorporación de energías renovables o la adopción de objetivos de neutralidad climática, pero también divergencias estructurales en la velocidad, profundidad y equidad de la transición. Estas diferencias no res-

ponden únicamente a la disponibilidad de recursos naturales, sino también a la capacidad institucional, los modelos de gobernanza y las estrategias de desarrollo adoptadas por cada región.

5.3.1. Europa: liderazgo normativo y gobernanza integrada

Europa se ha consolidado como uno de los principales referentes en la transición energética global, caracterizándose por un enfoque basado en la regulación, la planificación estratégica y la cooperación supranacional. El marco institucional europeo ha permitido articular una gobernanza energética altamente coordinada, donde los objetivos climáticos se integran en políticas económicas, industriales y sociales.

El eje central de esta estrategia es el Pacto Verde Europeo (European Green Deal), impulsado por la European Commission (2019), que establece la neutralidad climática como objetivo vinculante para 2050. Este marco se complementa con instrumentos como el sistema de comercio de emisiones (EU ETS), los planes nacionales de energía y clima (NECPs) y la taxonomía de finanzas sostenibles.

Desde una perspectiva institucional, el modelo europeo destaca por:

- Alta coherencia multinivel, con mecanismos formales de coordinación entre la Unión Europea, los Estados miembros y los gobiernos regionales.
- Estabilidad regulatoria, que genera confianza para la inversión privada en tecnologías limpias.
- Integración sectorial, vinculando energía, transporte, industria y política social.

Sin embargo, este modelo no está exento de tensiones. Las diferencias entre países en términos de dependencia energética, estructura económica y capacidad fiscal generan asimetrías en la implementación. Países con mayor dependencia del carbón o con menor capacidad económica enfrentan mayores dificultades para cumplir los objetivos climáticos.

Además, la crisis energética derivada de conflictos geopolíticos recientes ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad del sistema energético europeo, reforzando la necesidad de diversificación y autonomía estratégica.

En síntesis, el modelo europeo combina ambición normativa con complejidad institucional, representando un referente avanzado, pero no plenamente homogéneo.

5.3.2. América Latina: potencial renovable y limitaciones estructurales

América Latina presenta un perfil energético singular, caracterizado por una elevada participación de energías renovables en su matriz, especialmente hidroeléctrica, pero también por importantes limitaciones estructurales que condicionan la transición.

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2023), la región cuenta con un enorme potencial en energías solares, eólicas y recursos estratégicos como el litio, lo que la posiciona como un actor clave en la transición energética global. Sin embargo, este potencial contrasta con desafíos persistentes en términos de desigualdad, debilidad institucional y dependencia de exportaciones primarias.

El modelo latinoamericano se caracteriza por:

- Alta heterogeneidad, con países que han avanzado significativamente en renovables (Chile, Uruguay, Costa Rica) y otros que mantienen fuerte dependencia fósil.
- Dependencia de recursos naturales, lo que genera riesgos de extractivismo, incluso en el contexto de la transición energética.
- Limitaciones institucionales, que dificultan la implementación de políticas coherentes y de largo plazo.

Desde una perspectiva crítica, autores como Eduardo Gudynas (2015) han señalado el riesgo de reproducir un modelo de “extractivismo verde”, donde la explotación de recursos para tecnologías limpias perpetúa desigualdades históricas.

Asimismo, la región enfrenta desafíos en términos de financiación, acceso a tecnología y estabilidad regulatoria. A pesar de ello, existen iniciativas innovadoras, como los mercados eléctricos competitivos, los programas de electrificación rural y las estrategias de hidrógeno verde en países como Chile.

En definitiva, América Latina se encuentra en una posición ambivalente: posee recursos estratégicos y potencial renovable, pero enfrenta limitaciones estructurales que condicionan su capacidad de liderar la transición.

5.3.3. Asia: planificación estatal, escala y transformación acelerada

Asia representa uno de los escenarios más dinámicos y complejos de la transición energética global. La región combina un rápido crecimiento económico, una elevada demanda energética y una fuerte dependencia de combustibles fósiles, especialmente carbón. Sin embargo, también lidera la inversión en tecnologías renovables y la producción industrial asociada.

El caso de China resulta paradigmático. Como principal emisor mundial de CO₂ y, al mismo tiempo, líder en producción de energías renovables, China ha desarrollado un modelo basado en planificación estatal, inversión masiva y control estratégico de cadenas de valor. Según la International Energy Agency (2023), el país domina gran parte de la producción mundial de paneles solares, baterías y minerales procesados.

El modelo asiático se caracteriza por:

- Fuerte coordinación vertical, con Estados que integran la política energética en estrategias de desarrollo industrial.
- Capacidad de inversión a gran escala, que permite desplegar infraestructuras rápidamente.
- Orientación tecnológica, centrada en innovación y competitividad global.

Otros países de la región, como Japón y Corea del Sur, han adoptado estrategias basadas en la innovación tecnológica y la diversificación energética,

mientras que India combina expansión renovable con persistente dependencia del carbón.

No obstante, este modelo presenta desafíos significativos:

- Tensiones entre crecimiento económico y sostenibilidad.
- Limitaciones en términos de participación ciudadana.
- Impactos ambientales asociados a la rápida industrialización.

Desde una perspectiva geopolítica, Asia se ha convertido en el centro de la nueva economía energética, controlando tecnologías clave y cadenas de suministro. Esto redefine el equilibrio de poder global, desplazando la centralidad desde los combustibles fósiles hacia el conocimiento y la capacidad industrial.

5.4. Dimensión democrática, legitimidad y justicia energética

La transición energética no es únicamente un proceso técnico ni económico; es, ante todo, un proceso político y normativo que redefine las relaciones de poder, la distribución de recursos y las condiciones de acceso a un bien esencial: la energía. En este sentido, la sostenibilidad energética plantea una cuestión fundamental que trasciende la eficiencia o la innovación tecnológica: ¿quién decide?, ¿quién se beneficia? y ¿quién asume los costes de la transición?

La legitimidad de la transición energética depende, en gran medida, de la percepción social de justicia. Las políticas climáticas, aunque necesarias desde el punto de vista ambiental, pueden generar resistencias si son percibidas como injustas, excluyentes o desigualmente distribuidas. Este fenómeno pone de manifiesto que la sostenibilidad no puede construirse al margen de la democracia, ni la descarbonización puede imponerse sin considerar sus implicaciones sociales.

5.4.1. Justicia energética: concepto, dimensiones y debates

El concepto de justicia energética ha emergido como un marco teórico central para analizar la dimensión social de la transición energética. Según

Sovacool y Dworkin (2015), la justicia energética implica garantizar que los beneficios y cargas del sistema energético se distribuyan de manera equitativa, que los procesos de toma de decisiones sean inclusivos y que se reconozcan las diferencias sociales y territoriales.

Este enfoque se articula en torno a tres dimensiones principales:

- Justicia distributiva, que analiza cómo se reparten los costes y beneficios de la transición (por ejemplo, precios de la energía, acceso a tecnologías limpias, empleo).
- Justicia procedimental, que se refiere a la participación en los procesos de decisión y a la transparencia institucional.
- Justicia de reconocimiento, que enfatiza la necesidad de visibilizar y respetar las realidades de grupos vulnerables o históricamente marginados.

Desde esta perspectiva, la transición energética no puede evaluarse únicamente en términos de reducción de emisiones, sino también en función de su impacto sobre la equidad social. Por ejemplo, políticas como los impuestos al carbono pueden ser eficientes desde el punto de vista económico, pero regresivas si afectan proporcionalmente más a los hogares de bajos ingresos.

Asimismo, el concepto de justicia energética se vincula con debates más amplios sobre justicia climática y responsabilidad histórica. Países del Sur global argumentan que los países industrializados deben asumir una mayor responsabilidad en la financiación y transferencia tecnológica, dado su mayor peso en las emisiones acumuladas.

En definitiva, la justicia energética redefine el objetivo de la transición: no basta con que sea “verde”, debe ser también justa.

5.4.2. Participación ciudadana y legitimidad democrática

La aceptación social de la transición energética constituye uno de los factores determinantes de su éxito. Las políticas energéticas, especialmente aquellas que implican cambios en infraestructuras, usos del suelo o costes

económicos, requieren un alto grado de legitimidad para ser sostenibles en el tiempo.

La participación ciudadana emerge, en este contexto, como un elemento clave de la gobernanza democrática. Según Arnstein (1969), los procesos participativos pueden situarse en distintos niveles, desde la simple información hasta la cogestión y el control ciudadano. En el ámbito energético, avanzar hacia formas más profundas de participación implica no solo consultar a la ciudadanía, sino incorporarla activamente en la toma de decisiones.

Las comunidades energéticas, analizadas en el apartado anterior, representan un ejemplo de esta democratización. Sin embargo, la participación no se limita a estos modelos. Incluye también:

- Procesos de consulta pública en proyectos energéticos.
- Presupuestos participativos vinculados a inversiones sostenibles.
- Plataformas de deliberación ciudadana sobre políticas climáticas.

No obstante, la participación efectiva enfrenta desafíos importantes:

- Desigualdades en el acceso a la información y a los procesos de decisión.
- Fatiga participativa en contextos de consultas frecuentes.
- Riesgo de captura por intereses organizados.

Como señala Fung (2006), la calidad de la participación depende de su diseño institucional, su inclusividad y su capacidad real de influir en las decisiones.

En consecuencia, la legitimidad democrática de la transición energética no se construye únicamente mediante resultados, sino también a través de procesos percibidos como justos, transparentes e inclusivos.

5.4.3. Conflictos socioambientales y tensiones distributivas

La implementación territorial de la transición energética genera inevitablemente conflictos socioambientales. Estos conflictos no son anomalías,

sino expresiones de tensiones estructurales entre objetivos globales, intereses locales y dinámicas económicas.

Según Joan Martínez-Alier (2002), los conflictos ambientales reflejan disputas sobre la distribución de costes y beneficios del uso de recursos naturales. En el contexto de la transición energética, estos conflictos pueden surgir en múltiples ámbitos:

- Instalación de infraestructuras renovables (parques eólicos, solares).
- Extracción de minerales críticos.
- Transformación de usos del suelo.
- Incremento de precios energéticos.

Un aspecto clave es que incluso las tecnologías “verdes” pueden generar impactos negativos a nivel local. Por ejemplo, proyectos de energía renovable pueden afectar paisajes, biodiversidad o modos de vida tradicionales, especialmente en comunidades rurales o indígenas.

Además, la transición energética puede exacerbar desigualdades existentes. Las regiones con menor capacidad económica o institucional pueden quedar rezagadas, mientras que los beneficios de la transición se concentran en territorios más desarrollados o en actores con mayor capacidad de inversión.

El concepto de “transición justa” surge precisamente como respuesta a estas tensiones, proponiendo mecanismos para mitigar impactos negativos y garantizar equidad. Sin embargo, su implementación efectiva sigue siendo un desafío, especialmente en contextos de recursos limitados.

En última instancia, los conflictos socioambientales ponen de relieve que la transición energética no es un proceso neutral, sino profundamente político, en el que se negocian intereses, valores y visiones de futuro.

Conclusión

El análisis desarrollado a lo largo de este capítulo permite afirmar que la transición energética no puede comprenderse ni gestionarse exclusivamente

como un proceso tecnológico o económico. Se trata, ante todo, de una transformación profundamente institucional, territorial y política, en la que confluyen múltiples escalas de decisión, actores heterogéneos y conflictos distributivos. La sostenibilidad energética, en este sentido, emerge como un problema de gobernanza compleja que exige integrar eficiencia, equidad y legitimidad democrática en un mismo marco analítico y operativo.

En primer lugar, el estudio de la gobernanza multinivel ha puesto de manifiesto que la transición energética se articula a través de una constelación de actores que operan en niveles interdependientes: global, nacional, regional y local. Las instituciones internacionales establecen marcos normativos y objetivos comunes, como los derivados del Acuerdo de París, pero su implementación depende en gran medida de la capacidad de los Estados y, especialmente, de los gobiernos subnacionales. Esta dinámica revela una tensión estructural entre coordinación global y autonomía territorial, que solo puede resolverse mediante mecanismos flexibles de cooperación, aprendizaje institucional y adaptación contextual (Kuzemko et al., 2020; Newell, 2019).

En segundo lugar, el análisis de la dimensión territorial ha evidenciado que la transición energética no se despliega de manera homogénea en el espacio. Cada territorio presenta condiciones específicas, recursos naturales, estructura económica, capacidades institucionales, cultura energética, que condicionan tanto las oportunidades como los riesgos del cambio. La emergencia de modelos como las comunidades energéticas, los clústeres industriales verdes o las regiones especializadas en energías renovables muestra que la transición puede convertirse en un motor de desarrollo local. Sin embargo, también pone de relieve el riesgo de nuevas desigualdades territoriales si no se diseñan políticas redistributivas y estrategias de cohesión (Bridge et al., 2013; IRENA, 2023).

En tercer lugar, se ha destacado el papel creciente de la cooperación internacional y regional como instrumento clave para gestionar interdependencias energéticas y climáticas. Las redes eléctricas interconectadas, los mercados energéticos integrados y los acuerdos de transferencia tecnológica constituyen herramientas fundamentales para optimizar recursos, reducir costes y acelerar

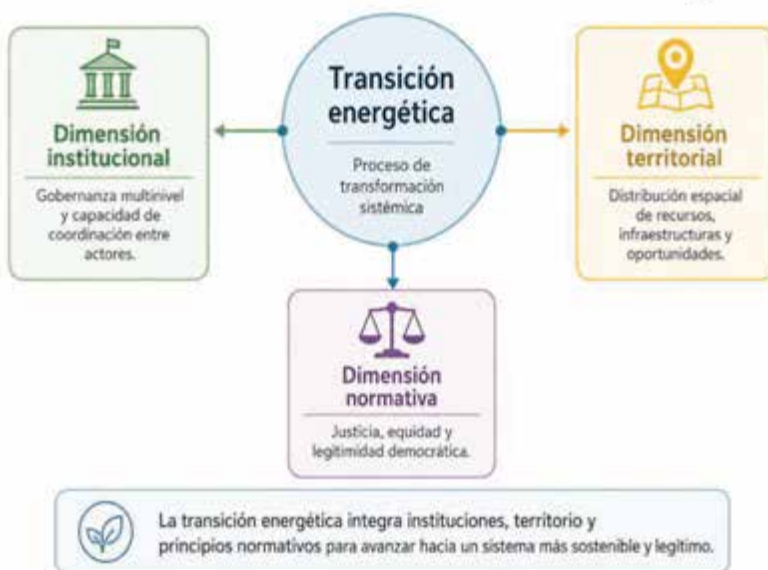
la descarbonización. No obstante, estas dinámicas de cooperación se desarrollan en un contexto de asimetrías de poder y capacidades, lo que plantea desafíos en términos de equidad y gobernanza global. La transición energética, lejos de eliminar las tensiones geopolíticas, tiende a reconfigurarlas en torno a nuevos ejes, como el control de minerales críticos o de tecnologías estratégicas (IEA, 2023; Yergin, 2020).

En cuarto lugar, la incorporación del enfoque de justicia energética ha permitido problematizar la dimensión normativa de la transición. La distribución de costes y beneficios, la inclusión en los procesos de decisión y el reconocimiento de las diferencias sociales y territoriales son elementos centrales para evaluar la sostenibilidad del cambio. Como señalan Sovacool y Dworkin (2015), la energía no es solo un recurso económico, sino un bien social cuya gestión implica decisiones éticas y políticas. En este sentido, la transición energética solo será viable si logra articular criterios de justicia distributiva, procedimental y de reconocimiento.

Asimismo, el análisis de la participación ciudadana y de los conflictos socioambientales ha puesto de relieve que la legitimidad constituye una condición indispensable para la sostenibilidad de la transición. Las resistencias sociales frente a determinadas políticas o proyectos energéticos no deben interpretarse únicamente como obstáculos, sino como expresiones de demandas legítimas de inclusión, transparencia y equidad. La gobernanza democrática de la energía implica, por tanto, diseñar procesos participativos efectivos, fortalecer la rendición de cuentas y garantizar que las decisiones reflejen una pluralidad de intereses y perspectivas (Fung, 2006; Martínez-Alier, 2002).

De manera transversal, el capítulo ha evidenciado que la transición energética implica una reconfiguración del contrato social y territorial en torno a la energía. El paso de sistemas centralizados y jerárquicos a modelos más distribuidos y participativos redefine el papel de los ciudadanos, que dejan de ser consumidores pasivos para convertirse en actores activos, prosumidores, dentro del sistema energético. Este cambio abre nuevas oportunidades para la democratización de la energía, pero también plantea desafíos en términos de regulación, coordinación y equidad.

Dimensiones fundamentales de la transición energética



La integración de estas tres dimensiones constituye el principal desafío teórico y práctico de la sostenibilidad energética en el siglo XXI. No se trata únicamente de descarbonizar la economía, sino de construir un nuevo modelo energético que sea, al mismo tiempo, eficiente, resiliente y justo.

En consecuencia, el capítulo refuerza la idea central de la tesis: la transición energética no es un proceso lineal ni neutral, sino un campo de disputa en el que se redefinen las bases materiales, institucionales y éticas del desarrollo contemporáneo. Su éxito dependerá de la capacidad de articular innovación tecnológica con gobernanza inclusiva, eficiencia económica con justicia social y objetivos globales con realidades locales.

Este enfoque integral permite avanzar hacia una concepción de la sostenibilidad energética no como un estado final, sino como un proceso dinámico de adaptación, aprendizaje y negociación colectiva. Solo desde esta perspectiva será posible afrontar la complejidad del desafío energético global y construir una transición que no solo sea baja en carbono, sino también socialmente legítima y territorialmente equilibrada.

CAPÍTULO 6
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA,
DIGITALIZACIÓN E INTELIGENCIA
ARTIFICIAL PARA LA SOSTENIBILIDAD
ENERGÉTICA

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente
Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona

Dra. Josefa Boria-Reverter
Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona

La transición energética contemporánea se desarrolla en un contexto histórico singular, caracterizado por la convergencia de dos grandes transformaciones estructurales: la crisis ecológica global y la revolución digital. Si los capítulos anteriores han mostrado que la sostenibilidad energética exige una reconfiguración profunda de los sistemas productivos, institucionales y sociales, este capítulo introduce un elemento adicional que redefine dicha transformación: el papel de la innovación tecnológica y, en particular, de la digitalización y la inteligencia artificial (IA) como vectores clave del cambio energético.

En el siglo XXI, la energía ya no puede analizarse únicamente como un flujo físico de recursos, sino como un sistema híbrido en el que se entrelazan infraestructuras materiales y arquitecturas digitales. La emergencia de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), el big data, la inteligencia artificial, el blockchain o los gemelos digitales ha dado lugar a un nuevo paradigma energético-informacional, en el que la gestión de datos, la capacidad de predicción y la automatización se convierten en elementos centrales para el funcionamiento del sistema energético (International Energy Agency [IEA], 2023; World Economic Forum [WEF], 2023).

Esta transformación tecnológica abre oportunidades sin precedentes para avanzar hacia la sostenibilidad energética. La digitalización permite optimizar el uso de recursos, integrar fuentes renovables intermitentes, mejorar la eficiencia de procesos industriales y facilitar la descentralización del sistema energético. En este sentido, la innovación tecnológica se presenta como un instrumento fundamental para acelerar la descarbonización y alcanzar los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París.

Sin embargo, esta visión optimista debe matizarse. Como advierte el United Nations Environment Programme (UNEP, 2023), la tecnología digital no es intrínsecamente sostenible: su impacto depende de las condiciones institucionales, económicas y sociales en las que se desarrolla. La creciente demanda energética de los centros de datos, el consumo intensivo de recursos minerales, la concentración del poder tecnológico en grandes corporaciones y las brechas digitales entre regiones plantean nuevos desafíos que pueden comprometer los beneficios potenciales de la digitalización (Belkhir & Elmeligi, 2022; Sovacool et al., 2022).

De este modo, la innovación tecnológica en el ámbito energético se configura como un fenómeno ambivalente: simultáneamente solución y problema, oportunidad y riesgo. La inteligencia artificial, por ejemplo, permite optimizar la producción y el consumo energético mediante modelos predictivos avanzados, pero también requiere infraestructuras computacionales altamente intensivas en energía (Patterson et al., 2022; Rolnick et al., 2023). Esta dualidad obliga a replantear el papel de la tecnología en la sostenibilidad, superando visiones simplistas basadas en el tecnosolucionismo.

Desde una perspectiva teórica, este capítulo se inscribe en el enfoque de las transiciones sociotécnicas, que entiende la transformación energética como el resultado de la interacción entre innovación tecnológica, estructuras institucionales y dinámicas sociales (Geels, 2011; Kuzemko et al., 2020). La digitalización no actúa de manera aislada, sino que se integra en un sistema complejo donde intervienen múltiples actores, empresas tecnológicas, gobiernos, comunidades energéticas y consumidores, y donde se configuran nuevas relaciones de poder.

Asimismo, la incorporación de la dimensión digital permite ampliar el análisis de la sostenibilidad energética hacia el ámbito de la justicia digital y energética, entendida como la necesidad de garantizar que los beneficios de la innovación tecnológica se distribuyan de manera equitativa y no reproduzcan desigualdades existentes (Martínez-Alier, 2020). En este sentido, la transición energética digital plantea interrogantes fundamentales: ¿Quién controla los datos energéticos? ¿Quién se beneficia de la automatización? ¿Quién asume los costes ambientales de la infraestructura digital?

Este capítulo tiene como objetivo analizar de manera crítica el papel de la innovación tecnológica y la inteligencia artificial en la transición energética, integrando sus dimensiones técnicas, económicas, sociales y éticas. Para ello, se estructura en cuatro bloques principales.

En primer lugar (6.1), se examina la revolución digital en el sistema energético, analizando la convergencia entre energía e información y sus implicaciones estructurales. En segundo lugar (6.2), se aborda el papel de la inteligencia artificial en la optimización energética, identificando sus principales aplicaciones y limitaciones. En tercer lugar (6.3), se analizan los ries-

gos, dilemas éticos y externalidades de la digitalización, con especial atención a su impacto ambiental y social. Finalmente (6.4), se exploran los marcos de gobernanza y las condiciones necesarias para una innovación tecnológica sostenible y justa.

En conjunto, el capítulo propone una tesis central: la digitalización no garantiza por sí misma la sostenibilidad energética; solo cuando está orientada por principios de eficiencia ecológica, equidad social y gobernanza democrática puede convertirse en un verdadero motor de transición.

De este modo, la innovación tecnológica deja de ser un fin en sí mismo para convertirse en un medio subordinado a un objetivo más amplio: la construcción de un sistema energético que no solo sea inteligente, sino también sostenible, inclusivo y compatible con los límites planetarios.

6.1. La revolución digital en el sistema energético

La transición energética contemporánea no puede comprenderse plenamente sin atender al papel central que desempeña la digitalización en la reconfiguración de los sistemas energéticos. Si históricamente la evolución de la energía ha estado determinada por la disponibilidad de recursos y el desarrollo de tecnologías de conversión, en la actualidad emerge un nuevo factor estructurante: la capacidad de generar, procesar y utilizar información en tiempo real para optimizar el funcionamiento del sistema energético.

En este contexto, la digitalización actúa como una capa transversal que transforma todas las fases del ciclo energético, producción, distribución, almacenamiento y consumo, introduciendo nuevas formas de eficiencia, control y coordinación. La incorporación de sensores, plataformas digitales, sistemas de análisis de datos y algoritmos avanzados permite superar algunas de las limitaciones tradicionales del modelo energético, especialmente en lo relativo a la integración de energías renovables intermitentes y la gestión de la demanda (International Energy Agency [IEA], 2023).

No obstante, esta transformación no es meramente técnica. La digitalización redefine las relaciones entre actores, altera las estructuras de poder y genera nuevas dependencias tecnológicas. El sistema energético deja de ser

exclusivamente un sistema físico para convertirse en un sistema ciberfísico, en el que la infraestructura material y la infraestructura digital se encuentran profundamente interconectadas (Kuzemko et al., 2020). Este cambio implica una creciente complejidad, pero también abre la puerta a formas más flexibles, descentralizadas y participativas de organización energética.

Al mismo tiempo, la expansión de la digitalización plantea interrogantes fundamentales sobre su sostenibilidad. El aumento del consumo energético asociado a las tecnologías digitales, los riesgos de ciberseguridad, la concentración del poder en grandes plataformas tecnológicas y la brecha digital entre territorios cuestionan la idea de que la digitalización sea, por sí misma, una solución a la crisis energética (Sovacool et al., 2022).

Desde esta perspectiva, el análisis de la revolución digital en el sistema energético exige una aproximación crítica y multidimensional. No se trata únicamente de evaluar sus beneficios en términos de eficiencia o innovación, sino de comprender sus implicaciones estructurales en términos de sostenibilidad, equidad y gobernanza.

El presente apartado se propone, por tanto, examinar la digitalización como uno de los pilares fundamentales de la transición energética contemporánea. Para ello, se analizan tres dimensiones clave: el paso del paradigma industrial al energético-digital, la creciente interdependencia entre energía e información y la transformación de las relaciones de poder en el sistema energético. A través de este análisis, se busca mostrar que la digitalización no es un fenómeno accesorio, sino un elemento constitutivo del nuevo modelo energético en construcción.

Sin embargo, esta convergencia no está exenta de riesgos sistémicos. La digitalización energética solo es sostenible si el ahorro de emisiones y energía que genera en el sistema (mediante la optimización de procesos) es significativamente mayor que la huella energética, hídrica y material de la infraestructura digital necesaria para lograrlo. Por tanto, la IA debe entenderse como una herramienta condicional: su éxito no se mide por su capacidad de cómputo, sino por su balance neto de sostenibilidad.

Por tanto, el análisis de la IA no debe considerarse desde un prisma tecnosolucionista. La digitalización no es la solución ‘per se’, sino un instrumento que, si no se integra en un marco de suficiencia energética, corre el riesgo de acelerar los mismos problemas que intenta resolver.

6.1.1. Del paradigma industrial al paradigma energético-digital

La evolución del sistema energético a lo largo de la historia ha estado marcada por grandes transformaciones estructurales asociadas a cambios tecnológicos profundos. Si la primera revolución industrial estuvo dominada por la mecanización basada en el carbón, la segunda por la electrificación y el petróleo, y la tercera por la automatización y la informática, la actual transición energética se inscribe en lo que Klaus Schwab (2017) denomina la Cuarta Revolución Industrial, caracterizada por la convergencia entre sistemas físicos, digitales y biológicos.

En este nuevo contexto, el sistema energético experimenta una transformación cualitativa: deja de ser un sistema lineal, centralizado y basado en infraestructuras rígidas para convertirse en un sistema dinámico, interconectado y adaptativo. La energía ya no se gestiona únicamente a través de infraestructuras físicas (centrales, redes, combustibles), sino también mediante infraestructuras digitales (sensores, algoritmos, plataformas de datos), dando lugar a lo que puede denominarse un paradigma energético-digital.

Este cambio implica una mutación en la naturaleza misma del sistema energético. Mientras que el modelo industrial clásico se basaba en la previsibilidad, la producción masiva y el control centralizado, el nuevo paradigma se fundamenta en la flexibilidad, la descentralización y la capacidad de adaptación en tiempo real. Según la International Energy Agency (IEA, 2023), la digitalización permite transformar el sistema energético en una red inteligente capaz de gestionar de forma dinámica la interacción entre oferta y demanda.

Desde una perspectiva teórica, esta transformación puede interpretarse como una transición sociotécnica en el sentido propuesto por Geels (2011), en la que la innovación tecnológica no actúa de forma aislada, sino en interacción con cambios institucionales, económicos y culturales. La digitalización,

en este sentido, no es simplemente una herramienta, sino un elemento estructurante del nuevo régimen energético.

Sin embargo, esta transición también introduce nuevas dependencias. El sistema energético pasa a depender de infraestructuras digitales complejas, de proveedores tecnológicos globales y de flujos de datos que requieren capacidades de procesamiento cada vez mayores. Esta dependencia plantea interrogantes sobre soberanía tecnológica, resiliencia y control del sistema energético en un contexto globalizado.

En consecuencia, el paso del paradigma industrial al energético-digital no representa únicamente una mejora técnica, sino una reconfiguración profunda del metabolismo energético de la sociedad contemporánea.

6.1.2. Energía e información: hacia un nuevo metabolismo socioeconómico

Uno de los rasgos más distintivos de la revolución digital energética es la creciente interdependencia entre energía e información. En el sistema contemporáneo, los flujos energéticos y los flujos de datos se encuentran estrechamente integrados, dando lugar a un nuevo metabolismo socioeconómico basado en la retroalimentación continua entre ambos.

La digitalización permite capturar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, lo que facilita una gestión más eficiente y precisa de los sistemas energéticos. Tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), el big data y la inteligencia artificial permiten monitorizar el consumo, prever la demanda, optimizar la generación y detectar fallos en infraestructuras críticas (Li et al., 2022).

Este proceso de informatización de la energía transforma la lógica de funcionamiento del sistema. La toma de decisiones deja de basarse exclusivamente en modelos estáticos o previsiones agregadas y pasa a depender de sistemas dinámicos capaces de adaptarse continuamente a las condiciones cambiantes del entorno. Como señala el World Economic Forum (2023), esta capacidad de adaptación constituye uno de los principales factores de resiliencia en sistemas energéticos complejos.

No obstante, esta integración también genera nuevas tensiones. El crecimiento exponencial de los datos y de la infraestructura digital conlleva un aumento significativo del consumo energético asociado a centros de datos, redes de telecomunicaciones y dispositivos conectados. Según estimaciones recientes, el sector digital podría representar hasta un 8 % del consumo global de electricidad en 2030, lo que plantea un desafío relevante para la sostenibilidad (WEF, 2023).

Además, la dependencia de sistemas digitales introduce vulnerabilidades adicionales, como riesgos de ciberseguridad, fallos sistémicos o ataques a infraestructuras críticas. La energía, al convertirse en un sistema altamente digitalizado, se vuelve también más susceptible a amenazas de naturaleza tecnológica.

Desde una perspectiva crítica, este nuevo metabolismo energético-informacional debe analizarse no solo en términos de eficiencia, sino también de sostenibilidad y resiliencia. La digitalización no elimina los límites físicos del sistema energético, sino que los reconfigura, desplazando parte de la demanda hacia nuevas formas de consumo energético intensivo.

En este sentido, la relación entre energía e información constituye uno de los ejes centrales para comprender las dinámicas contemporáneas de la transición energética.

6.1.3. Digitalización, eficiencia y transformación del poder energético

La digitalización no solo modifica la estructura técnica del sistema energético, sino también su arquitectura de poder. Uno de los efectos más relevantes de la incorporación de tecnologías digitales es la posibilidad de avanzar hacia sistemas más descentralizados, flexibles y participativos.

Las redes inteligentes (smart grids), los contadores inteligentes (smart meters) y las plataformas de gestión energética permiten una interacción bidireccional entre productores y consumidores, rompiendo la lógica tradicional de un sistema unidireccional. Este cambio facilita la integración de energías renovables distribuidas, el autoconsumo y la aparición de nuevos actores en el sistema energético, como las comunidades energéticas o los prosumidores (IRENA, 2023).

Desde esta perspectiva, la digitalización puede interpretarse como un instrumento de democratización energética, al reducir las barreras de entrada y permitir una mayor participación de actores locales. Como señala Brummer (2018), la digitalización contribuye a la emergencia de mercados energéticos descentralizados en los que los usuarios pueden intercambiar energía de forma directa.

Sin embargo, esta visión debe ser matizada. La digitalización también puede favorecer procesos de concentración de poder en manos de grandes empresas tecnológicas que controlan plataformas, datos e infraestructuras digitales. Este fenómeno, analizado por Sovacool et al. (2022), plantea el riesgo de que la transición energética digital reproduzca o incluso intensifique desigualdades existentes.

Asimismo, la mejora de la eficiencia energética derivada de la digitalización no garantiza una reducción del consumo total. El denominado efecto rebote digital implica que las ganancias de eficiencia pueden ser compensadas por un aumento en el uso de energía, especialmente en contextos de crecimiento económico o expansión tecnológica (Belkhir & Elmeligi, 2022).

Para mitigar esta paradoja, la estrategia de transición debe pivotar hacia la Sostenibilidad por Diseño. Esto implica que el despliegue de soluciones inteligentes debe estar subordinado a límites biofísicos predefinidos, priorizando algoritmos de bajo consumo (Green AI) y garantizando que la expansión digital no alimente un crecimiento infinito de la demanda de recursos, sino que sirva exclusivamente para la descarbonización del sistema.

Por ello, la sostenibilidad de la digitalización energética depende de su integración en un marco más amplio de políticas públicas, regulación y gobernanza. No basta con mejorar la eficiencia técnica; es necesario garantizar que dicha eficiencia se traduzca en una reducción real del impacto ambiental y en una distribución equitativa de los beneficios.

En última instancia, la revolución digital en el sistema energético no es únicamente un proceso tecnológico, sino una transformación estructural que

redefine las relaciones entre energía, sociedad y poder. Su éxito dependerá de la capacidad de orientar esta transformación hacia objetivos de sostenibilidad, equidad y resiliencia.

6.2. Inteligencia artificial aplicada a la energía

La inteligencia artificial (IA) se ha consolidado en la última década como uno de los principales vectores de transformación del sistema energético contemporáneo. Si la digitalización ha introducido la capacidad de generar y gestionar datos en tiempo real, la IA añade una dimensión adicional: la posibilidad de interpretar esos datos, aprender de ellos y tomar decisiones automatizadas o asistidas en entornos complejos e inciertos.

En el contexto de la transición energética, esta capacidad resulta especialmente relevante. La creciente penetración de energías renovables intermitentes, la descentralización de la generación, la electrificación de sectores clave y la aparición de nuevos actores en el sistema energético incrementan significativamente la complejidad de la gestión energética. En este escenario, los sistemas tradicionales de planificación y control resultan insuficientes, lo que abre espacio para el despliegue de herramientas basadas en inteligencia artificial (International Energy Agency [IEA], 2023).

La IA permite optimizar la producción, distribución y consumo de energía mediante modelos predictivos, algoritmos de optimización y sistemas de aprendizaje automático. Sus aplicaciones abarcan desde la gestión de redes eléctricas inteligentes hasta el mantenimiento predictivo de infraestructuras, pasando por la eficiencia energética en edificios, la integración de vehículos eléctricos o la planificación de sistemas energéticos a gran escala (Rolnick et al., 2023).

Sin embargo, el papel de la IA en la transición energética no está exento de tensiones. Su desarrollo implica un elevado consumo energético asociado al entrenamiento de modelos, una creciente dependencia de infraestructuras digitales intensivas en recursos y riesgos relacionados con la opacidad algorítmica, la concentración de poder tecnológico y la desigualdad en el acceso a estas tecnologías (Patterson et al., 2022; Sovacool et al., 2022).

En este sentido, la IA debe entenderse como una tecnología habilitadora, pero no neutral. Su impacto en la sostenibilidad energética dependerá de las condiciones institucionales, regulatorias y sociales en las que se implemente. Tal como señalan Kuzemko et al. (2020), la innovación tecnológica solo contribuye a la transición cuando se alinea con objetivos de sostenibilidad, justicia y gobernanza democrática.

6.2.1. Aplicaciones de la inteligencia artificial en el sistema energético

La inteligencia artificial se ha integrado progresivamente en múltiples niveles del sistema energético, transformando tanto la operación cotidiana como la planificación estratégica. Una de sus aplicaciones más relevantes se encuentra en la gestión de redes eléctricas inteligentes (smart grids), donde algoritmos de aprendizaje automático permiten equilibrar en tiempo real la oferta y la demanda, anticipar fluctuaciones y minimizar pérdidas (IEA, 2023).

En sistemas con alta penetración de energías renovables, caracterizados por su variabilidad e intermitencia, la IA resulta especialmente útil para mejorar la previsión de generación. Modelos avanzados de predicción meteorológica y de producción energética permiten optimizar la integración de fuentes como la solar y la eólica, reduciendo la necesidad de respaldo fósil y aumentando la estabilidad del sistema (Rolnick et al., 2023).

Otra aplicación clave es el mantenimiento predictivo de infraestructuras energéticas. Mediante el análisis de datos procedentes de sensores, la IA puede detectar patrones de fallo antes de que se produzcan averías, reduciendo costes operativos, mejorando la seguridad y prolongando la vida útil de los activos (Zhou et al., 2021).

En el ámbito del consumo, la inteligencia artificial permite optimizar la eficiencia energética en edificios y procesos industriales. Sistemas de gestión inteligente pueden ajustar automáticamente la climatización, la iluminación o el uso de equipos en función de patrones de comportamiento y condiciones ambientales, logrando reducciones significativas en el consumo energético (IEA, 2022).

Asimismo, la IA desempeña un papel creciente en la integración de nuevos vectores energéticos, como los vehículos eléctricos o el hidrógeno verde. En el caso de la movilidad eléctrica, algoritmos inteligentes permiten gestionar la carga de vehículos de forma coordinada, evitando picos de demanda y facilitando la interacción con la red (vehicle-to-grid).

En conjunto, estas aplicaciones muestran que la inteligencia artificial actúa como un elemento clave para gestionar la creciente complejidad del sistema energético contemporáneo. No obstante, su implementación requiere infraestructuras adecuadas, capacidades técnicas y marcos regulatorios que garanticen su uso eficiente y equitativo.

6.2.2. Inteligencia artificial, eficiencia energética y descarbonización

Uno de los principales argumentos a favor de la inteligencia artificial en el ámbito energético es su potencial para mejorar la eficiencia y acelerar la descarbonización. En un sistema caracterizado por pérdidas, ineficiencias y desajustes entre oferta y demanda, la capacidad de optimización que ofrece la IA puede traducirse en reducciones significativas del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La eficiencia energética constituye uno de los pilares fundamentales de la transición. Según la IEA (2023), mejoras en eficiencia podrían representar más del 40 % de las reducciones de emisiones necesarias para alcanzar los objetivos climáticos. En este contexto, la IA permite identificar oportunidades de ahorro que serían difíciles de detectar mediante métodos tradicionales.

Por ejemplo, en el sector industrial, los sistemas de inteligencia artificial pueden optimizar procesos productivos complejos, ajustando variables en tiempo real para minimizar el consumo energético sin comprometer la producción. En edificios, los sistemas inteligentes pueden adaptar el uso de energía a las necesidades reales de los usuarios, evitando consumos innecesarios.

En el ámbito de la generación energética, la IA contribuye a maximizar el rendimiento de las instalaciones renovables. Mediante el análisis de datos históricos y condiciones ambientales, es posible optimizar la orientación de

paneles solares, la operación de turbinas eólicas o la gestión de sistemas de almacenamiento energético (Li et al., 2022).

Además, la inteligencia artificial facilita la electrificación de sectores intensivos en carbono al mejorar la integración de tecnologías limpias en el sistema energético. La gestión inteligente de redes permite incorporar mayores volúmenes de energía renovable sin comprometer la estabilidad del sistema, reduciendo así la dependencia de combustibles fósiles.

Sin embargo, el impacto real de la IA sobre la sostenibilidad energética depende de su uso efectivo y de la escala de su implementación. La mejora de la eficiencia no garantiza automáticamente una reducción del consumo total debido al efecto rebote, por el cual los ahorros energéticos pueden inducir un mayor uso de la energía (Gillingham et al., 2016).

Por tanto, la inteligencia artificial debe integrarse en una estrategia más amplia que combine eficiencia, regulación y cambios en los patrones de consumo para lograr una descarbonización efectiva.

6.2.3. Limitaciones, riesgos y dilemas de la inteligencia artificial en la transición energética

A pesar de su potencial, la inteligencia artificial presenta importantes limitaciones y riesgos que deben ser considerados en el análisis de la transición energética. En primer lugar, el desarrollo y uso de sistemas de IA conlleva un consumo energético significativo. El entrenamiento de modelos avanzados, especialmente en aprendizaje profundo, requiere grandes cantidades de electricidad, lo que puede contradecir los objetivos de sostenibilidad si dicha energía no proviene de fuentes renovables (Patterson et al., 2022).

Asimismo, la infraestructura digital necesaria para soportar la IA, centros de datos, redes de comunicación, dispositivos conectados, implica un uso intensivo de recursos materiales, incluidos minerales críticos como litio, cobalto o tierras raras. Esto introduce nuevas presiones ambientales y geopolíticas en el sistema energético global.

Otro aspecto relevante es la opacidad algorítmica. Muchos sistemas de IA funcionan como “cajas negras”, lo que dificulta la comprensión de sus decisiones y plantea problemas de transparencia, rendición de cuentas y confianza social. En el ámbito energético, donde las decisiones pueden afectar a millones de usuarios, esta opacidad representa un desafío significativo (Sovacool et al., 2022).

Además, la concentración del desarrollo de la IA en un reducido número de empresas tecnológicas globales genera riesgos de dependencia y de concentración de poder. El control de datos, algoritmos e infraestructuras digitales puede traducirse en una nueva forma de dominación tecnológica que reproduzca desigualdades existentes entre países y regiones.

Por último, la brecha digital constituye un obstáculo importante para la implementación equitativa de la IA en el sistema energético. Las regiones con menor acceso a infraestructura digital o capacidades tecnológicas pueden quedar excluidas de los beneficios de la transición energética digital, ampliando las desigualdades globales.

En consecuencia, la inteligencia artificial debe ser gobernada mediante marcos regulatorios que garanticen su uso responsable, transparente y alineado con los objetivos de sostenibilidad. No se trata solo de desplegar tecnología, sino de orientar su desarrollo hacia el bien común.

6.3. Riesgos estructurales, dilemas éticos y sostenibilidad de la digitalización energética

La digitalización y la inteligencia artificial han sido presentadas, en gran medida, como herramientas clave para acelerar la transición energética y mejorar la eficiencia de los sistemas energéticos. Sin embargo, como se ha apuntado en los apartados anteriores, estas tecnologías no son intrínsecamente sostenibles ni neutrales. Su despliegue genera nuevas dinámicas de consumo, dependencia y desigualdad que deben ser analizadas desde una perspectiva crítica.

La transición energética digital se desarrolla en un contexto de creciente complejidad, en el que los beneficios potenciales de la innovación tecnológica

coexisten con riesgos estructurales significativos. Estos riesgos no se limitan al ámbito técnico, sino que abarcan dimensiones ambientales, económicas, sociales y políticas. En particular, la expansión de infraestructuras digitales intensivas en energía y materiales, la concentración del poder tecnológico y la aparición de nuevas formas de desigualdad plantean interrogantes fundamentales sobre la sostenibilidad del modelo emergente (Sovacool et al., 2022; United Nations Environment Programme [UNEP], 2023).

Desde una perspectiva teórica, estos desafíos pueden interpretarse en el marco de la economía política de la transición energética, que subraya cómo las transformaciones tecnológicas están profundamente condicionadas por relaciones de poder, intereses económicos y estructuras institucionales (Newell, 2019). En este sentido, la digitalización no solo reconfigura el sistema energético, sino también las relaciones sociales y geopolíticas que lo sustentan.

El presente apartado analiza los principales riesgos y dilemas asociados a la digitalización energética desde tres dimensiones complementarias: el impacto ambiental y material de la infraestructura digital (6.3.1), los dilemas éticos y de gobernanza asociados a la inteligencia artificial (6.3.2), y las desigualdades y brechas derivadas de la transición energética digital (6.3.3). A través de este análisis, se busca mostrar que la sostenibilidad de la transición energética no depende únicamente de la incorporación de nuevas tecnologías, sino de la forma en que estas son diseñadas, implementadas y gobernadas.

6.3.1. Huella ambiental de la digitalización: energía, materiales y límites planetarios

Uno de los aspectos más críticos de la digitalización energética es su impacto ambiental, frecuentemente subestimado en los discursos tecnocéntricos. Aunque las tecnologías digitales permiten mejorar la eficiencia energética, también generan una demanda creciente de energía y recursos materiales que puede contrarrestar parte de sus beneficios.

El funcionamiento de la economía digital depende de infraestructuras físicas altamente intensivas en energía, como centros de datos, redes de telecomunicaciones y dispositivos electrónicos. Según estimaciones recientes, los centros de datos representan entre el 1 % y el 3 % del consumo eléctrico

mundial, con una tendencia creciente impulsada por el desarrollo de la inteligencia artificial y el big data (IEA, 2023). Esta demanda energética adicional plantea un desafío relevante en términos de sostenibilidad, especialmente si no se abastece mediante fuentes renovables.

Además, la producción de tecnologías digitales requiere grandes cantidades de minerales críticos, como litio, cobalto, níquel y tierras raras, fundamentales para baterías, dispositivos electrónicos y sistemas de almacenamiento energético. La extracción de estos recursos está asociada a impactos ambientales significativos, incluyendo degradación del suelo, contaminación del agua y pérdida de biodiversidad (Ali et al., 2022).

Este fenómeno ha sido descrito por algunos autores como una nueva forma de “extractivismo digital”, en la que la transición energética y tecnológica desplaza la presión ambiental hacia nuevas cadenas de suministro globales. En este sentido, la sostenibilidad de la digitalización no puede evaluarse únicamente en términos de emisiones, sino que debe considerar el conjunto del ciclo de vida de las tecnologías.

Asimismo, la obsolescencia tecnológica y el aumento de residuos electrónicos (e-waste) representan otro desafío crítico. El rápido ritmo de innovación tecnológica genera una renovación constante de dispositivos, lo que incrementa la generación de residuos difíciles de reciclar y gestionar adecuadamente.

Desde la perspectiva de los límites planetarios (Rockström et al., 2009; Richardson et al., 2023), la digitalización energética puede contribuir a reducir la presión sobre el clima, pero al mismo tiempo intensificar otros impactos ambientales si no se gestiona de forma adecuada. Por ello, es necesario adoptar un enfoque integral que combine digitalización, eficiencia y economía circular.

6.3.2. Dilemas éticos y gobernanza de la inteligencia artificial energética

Más allá de sus implicaciones ambientales, la digitalización del sistema energético plantea importantes dilemas éticos y de gobernanza. La creciente utilización de algoritmos en la gestión energética introduce nuevas formas de toma de decisiones que pueden ser difíciles de interpretar, controlar o cuestionar.

Uno de los principales problemas es la opacidad algorítmica. Muchos sistemas de inteligencia artificial funcionan mediante modelos complejos cuyo funcionamiento interno no es fácilmente comprensible, incluso para sus propios desarrolladores. Esta falta de transparencia puede generar problemas de confianza y dificultar la rendición de cuentas en decisiones que afectan a la distribución de recursos energéticos (Patterson et al., 2022).

En el ámbito energético, donde las decisiones tienen implicaciones sociales y económicas significativas, la transparencia y la explicabilidad de los algoritmos son fundamentales. La asignación de recursos, la fijación de precios o la gestión de la demanda no pueden depender exclusivamente de sistemas automatizados sin supervisión adecuada.

Otro aspecto relevante es la gobernanza de los datos. La digitalización energética implica la recopilación masiva de datos sobre el consumo y comportamiento de los usuarios, lo que plantea cuestiones relacionadas con la privacidad, la seguridad y el control de la información. ¿Quién posee estos datos? ¿Cómo se utilizan? ¿Quién se beneficia de ellos?

La concentración del poder tecnológico en grandes corporaciones añade una dimensión adicional a estos dilemas. Empresas tecnológicas globales controlan gran parte de la infraestructura digital, los algoritmos y las plataformas necesarias para la gestión energética, lo que puede limitar la soberanía tecnológica de los países y aumentar la dependencia de actores privados (Sovacool et al., 2022).

Desde una perspectiva normativa, la gobernanza de la inteligencia artificial en el sistema energético requiere marcos regulatorios que garanticen transparencia, equidad y responsabilidad. Iniciativas como las propuestas de regulación de la IA en la Unión Europea representan un paso en esta dirección, aunque aún persisten importantes desafíos en su implementación.

En definitiva, la digitalización energética no es solo una cuestión de eficiencia, sino también de ética y poder. La forma en que se diseñen y regulen estas tecnologías determinará su impacto en la sociedad.

6.3.3. Brecha digital, desigualdad y justicia energética

La digitalización de la energía también tiene implicaciones profundas en términos de equidad y justicia social. Aunque las nuevas tecnologías ofrecen oportunidades para democratizar el acceso a la energía y mejorar la eficiencia, su implementación desigual puede generar nuevas formas de exclusión.

La brecha digital constituye uno de los principales obstáculos. Las diferencias en acceso a infraestructura digital, capacidades tecnológicas y recursos económicos entre países y regiones limitan la capacidad de aprovechar los beneficios de la digitalización energética. Mientras que algunas economías avanzan hacia sistemas energéticos inteligentes y descentralizados, otras enfrentan dificultades básicas de acceso a electricidad y servicios energéticos modernos (World Bank, 2023).

Esta desigualdad tecnológica puede traducirse en una desigualdad energética, ampliando las brechas existentes entre el Norte y el Sur global. Además, dentro de los propios países, ciertos grupos sociales pueden quedar excluidos de los beneficios de la transición digital, ya sea por falta de acceso a tecnología, conocimiento o recursos económicos.

El concepto de justicia energética (Sovacool & Dworkin, 2015) resulta clave para abordar estas cuestiones. Este enfoque propone que la transición energética debe garantizar no solo sostenibilidad ambiental, sino también equidad en la distribución de beneficios y cargas. En el contexto de la digitalización, esto implica asegurar un acceso equitativo a tecnologías, datos y oportunidades.

Asimismo, la digitalización puede transformar el mercado laboral, generando nuevas oportunidades de empleo en sectores tecnológicos, pero también desplazando trabajadores en sectores tradicionales. La automatización asociada a la inteligencia artificial puede intensificar estas dinámicas, lo que exige políticas de transición justa y formación profesional.

Por último, la participación ciudadana en la gobernanza energética constituye un elemento clave para garantizar la legitimidad de la transición. La

digitalización puede facilitar esta participación mediante plataformas colaborativas y modelos descentralizados, pero solo si se diseñan de forma inclusiva.

En síntesis, la digitalización energética plantea un desafío fundamental: evitar que la transición hacia un sistema más eficiente y tecnológicamente avanzado reproduzca o intensifique las desigualdades existentes. La sostenibilidad energética solo será posible si se integra con principios de justicia social y equidad global.

6.4. Gobernanza, políticas públicas y futuro de la transición energética digital

La incorporación de la digitalización y la inteligencia artificial en el sistema energético plantea la necesidad de repensar los marcos de gobernanza que orientan la transición energética. Como se ha mostrado en los apartados anteriores, la innovación tecnológica no es un proceso autónomo ni neutral, sino que está profundamente condicionado por decisiones políticas, estructuras institucionales y relaciones de poder.

En este contexto, la gobernanza de la transición energética digital adquiere una relevancia central. No se trata únicamente de promover el desarrollo tecnológico, sino de garantizar que dicho desarrollo esté alineado con los objetivos de sostenibilidad, equidad y resiliencia. La regulación, la planificación estratégica y la cooperación internacional se convierten, así, en elementos clave para orientar el despliegue de tecnologías digitales hacia el bien común (Kuzemko et al., 2020; Newell, 2019).

La transición energética digital requiere, además, una gobernanza multinivel que integre actores públicos, privados y sociales, así como diferentes escalas territoriales. Desde las políticas globales sobre cambio climático hasta las iniciativas locales de comunidades energéticas, la coordinación entre niveles de decisión es esencial para evitar fragmentaciones y maximizar el impacto de las medidas adoptadas.

El presente apartado aborda estas cuestiones desde tres dimensiones principales: el papel de las políticas públicas en la regulación de la digitalización

energética (6.4.1), los modelos emergentes de gobernanza y participación (6.4.2), y los escenarios futuros de la transición energética digital (6.4.3). El objetivo es identificar las condiciones necesarias para que la innovación tecnológica contribuya de manera efectiva a la sostenibilidad energética.

6.4.1. Políticas públicas y regulación de la digitalización energética

Las políticas públicas desempeñan un papel fundamental en la orientación de la transición energética digital. En un contexto caracterizado por la rápida evolución tecnológica, la regulación debe ser capaz de equilibrar la promoción de la innovación con la protección de los intereses sociales y ambientales.

Uno de los principales retos es la adaptación de los marcos regulatorios a la nueva realidad digital. Las normativas tradicionales, diseñadas para sistemas energéticos centralizados, resultan insuficientes para gestionar redes inteligentes, generación distribuida y mercados energéticos descentralizados. Es necesario desarrollar regulaciones flexibles que permitan integrar nuevas tecnologías sin comprometer la estabilidad del sistema (IEA, 2023).

Asimismo, la regulación de la inteligencia artificial en el ámbito energético debe abordar cuestiones como la transparencia algorítmica, la protección de datos y la responsabilidad en la toma de decisiones automatizadas. La propuesta de regulación de la IA en la Unión Europea representa un ejemplo de intento de establecer principios éticos y legales para el uso de estas tecnologías.

Otro elemento clave es la política industrial. La transición energética digital requiere el desarrollo de capacidades tecnológicas propias, lo que implica invertir en investigación, innovación y formación. La dependencia de proveedores tecnológicos externos puede limitar la soberanía energética y tecnológica de los países.

Además, las políticas fiscales y de incentivos deben orientarse a promover tecnologías digitales sostenibles, evitando al mismo tiempo prácticas como el greenwashing. La asignación eficiente de recursos públicos es esencial para acelerar la transición sin generar distorsiones en el mercado.

En definitiva, las políticas públicas no solo deben facilitar la adopción de tecnologías digitales, sino también garantizar que su implementación contribuya a objetivos de sostenibilidad, equidad y resiliencia.

6.4.2. Nuevos modelos de gobernanza y participación en el sistema energético

La digitalización del sistema energético abre la puerta a nuevas formas de gobernanza más descentralizadas, participativas e inclusivas. La aparición de comunidades energéticas, plataformas digitales y modelos de prosumo transforma el papel de los ciudadanos, que pasan de ser consumidores pasivos a actores activos en la producción y gestión de energía.

Las comunidades energéticas locales representan un ejemplo paradigmático de esta transformación. Estas iniciativas permiten a ciudadanos, empresas y administraciones colaborar en la generación, distribución y consumo de energía renovable, favoreciendo la democratización del sistema energético (IRENA, 2023).

La digitalización facilita estos modelos mediante plataformas que permiten la gestión descentralizada de recursos energéticos, el intercambio de energía entre usuarios y la optimización del consumo. Tecnologías como blockchain han sido propuestas como herramientas para garantizar la transparencia y la trazabilidad en estos sistemas (Andoni et al., 2019).

Sin embargo, la participación efectiva en estos modelos requiere superar barreras tecnológicas, económicas y sociales. No todos los ciudadanos tienen acceso a los recursos o conocimientos necesarios para participar en sistemas energéticos digitales, lo que puede generar nuevas formas de exclusión.

Por ello, la gobernanza energética debe incorporar mecanismos que garanticen la inclusión y la equidad. Esto implica promover la alfabetización digital, facilitar el acceso a tecnologías y diseñar políticas que apoyen la participación de colectivos vulnerables.

Asimismo, la coordinación entre actores es esencial para evitar conflictos y asegurar la coherencia del sistema. La gobernanza multinivel, que integra

instituciones locales, nacionales e internacionales, se presenta como un modelo adecuado para gestionar la complejidad de la transición energética digital.

En síntesis, la digitalización ofrece oportunidades para democratizar el sistema energético, pero su éxito dependerá de la capacidad de diseñar modelos de gobernanza inclusivos y participativos.

6.4.3. Escenarios futuros y condiciones para una transición energética digital sostenible

El futuro de la transición energética digital dependerá de la interacción entre factores tecnológicos, económicos, políticos y sociales. Aunque es difícil predecir con precisión la evolución del sistema energético, es posible identificar algunos escenarios y condiciones clave.

Un primer escenario es el de una transición acelerada impulsada por la innovación tecnológica y la digitalización. En este caso, la inteligencia artificial, las redes inteligentes y las energías renovables permitirían una rápida descarbonización del sistema energético. Sin embargo, este escenario requiere una fuerte coordinación política y una inversión sostenida en infraestructuras y capacidades tecnológicas.

Un segundo escenario es el de una transición desigual, en la que los beneficios de la digitalización se concentran en determinadas regiones o grupos sociales, ampliando las brechas existentes. Este escenario podría generar tensiones sociales y limitar la sostenibilidad a largo plazo del sistema energético.

Un tercer escenario es el de una transición sostenible e inclusiva, en la que la innovación tecnológica se integra con políticas de equidad, gobernanza democrática y respeto a los límites planetarios. Este escenario, aunque más complejo, es el único que garantiza una transición energética verdaderamente sostenible.

Para avanzar hacia este último escenario, es necesario cumplir una serie de condiciones. En primer lugar, alinear la innovación tecnológica con objetivos de sostenibilidad ambiental. En segundo lugar, garantizar la equidad en

el acceso y distribución de beneficios. En tercer lugar, desarrollar marcos de gobernanza que aseguren transparencia, participación y responsabilidad.

Además, la cooperación internacional será clave para abordar los desafíos globales de la transición energética digital. La transferencia de tecnología, la financiación climática y la coordinación de políticas son elementos esenciales para evitar una fragmentación del sistema energético global.

En última instancia, el futuro de la energía no dependerá únicamente de la tecnología, sino de las decisiones colectivas que orienten su desarrollo. La digitalización ofrece herramientas poderosas, pero su impacto dependerá de cómo se utilicen.

Conclusiones del Capítulo 6. Innovación tecnológica, digitalización e inteligencia artificial para la sostenibilidad energética

El análisis desarrollado en este capítulo permite afirmar que la transición energética del siglo XXI no puede comprenderse sin incorporar el papel central de la digitalización y la inteligencia artificial. Lejos de ser un elemento auxiliar, la innovación tecnológica constituye hoy una dimensión estructural del sistema energético, redefiniendo no solo sus mecanismos de funcionamiento, sino también sus implicaciones económicas, sociales y políticas.

En primer lugar, la revolución digital ha transformado la naturaleza misma del sistema energético, dando lugar a lo que puede denominarse un paradigma energético-informacional. La integración de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), el big data o la inteligencia artificial ha convertido la energía en un sistema dinámico, interconectado y adaptativo, en el que los flujos de información adquieren un papel equivalente al de los flujos físicos de energía (IEA, 2023; WEF, 2023). Esta transformación implica un cambio ontológico profundo: la energía deja de ser únicamente un recurso material para convertirse en un sistema cognitivo capaz de auto-optimizarse.

En segundo lugar, el capítulo ha evidenciado que la digitalización actúa como un acelerador clave de la sostenibilidad energética, al permitir mejoras sustanciales en eficiencia, integración de renovables y gestión de la demanda.

Tecnologías como las redes inteligentes (smart grids), los sistemas de gestión energética o los modelos predictivos basados en IA contribuyen a reducir pérdidas, optimizar la producción y mejorar la resiliencia del sistema (IRENA, 2023; Müller et al., 2023). En este sentido, la innovación tecnológica no solo facilita la transición energética, sino que redefine sus posibilidades técnicas y económicas.

Sin embargo, este potencial transformador no está exento de contradicciones. En tercer lugar, el análisis ha puesto de manifiesto la existencia de un dilema estructural de la digitalización energética: la misma tecnología que permite reducir emisiones puede generar nuevas formas de consumo energético intensivo. El crecimiento exponencial de los centros de datos, las redes digitales y los sistemas de inteligencia artificial plantea interrogantes sobre la huella ecológica del propio sistema tecnológico (Belkhir & Elmeligi, 2022; Patterson et al., 2022). Este fenómeno, asociado al efecto rebote digital, cuestiona la idea de que la eficiencia tecnológica conduzca automáticamente a una reducción del consumo global.

En cuarto lugar, el capítulo ha abordado la dimensión política y económica de la digitalización, destacando los riesgos de concentración de poder en grandes corporaciones tecnológicas. La denominada “plataformización de la energía” implica que actores privados con capacidad tecnológica pueden adquirir un papel central en la gestión de sistemas energéticos, lo que plantea desafíos en términos de soberanía, regulación y equidad (Sovacool et al., 2022). La transición energética digital, por tanto, no es neutral: redefine las relaciones de poder y puede reproducir o incluso intensificar desigualdades existentes.

Asimismo, el análisis ha subrayado el potencial de la digitalización para impulsar procesos de descentralización y democratización energética. La emergencia de comunidades energéticas, microrredes y sistemas de generación distribuida, facilitados por tecnologías digitales, abre nuevas posibilidades para la participación ciudadana y la redistribución del control sobre la energía (Brummer, 2018; Martínez-Alier, 2020). No obstante, este potencial solo podrá materializarse si se garantiza el acceso equitativo a la infraestructura digital y se evita la aparición de nuevas brechas tecnológicas entre territorios y grupos sociales.

En quinto lugar, la inteligencia artificial ha sido analizada como un instrumento ambivalente: simultáneamente motor de optimización energética y fuente de nuevos desafíos ecológicos y éticos. Su capacidad para mejorar la eficiencia de sistemas complejos, desde redes eléctricas hasta procesos industriales, la convierte en una herramienta fundamental para la descarbonización. Sin embargo, su elevado consumo energético, su dependencia de infraestructuras intensivas en recursos y los problemas asociados a la opacidad algorítmica plantean la necesidad de una gobernanza específica (Rolnick et al., 2023).

De este modo, el capítulo converge en una idea central: la sostenibilidad energética en la era digital no depende únicamente del desarrollo tecnológico, sino de su gobernanza ética, política y ecológica. La digitalización puede ser tanto una solución como un problema, dependiendo de cómo se diseñen sus incentivos, se regulen sus impactos y se distribuyan sus beneficios.

EJES PARA UNA DIGITALIZACIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE



En términos más amplios, el capítulo refuerza el argumento central de la tesis: la transición energética es un proceso sistémico que no puede entenderse desde una única dimensión. La innovación tecnológica, lejos de ser un factor autónomo, interactúa con estructuras sociales, institucionales y territoriales, generando dinámicas complejas y, en ocasiones, contradictorias.

En consecuencia, el desafío del siglo XXI no consiste simplemente en digitalizar el sistema energético, sino en construir una digitalización sostenible de la energía, es decir, un modelo en el que la innovación tecnológica esté alineada con los límites ecológicos del planeta y con los principios de justicia social.

Como síntesis final, puede afirmarse que la transición energética digital plantea una cuestión fundamental: no se trata solo de qué tecnologías utilizamos, sino de para qué, cómo y para quién las utilizamos.

Solo si la inteligencia artificial y la digitalización se integran dentro de un marco de gobernanza inclusivo, transparente y orientado al bien común, podrán convertirse en verdaderos instrumentos de sostenibilidad. De lo contrario, existe el riesgo de que la transición energética reproduzca, bajo una nueva forma tecnológica, las mismas desigualdades y contradicciones que han caracterizado al modelo fósil.

CAPÍTULO 7
ESTRATEGIAS, IMPLICACIONES
Y LÍNEAS FUTURAS DE LA TRANSICIÓN
ENERGÉTICA DIGITAL

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente
Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona

Dra. Josefa Boria-Reverter
Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona

Tras el análisis desarrollado en los capítulos previos, centrado en las bases conceptuales, los impactos tecnológicos y los desafíos de gobernanza de la transición energética digital, este capítulo se orienta hacia una dimensión más estratégica y prospectiva. El objetivo principal es integrar los hallazgos anteriores para identificar líneas de actuación, implicaciones prácticas y direcciones futuras que permitan consolidar un modelo energético sostenible, inclusivo y tecnológicamente avanzado.

La transición energética digital no constituye únicamente un proceso técnico, sino una transformación estructural que afecta a múltiples niveles: económico, institucional, social y geopolítico. En este sentido, el paso desde el diagnóstico hacia la formulación estratégica resulta fundamental para garantizar que los avances tecnológicos analizados, especialmente en el ámbito de la inteligencia artificial y la digitalización, se traduzcan en resultados efectivos en términos de sostenibilidad y equidad.

Este capítulo parte de una premisa central: la necesidad de alinear innovación tecnológica, políticas públicas y dinámicas sociales en un marco coherente de acción. Sin esta alineación, existe el riesgo de que la transición energética digital derive en procesos fragmentados, ineficientes o incluso generadores de nuevas desigualdades. Por el contrario, una estrategia bien articulada puede convertir esta transición en una oportunidad para redefinir el modelo energético desde criterios de resiliencia, justicia y eficiencia.

Asimismo, el capítulo incorpora una perspectiva aplicada, orientada tanto a decisores públicos como a actores empresariales y sociales. Se abordan cuestiones como el diseño de estrategias energéticas digitales, las implicaciones para los distintos agentes del sistema y las tendencias emergentes que configurarán el futuro del sector energético en un contexto de creciente complejidad tecnológica.

En términos estructurales, el capítulo se organiza en cuatro grandes bloques. En primer lugar, se analizan las estrategias para la implementación efectiva de la transición energética digital (7.1). En segundo lugar, se examinan las implicaciones económicas, empresariales y sociales derivadas de este proceso (7.2). A continuación, se exploran las tendencias emergentes y escenarios

futuros que marcarán la evolución del sistema energético (7.3). Finalmente, se plantean recomendaciones estratégicas y líneas de actuación orientadas a la consolidación de un modelo energético sostenible y digitalizado (7.4).

De este modo, el capítulo no solo cierra el recorrido analítico del trabajo, sino que también abre un espacio de reflexión estratégica sobre el futuro de la energía en un mundo cada vez más interconectado y digital.

7.1. Estrategias para la implementación de la transición energética digital

La implementación efectiva de la transición energética digital requiere un enfoque estratégico integral que combine innovación tecnológica, marcos regulatorios adecuados y mecanismos de coordinación entre actores. No se trata únicamente de incorporar nuevas tecnologías, sino de rediseñar el sistema energético en su conjunto para hacerlo más flexible, resiliente y sostenible.

En este contexto, las estrategias de implementación deben abordar simultáneamente tres dimensiones clave: la planificación y gobernanza del proceso de transición, la integración tecnológica en las infraestructuras energéticas y la articulación de mecanismos de coordinación entre los distintos agentes implicados. Estas dimensiones, lejos de ser independientes, se encuentran profundamente interrelacionadas y condicionan el éxito o fracaso del proceso.

7.1.1. Planificación estratégica y gobernanza energética

La planificación estratégica constituye el pilar fundamental sobre el que se articula la transición energética digital. La complejidad del sistema energético, junto con la velocidad de los cambios tecnológicos, exige la adopción de marcos de planificación flexibles, adaptativos y basados en evidencia empírica.

En primer lugar, resulta imprescindible el desarrollo de políticas públicas coherentes y de largo plazo que integren objetivos energéticos, climáticos y digitales. La fragmentación institucional o la falta de coordinación entre niveles de gobierno pueden generar ineficiencias significativas y retrasar la adopción de soluciones innovadoras. Por ello, la gobernanza energética debe

orientarse hacia modelos multinivel que faciliten la cooperación entre administraciones locales, nacionales e internacionales.

En segundo lugar, la incorporación de herramientas basadas en datos y analítica avanzada, como la inteligencia artificial, permite mejorar la toma de decisiones estratégicas. Estas herramientas facilitan la previsión de la demanda energética, la optimización de recursos y la evaluación de escenarios futuros, reduciendo la incertidumbre inherente a los procesos de transición.

Asimismo, la gobernanza debe incorporar principios de transparencia y participación, garantizando que los distintos actores, incluyendo ciudadanía, empresas y organizaciones sociales, puedan intervenir en el diseño y seguimiento de las políticas energéticas. Esto no solo mejora la legitimidad del proceso, sino que también contribuye a una implementación más efectiva y alineada con las necesidades sociales.

7.1.2. Integración tecnológica y digitalización del sistema energético

La digitalización constituye uno de los ejes centrales de la transición energética, al permitir una gestión más eficiente, flexible y descentralizada del sistema. Sin embargo, la integración tecnológica plantea importantes desafíos técnicos, económicos y organizativos que deben ser abordados de manera estratégica.

Uno de los elementos clave es el desarrollo de infraestructuras inteligentes, como las redes eléctricas inteligentes (smart grids), que permiten gestionar de forma dinámica la generación, distribución y consumo de energía. Estas redes facilitan la integración de fuentes de energía renovable, caracterizadas por su variabilidad, y permiten una mayor participación de los consumidores como prosumidores.

Además, la implementación de tecnologías digitales avanzadas, como el Internet de las cosas (IoT), el big data y la inteligencia artificial, posibilita una monitorización en tiempo real del sistema energético, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo pérdidas. Estas tecnologías también permiten el desarrollo de nuevos modelos de negocio, como los mercados energéticos descentralizados o las plataformas de gestión energética.

No obstante, la digitalización también introduce riesgos asociados a la ciberseguridad y a la dependencia tecnológica. Por ello, resulta fundamental desarrollar estrategias que garanticen la seguridad y resiliencia de las infraestructuras digitales, así como promover estándares abiertos que eviten la concentración de poder en determinados actores tecnológicos.

7.1.3. Coordinación entre actores y modelos de colaboración

La transición energética digital implica la participación de una amplia diversidad de actores, incluyendo gobiernos, empresas energéticas, proveedores tecnológicos, instituciones financieras y la sociedad civil. La coordinación entre estos actores resulta esencial para evitar duplicidades, reducir costes y maximizar el impacto de las iniciativas.

En este sentido, los modelos de colaboración público-privada adquieren un papel central, al permitir combinar recursos, capacidades y conocimientos. Estas alianzas facilitan la implementación de proyectos a gran escala y aceleran la difusión de innovaciones tecnológicas.

Asimismo, es necesario fomentar la cooperación entre sectores tradicionalmente separados, como el energético, el digital y el financiero. La convergencia entre estos sectores genera nuevas oportunidades, pero también requiere marcos de coordinación que permitan gestionar la complejidad resultante.

Por otro lado, la participación activa de la ciudadanía y de las comunidades locales es un elemento clave para el éxito de la transición. Modelos como las comunidades energéticas permiten democratizar el acceso a la energía, fomentar el uso de fuentes renovables y generar beneficios económicos a nivel local.

En definitiva, la implementación de la transición energética digital no puede entenderse como un proceso unilateral, sino como un esfuerzo colectivo que requiere la articulación de intereses diversos en torno a un objetivo común.

7.2. Implicaciones económicas, empresariales y sociales de la transición energética digital

La transición energética digital no solo transforma la estructura técnica del sistema energético, sino que genera profundas implicaciones en el ámbito económico, empresarial y social. La integración de tecnologías digitales, la electrificación de sectores productivos y la descentralización de la generación energética reconfiguran los modelos de negocio, las dinámicas de empleo y las relaciones entre los distintos agentes económicos.

En este contexto, la transición energética debe entenderse como un proceso de transformación estructural que afecta tanto a la organización de los mercados como a la distribución de oportunidades y riesgos. Lejos de ser un proceso homogéneo, sus impactos varían según sectores, territorios y grupos sociales, lo que exige un análisis diferenciado y multidimensional.

7.2.1. Transformación de los modelos económicos y de mercado energético

La digitalización y la transición hacia energías renovables están dando lugar a una profunda transformación de los mercados energéticos tradicionales. El modelo histórico, basado en grandes centrales de generación y sistemas centralizados de distribución, está siendo progresivamente sustituido por un sistema más descentralizado, dinámico y basado en múltiples fuentes de generación.

En este nuevo contexto, los mercados energéticos evolucionan hacia estructuras más flexibles, en las que la información y la capacidad de gestión en tiempo real adquieren un valor estratégico. La aparición de mercados eléctricos más complejos, con precios dinámicos y mecanismos de respuesta a la demanda, refleja esta transformación (IEA, 2023).

Asimismo, la digitalización facilita la aparición de nuevos modelos económicos, como los mercados peer-to-peer (P2P), en los que los usuarios pueden intercambiar energía directamente entre sí, o los sistemas de agregación de demanda, que permiten optimizar el consumo energético a nivel colectivo.

Este proceso también implica un cambio en la lógica de creación de valor. Mientras que en el modelo tradicional el valor se generaba principalmente a través de la producción de energía, en el nuevo paradigma adquieren relevancia otros elementos, como la gestión de datos, la flexibilidad del sistema y la capacidad de adaptación a condiciones cambiantes.

No obstante, esta transformación plantea desafíos importantes, como la necesidad de adaptar los marcos regulatorios, garantizar la estabilidad del sistema y evitar la aparición de fallos de mercado. La creciente complejidad de los mercados energéticos requiere nuevas herramientas de supervisión y regulación que permitan asegurar su funcionamiento eficiente y equitativo.

7.2.2. Reconfiguración empresarial y nuevos modelos de negocio

La transición energética digital está redefiniendo el papel de las empresas en el sistema energético. Las compañías energéticas tradicionales se enfrentan a la necesidad de adaptarse a un entorno caracterizado por la descentralización, la digitalización y la creciente competencia de nuevos actores.

En este contexto, surgen nuevos modelos de negocio basados en servicios energéticos, gestión de datos y soluciones integradas. Las empresas ya no se limitan a producir y vender energía, sino que ofrecen servicios de eficiencia energética, gestión inteligente del consumo y soluciones digitales para hogares, industrias y ciudades.

Asimismo, la convergencia entre el sector energético y el tecnológico está dando lugar a la entrada de nuevos actores, como empresas de tecnología, plataformas digitales y startups innovadoras. Esta diversificación del ecosistema empresarial aumenta la competencia, pero también impulsa la innovación.

Por otro lado, la transición energética requiere importantes inversiones en infraestructuras, investigación y desarrollo. Esto genera oportunidades económicas significativas, pero también plantea riesgos financieros, especialmente en contextos de incertidumbre regulatoria o tecnológica.

La capacidad de las empresas para adaptarse a este nuevo entorno dependerá de factores como su nivel de innovación, su capacidad de inversión y su

flexibilidad organizativa. Aquellas que no logren adaptarse corren el riesgo de quedar obsoletas en un sistema energético en rápida evolución.

7.2.3. Impactos sociales, empleo y transición justa

La transición energética digital tiene implicaciones profundas en el ámbito social, especialmente en lo que respecta al empleo, la distribución de beneficios y la equidad. Si bien la transición genera nuevas oportunidades laborales en sectores como las energías renovables, la digitalización y la eficiencia energética, también implica la desaparición de empleos en sectores tradicionales, como los vinculados a los combustibles fósiles.

Este proceso de transformación laboral plantea la necesidad de políticas de transición justa que faciliten la reconversión de los trabajadores afectados y garanticen que los beneficios de la transición se distribuyan de manera equitativa. La formación y la capacitación adquieren un papel central en este contexto, permitiendo a los trabajadores adaptarse a las nuevas demandas del mercado laboral.

Además, la digitalización puede generar nuevas formas de desigualdad. El acceso desigual a tecnologías digitales, recursos económicos y capacidades técnicas puede limitar la participación de determinados grupos sociales en el nuevo sistema energético, ampliando las brechas existentes.

Por otro lado, la transición energética también tiene implicaciones en términos de acceso a la energía. La digitalización puede mejorar la eficiencia y reducir costes, pero también puede generar nuevos mecanismos de exclusión si no se diseñan políticas inclusivas.

El concepto de justicia energética resulta clave para abordar estos desafíos. Este enfoque plantea la necesidad de garantizar que la transición energética no solo sea sostenible desde el punto de vista ambiental, sino también justa desde una perspectiva social.

En definitiva, la transición energética digital no es solo un proceso tecnológico o económico, sino también un proceso social que debe ser gestionado de manera inclusiva y equitativa.

7.3. Tendencias emergentes y escenarios futuros de la energía digital

La evolución del sistema energético en el siglo XXI se encuentra marcada por una aceleración sin precedentes en la convergencia entre tecnologías digitales y sistemas energéticos. Este proceso no solo está transformando la forma en que se produce, distribuye y consume la energía, sino que está redefiniendo las bases mismas del modelo energético global.

En este contexto, el análisis de tendencias emergentes y la construcción de escenarios futuros adquieren una relevancia estratégica. No se trata únicamente de anticipar innovaciones tecnológicas, sino de comprender las trayectorias posibles del sistema energético en función de la interacción entre factores tecnológicos, económicos, políticos y sociales. Las transiciones sociotécnicas no siguen trayectorias lineales, sino que evolucionan a través de múltiples configuraciones posibles.

7.3.1. Tecnologías emergentes y convergencia energética-digital

El futuro del sistema energético estará profundamente condicionado por el desarrollo y la interacción de un conjunto de tecnologías emergentes que están redefiniendo las capacidades del sistema. Entre ellas, destacan la inteligencia artificial avanzada, el Internet de las cosas (IoT), la computación en la nube, el blockchain y, de forma incipiente, la computación cuántica.

La inteligencia artificial continuará evolucionando hacia modelos más autónomos, capaces de gestionar sistemas energéticos complejos con un alto grado de precisión. Estos sistemas permitirán optimizar la operación de redes eléctricas, mejorar la integración de energías renovables y anticipar patrones de consumo con una precisión creciente (Rolnick et al., 2023).

El Internet de las cosas ampliará la conectividad del sistema energético, integrando millones de dispositivos, desde electrodomésticos hasta infraestructuras industriales, en redes inteligentes capaces de interactuar en tiempo real. Esta hiperconectividad permitirá una gestión más eficiente de la demanda, pero también incrementará la complejidad y los riesgos asociados al sistema.

Por su parte, tecnologías como blockchain ofrecen nuevas posibilidades para la gestión descentralizada de la energía, facilitando la creación de mercados energéticos peer-to-peer y garantizando la trazabilidad de las transacciones energéticas (Andoni et al., 2019). Aunque su implementación aún es limitada, su potencial transformador es significativo.

Asimismo, la computación cuántica, aunque todavía en fase experimental, podría revolucionar la optimización de sistemas energéticos complejos, permitiendo resolver problemas que actualmente resultan intratables para la computación clásica.

La convergencia de estas tecnologías configura lo que puede denominarse un ecosistema energético-digital, caracterizado por la integración de infraestructuras físicas y digitales en sistemas altamente interdependientes. Este ecosistema no solo aumenta la eficiencia del sistema, sino que también redefine su arquitectura y funcionamiento.

7.3.2. Escenarios futuros del sistema energético digital

A partir de las tendencias identificadas, es posible delinear distintos escenarios futuros para el sistema energético digital. Estos escenarios no deben interpretarse como predicciones, sino como representaciones analíticas de posibles trayectorias de evolución.

Un primer escenario es el de una transición tecnológica acelerada, en el que la innovación digital permite una rápida descarbonización del sistema energético. En este contexto, la inteligencia artificial, las redes inteligentes y las energías renovables se integran de forma eficiente, dando lugar a un sistema energético altamente optimizado, descentralizado y bajo en carbono. Este escenario requiere una fuerte coordinación institucional y una inversión sostenida en innovación.

Un segundo escenario es el de una transición fragmentada, caracterizada por desigualdades en el acceso a tecnologías y recursos. En este caso, algunas regiones avanzan hacia sistemas energéticos digitales avanzadas, mientras que otras permanecen ancladas en modelos tradicionales. Esta fragmentación puede generar tensiones geopolíticas y limitar el alcance global de la transición energética.

Un tercer escenario es el de una transición corporativa centralizada, en la que el control del sistema energético digital se concentra en grandes empresas tecnológicas y energéticas. En este modelo, la eficiencia del sistema puede mejorar, pero a costa de una mayor concentración de poder y de posibles problemas de equidad y gobernanza.

Finalmente, un cuarto escenario es el de una transición sostenible e inclusiva, en el que la digitalización se combina con políticas públicas orientadas a la equidad, la participación y el respeto a los límites planetarios. Este escenario, aunque más complejo de implementar, representa la opción más alineada con los objetivos de sostenibilidad a largo plazo.

Estos escenarios ponen de manifiesto que el futuro del sistema energético no está predeterminado, sino que dependerá de las decisiones colectivas que se adopten en el presente.

7.3.3. Incertidumbres, riesgos sistémicos y capacidad de adaptación

A pesar de las tendencias identificadas, la evolución del sistema energético digital está sujeta a un elevado grado de incertidumbre. Estas incertidumbres no solo afectan al desarrollo tecnológico, sino también a factores económicos, políticos y sociales que condicionan la dirección de la transición.

Uno de los principales factores de incertidumbre es la evolución de las tecnologías digitales y su impacto real en la eficiencia energética. Aunque existe un amplio consenso sobre su potencial, los resultados concretos dependerán de su implementación efectiva y de la superación de barreras técnicas y económicas.

Asimismo, los riesgos sistémicos asociados a la digitalización, como ciberataques, fallos en infraestructuras críticas o interrupciones en cadenas de suministro, representan una amenaza significativa para la estabilidad del sistema energético. La creciente interdependencia entre sistemas energéticos y digitales aumenta la vulnerabilidad del sistema ante este tipo de riesgos.

Otro elemento clave es la incertidumbre regulatoria. La falta de marcos normativos claros puede ralentizar la adopción de tecnologías o generar inse-

guridad para inversores y actores del sistema. Por el contrario, una regulación adecuada puede acelerar la transición y reducir riesgos.

Desde una perspectiva social, la aceptación de nuevas tecnologías y modelos energéticos también constituye un factor determinante. La resistencia al cambio, la falta de confianza o la percepción de desigualdad pueden limitar la implementación de soluciones innovadoras.

En este contexto, la capacidad de adaptación se convierte en un elemento central. Los sistemas energéticos del futuro deberán ser capaces de responder a cambios rápidos e imprevistos, lo que exige flexibilidad, resiliencia y capacidad de aprendizaje continuo.

En definitiva, el futuro de la energía digital estará marcado tanto por las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías como por la capacidad de gestionar las incertidumbres y riesgos asociados. La transición energética no es un proceso lineal, sino un proceso dinámico que requiere adaptación constante.

7.4. Recomendaciones estratégicas y líneas de actuación para una transición energética digital sostenible

La transición energética digital, tal como se ha analizado a lo largo de este capítulo, no es un proceso automático ni lineal, sino una transformación compleja que requiere orientación estratégica. La existencia de múltiples trayectorias posibles, desde escenarios inclusivos hasta configuraciones altamente desiguales o concentradas, pone de manifiesto la necesidad de definir líneas de actuación claras que permitan encauzar el proceso hacia resultados sostenibles.

En este sentido, las recomendaciones estratégicas no deben entenderse como prescripciones técnicas aisladas, sino como elementos de un marco integral que articule tecnología, política y sociedad. La transición energética digital solo podrá consolidarse como un modelo sostenible si se fundamenta en principios de coherencia sistémica, equidad social y respeto a los límites ecológicos.

7.4.1. Diseño de políticas públicas e instituciones para la transición energética digital

Las políticas públicas constituyen el principal instrumento para orientar la transición energética digital hacia objetivos de sostenibilidad. En este contexto, es necesario avanzar hacia marcos regulatorios que integren de manera coherente las dimensiones energética, digital y climática.

En primer lugar, resulta fundamental desarrollar estrategias nacionales y supranacionales que establezcan objetivos claros, medibles y a largo plazo en materia de digitalización energética. Estas estrategias deben estar alineadas con los compromisos climáticos internacionales y con los principios de desarrollo sostenible.

En segundo lugar, es necesario adaptar los marcos regulatorios a la nueva realidad del sistema energético. Esto implica diseñar normativas flexibles que permitan la integración de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y las redes inteligentes, sin comprometer la estabilidad del sistema ni la protección de los usuarios.

Asimismo, la regulación debe abordar aspectos clave como la transparencia algorítmica, la protección de datos y la ciberseguridad. La confianza en el sistema energético digital dependerá en gran medida de la capacidad de las instituciones para garantizar estos elementos.

Otro aspecto relevante es la coordinación institucional. La transición energética digital requiere la colaboración entre diferentes niveles de gobierno y entre distintos ámbitos de política pública. La falta de coordinación puede generar incoherencias y limitar la eficacia de las medidas adoptadas.

Por último, es imprescindible fortalecer las capacidades institucionales, tanto en términos de recursos humanos como de conocimientos técnicos. La complejidad del sistema energético digital exige administraciones públicas capaces de comprender y gestionar tecnologías avanzadas.

7.4.2. Innovación tecnológica responsable y sostenibilidad digital

El desarrollo tecnológico constituye un elemento central de la transición energética, pero su orientación resulta determinante para garantizar su sostenibilidad. La innovación debe ser entendida no solo como un proceso de mejora técnica, sino como una herramienta al servicio de objetivos sociales y ambientales.

En este sentido, es necesario promover una innovación tecnológica responsable, que tenga en cuenta los impactos ambientales y sociales desde las fases iniciales de diseño. Esto implica adoptar enfoques como el análisis del ciclo de vida, la economía circular y la eficiencia de recursos en el desarrollo de tecnologías digitales.

Además, es fundamental reducir la huella energética de las propias tecnologías digitales. El crecimiento del consumo energético asociado a la inteligencia artificial, los centros de datos y las infraestructuras digitales puede contrarrestar los beneficios de la digitalización si no se gestiona adecuadamente.

Asimismo, la innovación debe orientarse hacia la interoperabilidad y el uso de estándares abiertos, evitando la dependencia excesiva de soluciones propietarias que puedan limitar la competencia y la soberanía tecnológica.

El apoyo a la investigación y desarrollo es otro elemento clave. La inversión en tecnologías emergentes, así como en su aplicación al sector energético, resulta esencial para acelerar la transición y mejorar la eficiencia del sistema.

Finalmente, es necesario fomentar la colaboración entre el ámbito académico, el sector empresarial y las instituciones públicas. Esta cooperación permite generar conocimiento, acelerar la innovación y facilitar la transferencia tecnológica.

7.4.3. Equidad, participación y justicia en la transición energética digital

La sostenibilidad de la transición energética digital no puede evaluarse únicamente en términos técnicos o económicos; también debe considerar su

impacto social. La equidad y la justicia energética constituyen elementos fundamentales para garantizar la legitimidad y viabilidad del proceso.

En primer lugar, es necesario garantizar el acceso equitativo a las tecnologías y servicios energéticos digitales. La brecha digital puede convertirse en un factor de exclusión si no se adoptan políticas que faciliten el acceso a infraestructuras, formación y recursos tecnológicos.

En segundo lugar, la transición debe incorporar mecanismos de participación ciudadana. La implicación de la sociedad en la toma de decisiones energéticas contribuye a mejorar la aceptación de las medidas y a alinear el proceso con las necesidades reales de la población.

Asimismo, es fundamental diseñar políticas de transición justa que protejan a los trabajadores y comunidades afectadas por el cambio de modelo energético. La reconversión laboral, la formación y el apoyo a sectores en transición son elementos clave para evitar impactos negativos.

Por otro lado, la distribución de costes y beneficios debe ser equitativa. La transición energética no debe generar nuevas desigualdades, sino contribuir a reducir las existentes. Esto implica diseñar mecanismos de financiación y redistribución que tengan en cuenta las diferencias socioeconómicas.

Finalmente, la dimensión global de la transición energética exige una perspectiva de justicia internacional. Los países en desarrollo deben contar con apoyo financiero, tecnológico e institucional para participar en la transición en condiciones equitativas.

Conclusiones

El análisis desarrollado en este capítulo ha permitido avanzar desde una comprensión estructural de la transición energética digital hacia una perspectiva estratégica y prospectiva orientada a su implementación efectiva. A lo largo de sus diferentes apartados, se ha puesto de manifiesto que la transformación del sistema energético no depende únicamente del desarrollo tecnológico, sino de la capacidad de articular dicho desarrollo dentro de marcos institucionales, económicos y sociales coherentes.

En primer lugar, se ha evidenciado que la transición energética digital exige un enfoque estratégico integral. La planificación, la gobernanza multinivel y la coordinación entre actores constituyen elementos esenciales para garantizar que la digitalización contribuya efectivamente a los objetivos de sostenibilidad. Sin una orientación clara, el despliegue tecnológico puede derivar en procesos fragmentados, ineficientes o incluso contraproducentes.

En segundo lugar, el capítulo ha mostrado que la digitalización del sistema energético genera profundas transformaciones económicas, empresariales y sociales. La reconfiguración de los mercados energéticos, la emergencia de nuevos modelos de negocio y la transformación del empleo evidencian que estamos ante un cambio estructural del modelo productivo. Este proceso abre importantes oportunidades, pero también plantea riesgos asociados a la desigualdad, la concentración de poder y la exclusión de determinados colectivos.

Asimismo, el análisis prospectivo ha permitido identificar que el futuro de la energía digital no está predeterminado, sino que depende de la interacción entre múltiples factores. Los distintos escenarios planteados, desde transiciones aceleradas hasta configuraciones fragmentadas o centralizadas, reflejan la existencia de trayectorias divergentes. Entre ellas, el escenario de una transición sostenible e inclusiva emerge como el más deseable, aunque también como el más exigente en términos de gobernanza y coordinación.

Por otro lado, se ha subrayado la importancia de gestionar las incertidumbres y riesgos asociados a la digitalización energética. La creciente complejidad del sistema, la dependencia de infraestructuras digitales y los riesgos sistémicos derivados de la interconexión global exigen el desarrollo de capacidades de adaptación, resiliencia y aprendizaje continuo.

En este contexto, las recomendaciones estratégicas planteadas en el apartado final del capítulo han destacado la necesidad de alinear políticas públicas, innovación tecnológica y principios de justicia social. La transición energética digital solo podrá consolidarse como un modelo sostenible si se basa en instituciones sólidas, tecnologías responsables y mecanismos de participación inclusivos.

Desde una perspectiva global, este capítulo refuerza una idea central del conjunto de la investigación: la transición energética no es únicamente un desafío técnico, sino un proceso profundamente político y social. La digitalización y la inteligencia artificial ofrecen herramientas poderosas para transformar el sistema energético, pero su impacto dependerá de cómo se diseñen, se implementen y se gobiernen.

En última instancia, el reto no consiste en construir un sistema energético más complejo o más eficiente en términos puramente técnicos, sino en avanzar hacia un sistema capaz de conciliar tres dimensiones fundamentales: sostenibilidad ambiental, equidad social y viabilidad económica. Solo desde esta integración será posible desarrollar un modelo energético verdaderamente adaptado a los desafíos del siglo XXI.

Así, la transición energética digital debe entenderse no como un fin en sí mismo, sino como un medio para reconfigurar la relación entre energía, sociedad y naturaleza. Su éxito dependerá, en última instancia, de la capacidad colectiva para orientar la innovación hacia un horizonte común de bienestar, justicia y sostenibilidad.

CAPÍTULO 8

MESA REDONDA: LECCIONES Y DEBATES DEL EVENTO

Dr. Jaime Gil Aluja

Presidente de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente

*Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona*

Dr. Ignasi Nieto Magaldi

Director General de Miquel y Costas

Dr. Mario Aguer Hortal

*Académico de número de la RACEF
Presidente de la Associació Catalana de l'Hidrogen
i les Energies Renovables*

Sr. Lluís Amigué Molina

Periodista de La Vanguardia

Este capítulo se centra en el análisis de cuestiones clave relacionadas con la sostenibilidad en el sector energético, recogidas del debate generado durante la mesa redonda organizada en el marco de la Cátedra UB–Fundación Mutua Madrileña de Sostenibilidad Empresarial.

La discusión permitió profundizar en los principales retos del sector, así como en las posibles soluciones necesarias para avanzar hacia modelos más sostenibles. El diálogo fue presentado por el Presidente de RACEF Jaime Gil-Aluja (GA), los académicos Ana María Gil-Lafuente (GL) y Mario Aguer (MA), moderado por Lluís Amiguet (LA) y como ponente principal Ignasi Nieto (IN) y la intervención del público asistente (PP).

Participantes de la mesa redonda titulada “Sostenibilidad en el sector energético”



De izquierda a derecha Mario Aguer (MA), Ana María Gil-Lafuente (GL), Jaime Gil-Aluja (GA), Ignasi Nieto (IN) y Lluís Amiguet (LA).

IN: En cualquier política energética en el mundo, en cualquier política energética responsable, hay que combinar tres características que no tienen una correlación positiva entre ellas y ahí radica la dificultad. Por un lado, necesitamos sistemas energéticos que proporcionen una seguridad de suministro, que a la vez sean competitivos, que proporcionen al tejido productivo a unos costes adecuados, para poder ser competitivos, sobre todo los que compiten internacionalmente. Y luego un tercer factor; que el sector energético debe ser sostenible. Esta característica apareció en los años 90 con la identificación del problema del cambio climático. Anteriormente las políticas energéticas solo procuraban el equilibrio entre la seguridad de suministro y la competitividad.

Si se quisiera implantar de forma inmediata un sector energético absolutamente sostenible sin ningún sin ninguna emisión de CO₂, entonces, estos serían muy caros y por ello poco competitivos o menos seguros. Si el objetivo fuera maximizar la competitividad y que la energía fuera lo más barata posible, seguramente también se perjudicaría la seguridad de suministro. Es decir, que al final el óptimo no es el resultado del óptimo de cada uno de estos elementos, de forma individual, y ahí radica la dificultad en el en la gestión de las políticas energéticas.

La seguridad de suministro, en la parte de los hidrocarburos, el gas y el petróleo es más intuitivo porque son productos que se pueden almacenar. En el caso del sector eléctrico es más difícil porque la electricidad es difícilmente almacenable a costes razonables, con lo cual las políticas energéticas siempre tendieron en el pasado a diversificar las tecnologías para minimizar los riesgos. Por ello, los sectores eléctricos tienen pues centrales hidráulicas, nucleares de carbón, de gas renovables, en busca de esta diversificación para minimizar los riesgos de seguridad de suministro.

La competitividad es un vector que todo el mundo entiende. Los que estudiábamos economía se aprendía de los libros de Gabriel Tortella, donde ya se reflexionaba sobre el retraso español del siglo XIX, aunque la energía no era el factor fundamental, él citaba, la estructura agraria, el déficit institucional, el analfabetismo, la falta de una clase emprendedora, como habían tenido otros países, una burguesía más potente, y recapitaba que los costes energéticos en España eran superiores a los de países que habían hecho la revolución industrial mucho más rápida.

España en el siglo XIX importaba carbón de Inglaterra. El desarrollo del ferrocarril fue mucho más tardío, es decir, la energía lastró de alguna manera el desarrollo. En la balanza comercial española de este siglo solo la parte de bienes y servicios, estuvo, en el año 2019 en 35.000 millones de euros. En el año 2020 en donde la actividad económica bajó mucho por el confinamiento, 15.000 millones de euros. En el año 2022, cuando Rusia atacó Ucrania y los precios del gas subieron, el déficit por solo por la parte de bienes y servicios pasó a 75.000 millones de euros. Es decir, esta diferencia de dinero que sale del país, solo por el incremento de los precios de la energía y que por lo tan-

to lesiona las actividades competitivas. Aquí se ve, un poco, la importancia evidente de la competitividad, sobre todo para los sectores que compiten internacionalmente.

El tercer vector es el de la sostenibilidad, y ahí es muy importante centrar qué es lo que queremos. Evidentemente, hay un consenso amplísimo en que las emisiones de CO₂ provocan un cambio en las condiciones climáticas de la biosfera. Y no solo es esto, sino que puede provocar problemas sobre muchos seres vivos, entre los que nos encontramos, además de unos impactos muy importantes sobre nuestro tejido productivo, tenemos también que descarbonizar nuestras economías para reducir las emisiones de CO₂. Y ahí es importante tener claro los datos para poder focalizar los esfuerzos.

Normalmente los impactos sobre el cambio climático se miden en emisiones de CO₂ equivalentes. Hay otros gases, aparte de CO₂, que provocan el efecto invernadero y algunos provienen de la agricultura, aunque, las emisiones de CO₂ con origen energético, representan aproximadamente el 75%, el 41% de emisiones de CO₂ provienen de la utilización del carbón, el 32% del petróleo, el 21% del gas y actividades industriales en donde se emite mucho CO₂, como, por ejemplo, el cemento que representa un 6%. En relación a los países, China se sitúa en la cabecera con un 32%, en un 13% en Estados Unidos, en la India un 8%, la Unión Europea un 7% y el resto del mundo un 40%. Es importante resaltar la diferencia de las emisiones en estos países, mostrando los grandes esfuerzos en reducir sus emisiones de CO₂.

En el año 2000, China producía el 80% de su electricidad con carbón y en datos del 2024 un 59%. Por ello, aunque la producción ha incrementado, la reducción de la utilización del carbón ha permitido que sean estables en estos dos años, en el caso de Estados Unidos baja un 0,2%. la Unión Europea evidentemente baja, es el área geográfica en donde se realizan más esfuerzos, resaltar el caso de la India. La India ya emite el 8% de las emisiones de CO₂ del mundo y en el año 2024, creció un 4,6% en relación al año 2023. Un 40% de las emisiones está en el resto del mundo, pero que crecen de un año a otro un 1,1%, lo que representa una emisión superior del 3,8% de los esfuerzos que se hacen en la Unión Europea, pero se debe contextualizar la política energética.

En el caso de la energía a nivel global, me gustaría resaltar dos aspectos. El primero es el relativo al gas natural es un combustible fósil que ha tenido una gran expansión en las últimas dos o tres décadas y que ha sido positiva porque a pesar de emitir CO₂, emite mucho menos CO₂ que el carbón y el petróleo. El gran cambio en las últimas décadas del gas natural ha sido su penetración en el sector eléctrico. Antes de los años 90 prácticamente no se producía electricidad con gas natural. En los años 90 hay un cambio tecnológico, las centrales de gas de ciclo combinado y el gas natural penetra con fuerza en los sectores eléctricos. Sin embargo, esa gran dependencia al gas natural ha producido un problema geoestratégico en Europa, por ejemplo, Alemania antes de la invasión de Ucrania por parte de Rusia dependía en un 55% de sus importaciones de gas ruso. Ahora, es del 0%, sin las centrales nucleares, ha situado al país en una situación muy delicada en términos competitivos, por un encarecimiento de los costes energéticos de manera muy significativa.

Evidentemente es lo mismo ha ocurrido en España, aunque la dependencia no era tan elevada. Aquí tenemos en este gráfico la diferencia entre los hubs, lo que se llaman los hubs de precios del gas. En petróleo todos estamos acostumbrados desde hace muchos años a leer y escuchar la cotización de los precios del Bren. El Bren fue un Hub que se creó en los años 70 para disponer de una cotización del precio del petróleo. En el caso del gas, más o menos, el mundo se mueve alrededor de tres hubs, el TTF es el hub que compran el gas prácticamente toda Europa. El Japan Korea Market, es el los precios del gas que cotizan en los mercados de Japón, Corea y China, que son los grandes consumidores asiáticos de gas. Y el Henry Hub, es el Hub americano.

España paga el gas cinco veces más que los EEUU. Como el gas viaja en barco de Estados Unidos a Europa y ese gas también puede ir a al Japón Korea Market, el gas americano, también se vende en Europa. La diferencia de precio genera una falta de competitividad. Por ello la política energética no atiende a uno de los vectores que es la competitividad. En función del país, el gas puede acabar generando el 20% de la electricidad, en Europa, y en España, en el mes de febrero 2025 se pagó la electricidad al doble, 100 € MWh, de lo que se pagó en el mismo mes del año 2024. Porque hubo poco viento, el gas produjo más y por lo tanto al ser el gas más caro y costó el doble a la industria.

La otra cuestión relevante en términos geoestratégicos, es la tecnología. Si se pretende, alcanzarlas mejores cuotas de competitividad, seguridad de suministro y sostenibilidad, la variable clave es la tecnología, son las políticas y las soluciones por el lado de la oferta, no por el lado de la demanda. El economista e ingeniero japonés, especializado en energía, Yoichi Kaya desarrollo la identidad de Kaya, fórmula que es muy sencilla.

$$CO_2 = \frac{PxPIB}{P} * \frac{E}{PIB} * \frac{CO_2}{E}$$

$$CO_2 = P * \frac{PIB}{P} * I_{Energética} * ICO_2$$

- CO_2 : cantidad de CO_2 que se emite a la atmósfera en un área geográfica y periodo determinado.
- P: número de habitantes del área.
- (PIB / P): se refiere al nivel de actividad económica medido por el PIB per cápita, es decir el producto interior bruto por persona residente en el área.
- I Energética: intensidad energética expresada por el cociente entre la energía de todo tipo utilizada en el área y el PIB del área.
- ICO_2 : intensidad de emisión, que es el cociente entre el total de CO_2 emitido y la energía usada en el área

Cuanta más población más emisiones de CO_2 , porque si lo demás no cambia se utiliza más energía, lógicamente. Crecimiento es PIB dividido por población, es decir, si evidentemente crecemos más, producimos más PIB con la misma población, si no cambiamos nada más, las emisiones aumentan porque consumimos más energía. La eficiencia energética es la utilización de energía consumida dividido por cada unidad de PIB. Es decir, tenemos que intentar ser lo más eficientes posibles. Es decir, yo gastaré menos energía si soy más eficiente, seré más sostenible si soy más eficiente, gasto menos energía, emito menos CO_2 , pero en el corto plazo, en el largo plazo, ¿qué ocurre? Si yo soy más eficiente y reduzco mi consumo de ener-

gía, tengo también un ahorro económico y este ahorro económico en algún lugar de la economía va a generar más consumo de energía, es lo que podemos llamar el efecto rebote.

Por ejemplo, si en una fábrica se es tan eficiente que se pasa a consumir mañana la mitad de energía por cada unidad de producto vendido, se ganará más dinero y se ampliará la fábrica o se creará otra fábrica y entonces se consumirá más energía y produciré más CO₂. La eficiencia energética no nos va a conducir a largo plazo a una reducción del CO₂. Lo único que conduce a una reducción de CO₂ sostenida en el tiempo es el último vector, la tecnología.

Si se es capaz de desarrollar tecnología que emita menos CO₂ o que incluso no emita CO₂ por cada unidad de energía producida, ahí es donde se reduce las emisiones de CO₂ a largo plazo. Por ello, la solución pasa por desarrollar tecnología que no emita CO₂, evidentemente energías renovables. La energía nuclear es una energía a tener en cuenta porque no emite CO₂. Este año en España hemos producido el año 2024, el 76,8% de nuestra electricidad sin CO₂. Es una cosa insólita. hace 20 años esto nadie se lo hubiera creído, un 56,8% con energías renovables, eólica, fotovoltaica, etcétera., un 20% nuclear. Teniendo en cuenta que el sector eléctrico es uno de los principales emisores de CO₂ en el mundo, pues esto es un gran avance y algo a seguir por el resto de países. Lo que tenemos que hacer es intentar hacer sostenible esta presencia tan masiva de renovables en nuestro sistema.

Finalmente, teniendo en cuenta que se ha comentado el triángulo de los vectores de la política energética a dos cuestiones del ámbito geoestratégico mundial que es el gas y la importancia de la tecnología. Para finalizar, el caso español considerando dos cuestiones. Una, España no es una isla energética en hidrocarburos porque tenemos las refinerías en donde llegan los barcos. Las plantas de Gas Natural Licuado (GNL). se hizo una apuesta, a mi entender, muy acertada, ya a finales de los años 90, se construyó plantas de regasificación y eso nos permitió superar en parte en la crisis del 2022 con la invasión de Ucrania por parte de Rusia.

España tiene una gran capacidad de recepción de GNL, que viaja en barco. Alemania no tenía ni una, por ejemplo, y ahora ha acelerado, tiene ya

cuatro, para poder recibir gas de fuera. Pero en cambio en electricidad sí que somos una isla eléctrica y parte de del problema del apagón que tuvimos el pasado 28 de abril del 2025, se debe a esto. Es decir, un sistema eléctrico con tantas energías renovables requiere de mayores interconexiones, que es la forma más barata de gestionar un sistema eléctrico del que necesitas apoyos externos. Es verdad que se puede hacer también con sistemas de almacenamiento como son las centrales hidráulicas reversibles y otros sistemas, pero que son mucho más caros.

Hay quienes hablan del hidrógeno, esto es otra cuestión, pero las interconexiones eléctricas es lo mejor para tener un sistema eléctrico con una gran presencia de renovables que todos queremos. Personalmente, me gustan mucho las energías renovables. En el Plan Nacional de Integración de Energía y Clima, el PNIEC, se plantea un horizonte 2030, donde se desea doblar los parques eólicos que hay en el país. Aunque socialmente se aceptaría, hay voces contrarias, por ejemplo, el parque eólico marino de Rosas esta inmovilizado, es un debate que tenemos que tener de manera serena. Y la otra cuestión, es que este sistema eléctrico que estamos construyendo genera unos costes extras y que todos apoyamos como ciudadanos y también como empresarios, con la descarbonización de nuestros sistemas energéticos, en particular el eléctrico, pero al final no deja de ser una apuesta política, una apuesta de política energética. En algunos países como en Alemania y en Francia, estos sobrecostes están repartidos de manera más asimétrica que en España, es decir, lo soporta el doméstico en España. Y ahí sí que llevo el agua a mi molino, porque yo soy un industrial, pero quiero decir, que los costes energéticos de la industria tienen muchos costes que en otros países no están, porque están mucho más cargados a la tarifa doméstica.

Es decir, la presencia de energías renovables genera unos sobrecostes que se repercute a los consumidores. Y si queremos preservar un poco la sostenibilidad, la competitividad de la industria, quizá se tienen que diseñar unas políticas de reparto de costes diferentes a los que tenemos y más parecidas a las que tienen Francia y Alemania. Por ejemplo, yo cuando comparo los costes industriales que tenemos con los franceses, los nuestros son bastante más altos debido al reparto de estos costes.



LA: ¿Como sería la carta a los Reyes Magos Energéticos?, ¿Como empresario que pide a la administración?, ¿qué están haciendo mal?, ¿qué están haciendo bien? y ¿qué quieren los empresarios? ¿Cada día Ignacio Nieto calcula cuánto le cuesta la energía? ¿De eso dependen puestos de trabajo?, ¿depende la competitividad de muchas empresas? ¿Qué le pide a la administración y por ende a los ciudadanos? que lo entendamos y orientemos nuestro voto a largo plazo.

IN: Yo creo que hay cosas que la administración hace muy bien, es decir, por ejemplo, en el año 2022, en cuando hubo la crisis de la invasión de Ucrania, tanto el Gobierno de España como la Generalitat apoyó muchísimo a las empresas. Hubo, digamos, periodos transitorios que aliviaron mucho la factura energética.

LA: El presupuesto público compenso a corto plazo.

IN: Sí, efectivamente, hubo rebajas puntuales en apoyos en los costes energéticos, en la parte regulada, porque en la factura energética siempre hay una parte que compras en el mercado y ahí no se puede hacer nada. Por ejemplo, en electricidad, un 40% de la factura son costes regulados, que son aquellos costes que van a pagar las redes de transporte y distribución, y el apoyo a las energías renovables. Esto lo deciden instituciones, por ejemplo, en algunos casos el Ministerio decide sobre una parte de esos costes, y en otra parte

decide como es el cálculo de lo que pagamos por las redes de transporte y distribución, lo que es la CNMC (Comisión Nacional de Mercado de la Competencia), organismo técnico, hace unos cálculos, digamos, la retribución de esas actividades que no están liberalizadas. Yo creo que de cara al futuro hay que cuidar a los sectores que están sometidos a competencia internacional, que es la gran mayoría de la industria.

LA: Por ejemplo, el suyo.

IN: Si, la pasta de papel es un sector que compite internacionalmente y que por lo tanto tiene que cuidar los costes energéticos, que es un coste muy relevante, porque hay sectores industriales donde el coste no es tan relevante, pero en la industria pesada, sobre todo los sectores curiosamente sometidos a la directiva de emisiones, hace años que se tiene que comprar parte de las emisiones que emitimos, pues tenemos mucha sensibilidad, nuestra competitividad viene muy afectada por los costes energéticos. Entonces, es muy importante tener en cuenta lo que se hace en el resto del mundo. Porque tenemos que tener tiempo para descarbonizarnos mientras preservamos nuestra competitividad. Es decir, en primer lugar, el sector eléctrico tiene que seguir siendo competitivo. Yo citaba pues la presencia de las energías renovables. Evidentemente todos queremos, más energías renovables en el sistema eléctrico, pero también en España producimos un 20% de electricidad con energía nuclear. Si mañana las cerramos y no está previsto su sustitución, no se pueden cerrar de forma inmediata, pero sí en un horizonte que se sitúa a mediados de los años 30, pues hoy en día la tecnología que sustituiría esa producción, es el gas y, por lo tanto, aparte de emitir CO₂, nos situaría en una situación menos competitiva y más cara.

LA: El mix energético repercute en la competitividad, ergo, en los salarios y está usted pidiendo que en ese mix incluyan a las nucleares.

IN: Exactamente, que sea un mix diversificado.

LA: ¿Cerrar las nucleares costaría puestos de trabajo?, podría llegar a esto. Competitividad, ergo, puestos de trabajos, salarios, ¿tendría un coste directo en nuestra calidad de vida? ¿Usted llegaría a esa conclusión?

IN: Con lo que hay hoy en día, es así. Los costes del CO₂ están alrededor de los 70 € tonelada. La presión sobre las emisiones de CO₂ tiene que ir incrementándose, pero tiene que hacerse paulatinamente lo que hace el resto del mundo. Ya aquí estoy hablando de políticas europeas.

LA: Y está distorsionado, porque se ha vuelto un debate ideológico izquierda-derecha, por ejemplo, ¿el cierre de las nucleares?

IN: Sí, en España, el tema nuclear hay mucha ideología. En Europa seguramente no hay tanta ideología alrededor de los precios del CO₂

LA: Porque en Francia la izquierda no cuestiona, no será un tema tan ideológico cuando Francia tiene 53 centrales nucleares, por cierto, ya lo hablaremos más adelante con el resto de los invitados de la mesa, pero eso no preocupa del modo que preocupa aquí y conectarnos con Francia solucionaría muchos problemas.

IN: Sí, hacer interconexiones con Francia solucionaría muchos problemas.

LA: Habría que pensar por qué no quiere Francia conectarse

IN: Francia realmente no lo necesita para su estabilidad del sistema eléctrico francés, porque Francia está muy interconectada con todos los países del centro de Europa, no necesita para su estabilidad el sistema eléctrico español y en cambio le genera un problema político en el sur de Francia. ¿Por qué? Porque evidentemente en el sur de Francia, igual que en el norte en Cataluña, hay una oposición a las líneas de alta tensión cruzando los Pirineos. Y entonces, por lo tanto, como le genera un problema político y no le supone ninguna ventaja, pues realmente no tiene demasiado interés. La otra cuestión es la rapidez y este es un tema de Bruselas, muchos sectores quieren hacer la descarbonización y está muy bien, todos estamos enfocados a hacerla, pero si mañana pusiéramos el precio de la tonelada CO₂ a 300 €, muchas industrias en Europa cerrarían y no tendría ningún sentido porque como hemos visto antes, realmente las emisiones de CO₂ en donde hay que focalizarse es en países como India y en el resto del mundo, que cada año están incrementando. India

un 4% sus emisiones de CO₂ partiendo de un nivel del 8% que ya es superior al europeo. Es decir, Europa podría mañana cerrar los sectores que más emiten CO₂, pero realmente esto le haría cosquillas al mundo. Es decir, tenemos que descarbonizarnos en la industria y yo estoy convencido que, dentro de 20 años, por ejemplo, el consumidor no tolerará que los productos que compra no sean sostenibles en todos los sentidos. Igual que hoy hacemos cosas o hace 20 años hacíamos cosas que hoy serían impensables. Muchas industrias hace 20 años hacían cosas que hoy no se permitirían. Directamente. Las empresas que han hecho los deberes han sobrevivido y están aquí. Dentro de 20 años todavía estaremos en un nivel mucho mejor, pero esto requiere inversiones, requiere tiempo y por lo tanto necesitamos tiempo en la industria para transitar por ese camino de descarbonización.

LA: Ese tiempo se concreta, en pedir que no cierren las nucleares. ¿Lo está pidiendo aquí?

IN: Sí, yo diría que intentemos preservar el triángulo que yo decía al principio, es decir, energía segura, competitiva y libre de CO₂. Estas tres cosas, la energía nuclear las cumple. la nuestra. Es decir, si usted me dijera, “No tenemos energía nuclear, hagamos energía nuclear”. Yo diría, “No, pruebe otras cosas. Pero nosotros que ya tomamos la decisión en los años 70, ya la tenemos, entonces, preservemos esa capacidad que tenemos.

LA: Preservemos lo que tenemos sin crear ex novo nuevas centrales. Esa sería su petición como empresario.

IN: Si, nuestra petición. Yo citaba un ejemplo del gobierno central, un ejemplo que depende de Bruselas, y otro ejemplo que dependería más de aquí, que es, la agilidad en la tramitación de proyectos renovables, en Cataluña.

LA: ¿Hay oposición del territorio?

IN: En Cataluña hay oposición del territorio.

LA: Todo el mundo quiere energía barata, renovable, fácil, limpia, pero nadie en su casa.

IN: Nadie en su casa. Y un efecto ninby (Not in back yard) muy potente, y que eso ha condicionado a la autoridad política y el resultado es que Cataluña está a la cola de España en el desarrollo de energía renovables. Estoy hablando de eólica, fotovoltaica y también otras tecnologías como la biomasa. Es decir, en Cataluña esto es insólito, exportamos. Cataluña es muy boscoso. Prácticamente un 60% de la superficie es bosque. Hay mucha madera que se queda en el bosque sin utilizar Aquí exportamos astilla de bosque a Italia para quemar en plantas de biomasa. Cuando aquí, digamos, cuesta mucho obtener licencia para hacer plantas de biomasa y en cambio se va en barco desde el puerto de Palamós y de Tarragona, a Italia, para quemar.

LA: Porque aquí el territorio se opone.

IN: Se opone y la administración pone muchas dificultades en tramitar. He puesto tres ejemplos; de la administración central, de la administración catalana y de Bruselas, en donde bueno, yo creo que son temas que debería abordar; la energía nuclear en el gobierno central; el tema de la descarbonización en Bruselas, que tiene que seguir su marcha, pero una marcha que debe acompañarse al ritmo de no perder la capacidad industrial que tenemos y que la industria pueda hacer sus inversiones para ir descarbonizándose con tiempo, pero no de la noche al día, porque de forma inmediata lo que haremos es cerrar, debido a que la competencia China, India o Americana no lo hace de esta manera. Y luego, una responsabilidad catalana que es el poder facilitar los proyectos de energía renovables que yo sé que en el territorio se plantean y que encuentran muchísimas dificultades a su desarrollo, lo cual no me cuadra porque, si impedimos la presencia de energías renovables, pero a la vez queremos cerrar las nucleares en Cataluña que aportan el 60% de la electricidad y no queremos interconexiones, pues no sé, cómo.

LA: No queremos apagones, no queremos pagar la luz, no queremos ver los molinos, no queremos una central que emita humo en casa, no ..., lo queremos todo. Y no puede ser, ¿no?

IN: Exactamente. Eso es un poco la reflexión.

LA: Sí, si en la mesa se quiere intervenir, todos pagamos el recibo.

GL: Bueno, yo solo una preguntita en relación ya más concretamente al apagón. Yo creo que de todas las empresas que generan electricidad sostenible, es decir, fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, etcétera. Creo entender que la hidroeléctrica es la única que no necesita energía externa para ponerse en marcha. ¿Es esto?

IN: Sí, las grandes hidráulicas no necesitan y aparte son las que, en caso de un blackout como el que tuvimos son las que permiten arrancar todo el sistema.

GL: Para volver a suministrar la energía externa que necesitan otras industrias para volver a generar su energía.

IN: Exactamente. Además, son centrales que aportan lo que se llama sincronismo, aportan inercia al sistema, que es lo que falló el otro día. Y entonces llegados a este punto, yo creo que no hay que renunciar a las energías renovables, pero, tanto la eólica como la fotovoltaica, con la tecnología actual para que puedan aportar inercia y sincronismo al sistema y además con más interconexiones probablemente el problema que tuvimos no hubiera sucedido, ¿no? Aunque todavía están investigando y tienen que sacar los últimos informes, pero probablemente no hubiera sucedido con más interconexiones.

LA: Quizás era el momento de pedir al liderazgo, a los políticos, en el sentido de que asuman el coste tal vez electoral, tal vez en las encuestas, de pedir al territorio que, si quiere energía limpia, barata, algún coste tendrá. Estoy recordando, pedimos conexiones con Francia, pero en Girona se oponen a la MAT, ¿no? A la línea de alta tensión. Si quieres no tener apagones, algún coste tendrás.

IN: Bueno, hay gente que debate, que su opinión es muy respetable, por eso me iba, la identidad de Kaya que mostraba antes, por ejemplo, diría, hay que consumir menos.

LA: Pero además queremos consumir más.

IN: Entonces nos vamos a la ecuación aquella que planteaba, porque el hecho de consumir menos a largo plazo no reduce las emisiones de CO₂ si no hay un cambio tecnológico. O sea, tú consumes menos, ese excedente económico se producirá en algún sitio, irá a parar algún sitio y producirá CO₂. Es decir, aquí lo que cambia realmente el esquema, en términos de emisiones de CO₂ es el cambio tecnológico, no es el consumir menos.

LA: Pero también, tiene un coste para el territorio, para el ciudadano ¿no? De ahí, el liderazgo político debe asumir de algún modo ese coste, ¿no? Es que al final de la línea de valor, alguien tiene que decir; “Oiga, si quiere usted no tener apagones, un recibo de la luz asumible, no tener contaminación, algún coste tendrá. Algún coste tiene que tener, efectivamente, y algún político decir al territorio, oiga, esto tiene un coste.” Es decir, en esa línea lo queremos todos. Yo veo una falta de responsabilidad, en algún elemento de esa línea, en el que algo ha fallado y nos ha costado un apagón.

IN: Sí. Aquí hay un tema que en energía se revela muy importante, que es, los ciclos inversores en los temas energéticos son muy largos, mucho más largos que de los ciclos políticos, ¿no? Esto es un problema porque claro, yo me imagino que es lo mismo que pensaría Ángela Merkel cuando dijo aprovechando el accidente de Fukushima, vamos a cerrar las nucleares que, en aquella época, las nucleares en Alemania portaban el 12% de la electricidad. Quizás pensó, puede que sea un error. Bueno, ya se encontrará dentro de 20 años. Es lo que pasa con este tipo de decisiones, que tienen una grandísima inercia, tanto las que son errores como las que son aciertos y en cambio el ciclo político es mucho más corto, ¿no?

LA: Algún defecto tiene la democracia. Me parece que el presidente tenía algunas preguntas.

GA: Muchas gracias por cederme la palabra. La verdad es que la exposición ha sido tan clara. y tan específica que las preguntas que yo podría hacer son más orientadas a saber más de lo que ha dicho, en este saber más, en primer lugar, ha estado hablando de la necesidad de varios objetivos de forma simultánea; seguridad del suministro, competitividad y sostenibilidad. Es decir, en economía estamos acostumbrados a que todo dependía de una cosa, la función de costes, la función de pero esto no es así. La verdad que

no se puede definir nada por un solo criterio, pero esto es muy difícil. ¿Cómo podríamos hacer en este caso, específicamente, para poder numerizar un poco el orden de prioridad? Porque, nos encontramos que a veces nos da lo mismo, parece que es lo mismo, un objetivo, y no, los objetivos tienen un orden. Numerizar este orden. ¿Han intentado alguna cosa ustedes?

IN: No, la verdad es que como dice usted muy bien, aparte estos tres objetivos, la problemática es que no tienen una correlación positiva. El problema es este; que la maximización de uno te lleve en detrimento del otro. Usted me comentaba antes que era catedrático de investigación operativa, ¿no? Pero esto, se podría modelizar con un problema que, seguramente, tendría más incógnitas que ecuaciones y por lo tanto habría que resolverlo con algún método, digamos, no habitual.

GA: Con la economía de la incertidumbre, la que está realizando la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Usted ha abordado también este tema desde un aspecto por nosotros, por mí concretamente desconocido. De manera que claro, nos gustaría entrar aquí y seguramente tendremos que pedirle en el futuro muchas informaciones y muchos consejos.

IN: Estoy a su disposición.

GA: Las decisiones futuras del señor Trump, son prácticamente imprevisibles. Es muy difícil de prever. No digo que sea imposible, es muy difícil. ¿Por qué? Porque parece ser que el presidente de los Estados Unidos está tomando decisiones por los efectos directos que tienen. Tiene problemas en la balanza de pagos, tiene problemas en el PIB, en la relación gasto público/PIB, etcétera. Y lo que está diciendo, pues vamos a hacer pagar tal... y luego tiene que salir marcha atrás y ha empezado, volver No se puede que el primer polo de poder mundial tenga en la incertidumbre a todo el mundo. Bien, hasta aquí una perspectiva. Ahora viene la pregunta. Oiga, esto es importante para el futuro de la sostenibilidad, competitividad y seguridad de suministro. ¿Se puede hacer algo?, sí podemos adaptarnos como podamos, pero no es manera. No puede el mundo vivir de esta manera y sobre todo un aspecto tan importante, tan vital, cómo es la sostenibilidad.

IN: El tema de lo que pasa en Estados Unidos, a todos los que nos gusta y admiramos, sobre todo los principios en los que se basa aquella democracia,

yo he vivido ahí en dos etapas de mi vida también, pues bueno, es un momento muy desconcertante, porque rompe todo aquello que admirábamos. Pero este es un comentario personal, en lo que hoy nos afecta en la sostenibilidad y la energía. Yo sí que me gustaría decir Estados Unidos es un país en donde la sociedad civil es muy potente, y las tendencias que marca el consumidor lo son más. Antes hemos visto la estadística que ellos ya han reducido las emisiones de CO₂ el año 24 con respecto el 23, a pesar de lo que uno crea, ellos ya han reducido. Porque hay empresas muy sensibilizadas, todos escuchamos Amazon, todas las empresas de Silicon Valley que están lanzando proyectos no solo de descarbonización, sino de captura de CO₂ del aire, para tener emisiones negativas. O sea, quiero decir, y esto evidentemente, ¿por qué lo hacen? pues con un objetivo empresarial. ¿Por qué? Porque hay una clase, hay un número creciente de consumidores sensibilizados con esto. Y esto, señor Trump, no va a cambiar, digamos. Hay mercados, así como en Europa, hubo que crear un mercado desde la administración pública, desde Bruselas, mercado de CO₂. En Estados Unidos hay mercados privados de adhesión voluntaria en las que cotizan empresas y que luego publicitan, digamos, que ellos compran o venden CO₂. El otro día, salió una noticia en la que la administración Trump había prohibido o había eliminado una orden ejecutiva del presidente Biden en la que obligaba a comprar pajitas de papel en lugar de pajitas de plástico. Fue una gran noticia. Lo que hizo la orden de Biden era obligar que en las oficinas federales se compraran pajitas de papel. Y esto se lo ha eliminado el presidente Trump. Pero no en el mercado. El mercado americano la gente compra pajitas de papel y las empresas las venden porque al ciudadano quiere. El gobierno federal, no es una economía sovietizada. Entonces, quiero decir que una cosa es lo que sale en el escaparate, al final la intuición, porque yo siempre lo digo, Alemania, por ejemplo, si uno hace una encuesta en la calle sobre cuál es el país más sostenible de Europa, mucha gente dirá que Alemania. En cambio, Alemania produce el 20% de su electricidad con carbón y las mayores de las 10 instalaciones más contaminantes de Europa que la Comisión Europea las publica cada año, nueve son alemanas. Es decir, las emisiones de Alemania per cápita son superiores a las francesas, pero de mucho. En cambio, en la calle la encuesta diría, “No, Alemania es mucho más sostenible.” Lo mismo pasa con Estados Unidos. Estados Unidos sale del acuerdo de París. Hombre, es muy triste que la administración americana, que debería tener una posición de liderazgo en el mundo para poder convencer a la India y al resto del mundo para que emitan menos, salga del acuerdo de

París. Pero al final Estados Unidos, la prueba, el bottom line que dicen ellos es que reduce sus emisiones de CO₂. Porque en la economía hay empresas que lo hacen y lo lideran. Quiere decir, una cosa es la opinión, publicada o el titular y otra cosa es lo que pasa en la realidad. O sea, que me preocupa, evidentemente, como a todos, lo que está pasando en Estados Unidos, pero en este aspecto menos.

GA: Nos tranquiliza relativamente esta opinión. Para finalizar una última cuestión, al hablar del crecimiento como cociente entre el producto interior bruto, es decir, el PIB y la población. ¿Es suficiente con que exista un valor medio elevado? ¿No debe compartirse este crecimiento? ¿Cómo se puede introducir este elemento dentro del ámbito de estos aspectos tan importantes para la sostenibilidad? ¿Tienen ustedes algo para ayudarnos a los que deseamos hacer números?

IN: No, yo supongo que se refiere, a que el calculador del PIB per cápita es una métrica imperfecta.

GA: Ofrece una idea general, pero evidentemente precisamos información válida. Yo lo que quería saber es si desde el gobierno tuvieron esta inquietud.

IN: En el ámbito energético lo único que quería mostrar era que, si la producción en el mundo o en un ámbito crece en términos de PIB per cápita, pues si no cambia nada más, se produce más CO₂. Porque hay más producción y por lo tanto se utiliza más energía, con la misma tecnología y pues se produce más CO₂. Esto es lo que quería decir aquí, pero estoy de acuerdo con usted de que evidentemente en términos de sostenibilidad o en términos de equidad, el PIB per cápita es una mala métrica. Siempre decimos que, en África, Guinea Ecuatorial tiene uno de los PIB per cápita mayores del continente. En cambio, yo no viviría, preferiría vivir en otros sitios de África.

GA: Tenemos que ir en este sentido de complementar estos índices por otros que tengan un valor, sobre todo si se buscan objetivos en las empresas, en las instituciones, en los gobiernos de que no son únicos. Por ejemplo, en la empresa, objetivo beneficio máximo y aquí se sostiene toda la ciencia económica. Esto es mentira.,

IN: Es una condición necesaria, yo creo, el aumentar el PIB per capital, para luego poder repartir y ganar en términos de equidad. Es un medio, no un fin.

GA: Intentaremos trabajar y le pediremos su opinión.

IN: Sí, sí, será un placer. Muchas gracias.

LA: El doctor Aguer igual quiere intervenir.

MA: Quisiera felicitarle. una conferencia estupenda, de gran actualidad, una maravilla. Yo quería comentarle, de forma muy breve. Usted nos ha hablado de estas energías, pero no ha citado una energía muy importante que yo creo que es la energía del futuro. No ha citado usted el hidrógeno. En el transporte, hoy en día, vemos que el coche eléctrico ha ganado respecto a la utilización del hidrógeno, no cabe duda. Entonces, mi pregunta va en esta línea. ¿Qué piensa usted de la utilización actual y futura del hidrógeno en el mundo?

IN: Yo creo que tiene mucho futuro para ser una energía de nicho, en ciertos ámbitos. No creo que llegue a ser una tecnología masiva. Por los siguientes motivos, el hidrógeno, evidentemente, en la naturaleza no existe como tal, de manera accesible. Por lo tanto, hay que hacerlo y se hace normalmente, hoy en día, en las refinerías a partir de la molécula del metano, pero sobre todo en el futuro y lo que se está desarrollando ahora es hacerlo a partir de la molécula del agua. Pero para hacerlo, se necesita una cantidad de electricidad muy importante. Es decir, pasamos de electricidad a fabricar hidrogeno. En energía cada vez que hay un cambio de energía, hay una pérdida por el camino. Las leyes de la termodinámica te lo dicen y entonces vas perdiendo. Por ejemplo, una central eléctrica desde el combustible que utiliza para realizar electricidad, pierde más del 50% de la energía que había en aquel combustible. Por tanto, en España, ¿qué plantea mucha gente? Como hay una gran apuesta por las energías renovables y entonces habrá momentos en que sobraré energía renovable porque cada vez se van haciendo más y la demanda no dará para consumirla toda. Entonces, en esas horas fabricar hidrógeno, romper la molécula de agua para realizar el hidrógeno, y transportarlo. Pero claro, los costes que yo veo, ahora no profundizaríamos, pero a mí no me salen los costes para la industria, al menos, pero ni

ahora ni los que los más fanáticos del hidrógeno están proyectando para dentro de 15 o 20 años. Entonces, ¿en dónde puedo ver el hidrógeno? En ciertas industrias, algo, en alguna aplicación, en la siderurgia, en el amoníaco, en el transporte, por ejemplo, por camión. Pero claro, el hidrógeno hay que fabricarlo, hay que comprimirlo, hay que transportarlo. Los costes que hoy se proyectan, estaríamos hablando de triplicar el coste del gas natural. En los costes proyectados, no los que hay ahora. Entonces, ¿dónde puede tener sentido el hidrógeno? Pues, por ejemplo, en la refinería se fabrica hidrógeno, que es lo que se llama el hidrógeno gris, porque se fabrica a partir de un combustible fósil, que es el gas natural, pues sustituir el hidrógeno gris por hidrógeno verde a partir de energías renovables, pues yo ahí sí que lo veo. Es decir, creo que puede tener un sentido, pero siempre será una energía para mí de nicho, o sea, con una participación en la matriz energética reducida.

MA: Muy bien, muchas gracias. Y teniendo en cuenta que el hidrógeno es el elemento más elevado que hay en la naturaleza, pero claro, es un vector energético. Claro, así como hay otros que son libres. El gran problema del hidrógeno, creo yo, que es el vector energético, que está asociado a otros. Está asociado siempre a otros. Es el gran problema y esto lo encarece y por lo tanto incrementa el gasto.

IN: Hacerlo de manera masiva, por ejemplo, los que dicen, No, como tendremos tantas renovables en el momento en que nos sobre, lo haremos. Aquí ya se hizo, cuando hubo el plan nuclear se planteaban muchas más tecnologías que energía nuclear. ¿Qué se hizo? se construyeron todas las centrales nucleares al lado con una central hidráulica de bombeo. Entonces, en los momentos en que el plan Energético Nacional, estoy hablando de los años 70, preveía que la demanda sería inferior a la producción nuclear, esa producción nuclear extra se utilizaría para bombear agua del pantano de abajo al de arriba y entonces al día siguiente podías turbinar esa agua y todas tienen una central hidráulica al lado. Esto es lo mismo. Hay quien dice, Tendremos muchas renovables, pero claro, ¿qué vamos a hacer cuando la demanda esté baja? Pararemos los parques eólicos. Esto es un disparate económico. Entonces, fabricaremos hidrogeno. Yo digo, Oiga, haga interconexiones, es mucho más barato. Es decir, yo cuando me sobre la energía renovable se la vendo a Francia, que es lo que hace Dinamarca con Alemania,

MA: Muchas gracias. Una pregunta muy breve ahora, referente al apagón que tuvimos hace unas semanas, se ha dado la culpa a las energías renovables. Lo digo porque estamos tratando ahora también de energías renovables. ¿Qué opinión tiene respecto a esto? Porque han llegado informes y diversos.

IN: Yo creo que la culpa es del operador del sistema. Es mi opinión personal y particular. Es decir, las energías renovables tienen ventajas e inconvenientes. El operador del sistema, que es red eléctrica de España, tiene la obligación de conocer esos inconvenientes e impedir su incidencia. En ese momento, había una presencia de renovables excesiva en el sistema, teniendo en cuenta los riesgos que la eólica y la fotovoltaica, no la hidráulica, generan, que es que no dan inercia al sistema. Entonces, en el momento en que se produjo la perturbación, que probablemente fue pues una oscilación de frecuencia y de tensión, esas energías renovables no pudieron estabilizar el sistema, como si lo hubieran hecho si hubiera habido muchas centrales hidráulicas conectadas. Entonces, ¿de quién es la culpa? Para mí del operador del sistema. A largo plazo, ¿qué hay que hacer? Hay tecnología hoy en día para que la fotovoltaica y la eólica aporten esa inercia. Entonces, yo creo que las tecnologías renovables han evolucionado en costes de manera brutal, o sea, son muy competitivas, y por tanto es bueno aprovecharlas, pero claro, hay que gestionarlas de manera adecuada para poder gestionar el sistema,

MA: Muchas gracias.

IN: Gracias a ustedes.

LA: Le solicitaría que pidiera a la administración, a los ciudadanos, a las eléctricas y tal vez a otras empresas como la suya, actitudes concretas y reacciones inmediatas para mejorar el mix y evitar apagones.

IN: Yo lo que pediría es un debate racional, un debate racional y sensato. para preservar sobre todo una variable tan sensible para nuestra competitividad como son los costes energéticos. Es decir, si nosotros viviéramos en Luxemburgo, por ejemplo, que tiene muy poca industria, pues oiga que la gente en su casa pues pague un porcentaje de su renta por la energía superior a lo que hace un ciudadano de Estados Unidos o de China, pues bueno, yo creo

que puede ser más irrelevante. Pero en un país como el nuestro, en donde lo que queremos es preservar los sectores que compiten internacionalmente, el vector energético es clave

LA: De ahí, es mantener el mix energético

IN: Yo lo que diría es que en general, hay que mantener tecnologías competitivas y en lo posible no emitan CO₂. Y evidentemente cuando uno tiene centrales nucleares, que una gran parte de las cuales ya están amortizadas, que los aspectos de seguridad están controlados y cumplen los estándares de mayor seguridad mundial, no digo que sea al 100% perfecto, pero digamos seguro que cumplen los estándares de máxima seguridad y al menos el gobierno lo tiene que garantizar. Pues, yo creo que prescindir de esa tecnología es un tiro al pie.

GL: Pues muchísimas gracias a todos. Cerramos este debate. Quisiera agradecer una vez más a todos los presentes en la mesa, entre el público, las interesantes aportaciones que han realizado y les emplazo a todos a seguir participando en las próximas mesas redondas que ya iremos anunciando. Muchísimas gracias a todos y cedo la palabra al señor presidente para que cierre la sesión.

GA: De una manera muy breve, nos ha ocupado mucho tiempo y más, nos hubiera ocupado si hubiera sido posible, esta interesantísima presentación que ha realizado y quedamos a la espera y la esperanza de que podamos colaborar en el futuro y sobre todo que nos pueda ayudar con sus conocimientos técnicos a que nuestros trabajos puedan ser más adecuados a la realidad de cada momento. El acto ha terminado, se levanta la sesión. Muchas gracias.

CAPÍTULO 9
SÍNTESIS INTEGRADORA Y
HORIZONTES FUTUROS DE LA
SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Dra. Ana Maria Gil-Lafuente
Directora de la Cátedra de Sostenibilidad Empresarial
Catedrática de la Universidad de Barcelona

Dra. Josefa Boria-Reverter
Facultad de Economía y Empresa
Universidad de Barcelona

En un contexto marcado por la convergencia de crisis ecológicas, transformaciones tecnológicas aceleradas y crecientes tensiones geopolíticas, la sostenibilidad energética se ha consolidado como uno de los grandes desafíos estructurales del siglo XXI. A lo largo de este trabajo se ha abordado este fenómeno desde una perspectiva amplia e integradora, analizando sus fundamentos históricos, sus dimensiones conceptuales y los procesos contemporáneos de transición que están redefiniendo el sistema energético global.

Este capítulo final tiene como objetivo cerrar el recorrido analítico realizado, ofreciendo una síntesis articulada de los principales resultados, identificando las aportaciones del trabajo, reconociendo sus limitaciones y proponiendo líneas futuras de investigación. Más allá de su función recapituladora, este apartado pretende situar la transición energética en una perspectiva más amplia, entendida no solo como un proceso técnico o económico, sino como una transformación de carácter civilizatorio que interpela directamente a los modelos de desarrollo, a las estructuras de gobernanza y a los valores que orientan la relación entre sociedad y naturaleza.

Desde esta perspectiva, el capítulo se organiza en torno a cinco ejes principales. En primer lugar, se presenta una síntesis integradora de los elementos clave desarrollados a lo largo del trabajo. En segundo lugar, se destacan las principales aportaciones conceptuales y analíticas. En tercer lugar, se abordan las limitaciones del análisis. En cuarto lugar, se identifican líneas de investigación futuras. Finalmente, se plantea una reflexión de cierre sobre el significado y los desafíos de la transición energética en el contexto contemporáneo.

9.1. Síntesis integradora: la energía como eje civilizatorio

El análisis desarrollado a lo largo de este trabajo permite afirmar que la energía no constituye un sector más dentro de la economía, sino el eje estructural sobre el que se organiza la civilización contemporánea. Desde los fundamentos históricos del sistema energético hasta las dinámicas actuales de transición, gobernanza, innovación tecnológica y transformación social, se ha evidenciado que la sostenibilidad energética representa un problema sistémico que atraviesa todas las dimensiones del desarrollo.

En primer lugar, el recorrido histórico ha mostrado que las transiciones energéticas han sido siempre procesos de cambio estructural, capaces de reconfigurar los sistemas productivos, las relaciones de poder y los patrones de organización social. Sin embargo, la transición contemporánea presenta una singularidad histórica: no responde únicamente a la búsqueda de mayor eficiencia o disponibilidad energética, sino a la necesidad de garantizar la viabilidad ecológica del planeta. Este hecho introduce una dimensión inédita de urgencia y responsabilidad que redefine el sentido mismo del progreso.

En segundo lugar, el trabajo ha puesto de manifiesto que la sostenibilidad energética no puede reducirse a la sustitución de fuentes fósiles por energías renovables. Se trata de un concepto multidimensional que exige integrar de forma simultánea la dimensión ambiental, la viabilidad económica, la equidad social y la gobernanza institucional. La interacción entre estas dimensiones revela la existencia de tensiones estructurales que impiden soluciones simples o unidimensionales.

En tercer lugar, la transición energética ha sido analizada como un proceso dinámico impulsado por la convergencia de innovación tecnológica, digitalización y políticas climáticas. Este proceso, lejos de ser lineal, se desarrolla en un contexto de incertidumbre, desigualdad y conflicto, donde diferentes actores, Estados, empresas, comunidades y organismos internacionales, compiten por definir el rumbo del sistema energético global.

Asimismo, el análisis de la dimensión social y geopolítica ha evidenciado que la transición energética redistribuye poder, recursos y oportunidades. La emergencia de nuevos actores, la centralidad de los minerales críticos y la transformación de las cadenas de valor configuran un escenario en el que las antiguas dependencias fósiles dan paso a nuevas formas de interdependencia tecnológica y material.

La incorporación de la digitalización y la inteligencia artificial ha ampliado el alcance del análisis, mostrando que la transición energética no puede desvincularse de la transformación digital. Esta convergencia plantea oportunidades significativas en términos de eficiencia y optimización, pero también introduce nuevos riesgos relacionados con el consumo energético, la dependencia tecnológica y la desigualdad digital.

La tecnología (IA, hidrógeno, renovables) es necesaria pero insuficiente. Superar el tecnosolucionismo implica entender que la transición energética es, ante todo, una reconfiguración de nuestra relación con los recursos y el tiempo, donde la técnica sirve a la vida y no a la inversa.

En conjunto, estos elementos permiten concluir que la sostenibilidad energética constituye un proceso de transformación civilizatoria, en el que se redefinen simultáneamente los fundamentos materiales, institucionales y culturales de las sociedades contemporáneas.

9.2. Aproximación sistémica a la sostenibilidad energética y limitaciones del análisis

El presente trabajo realiza varias contribuciones relevantes al análisis de la sostenibilidad energética.

En el plano conceptual, se propone una visión integradora que supera los enfoques sectoriales tradicionales. La energía es abordada como un sistema complejo que conecta economía, sociedad y naturaleza, lo que permite comprender la transición energética como un proceso multidimensional y no como un simple cambio tecnológico.

En el plano analítico, se adopta una perspectiva sistémica que integra diferentes escalas (local, nacional y global) y diferentes dimensiones, histórica, económica, política y cultural. Esta aproximación permite identificar interdependencias clave, como la relación entre energía y límites planetarios, la interacción entre digitalización y consumo energético, o la conexión entre transición energética y desigualdad social.

En el plano normativo, el trabajo introduce una lectura de la transición energética como proyecto ético y político. Conceptos como justicia energética, transición justa, responsabilidad intergeneracional y suficiencia energética se sitúan en el centro del análisis, cuestionando la visión dominante basada exclusivamente en la eficiencia tecnológica.

Finalmente, en el plano prospectivo, se incorpora la dimensión de la digitalización y la inteligencia artificial como elementos estructurales del futuro

energético. Esta integración permite anticipar nuevas dinámicas y desafíos que serán determinantes en las próximas décadas.

A pesar de su alcance, este trabajo presenta una serie de limitaciones que deben ser reconocidas.

En primer lugar, el enfoque adoptado es fundamentalmente teórico y conceptual, apoyado en literatura académica y en informes de organismos internacionales. Si bien esto permite una visión amplia y rigurosa, limita la incorporación de evidencia empírica específica o estudios de caso detallados.

En segundo lugar, la naturaleza dinámica del sistema energético implica un elevado grado de incertidumbre. Las proyecciones tecnológicas, económicas y políticas pueden verse alteradas por factores imprevistos, como avances disruptivos, cambios geopolíticos o crisis económicas.

En tercer lugar, la complejidad del objeto de estudio obliga a simplificar determinadas dimensiones. Aspectos como las diferencias regionales, las especificidades sectoriales o los conflictos locales podrían ser desarrollados con mayor profundidad en futuros trabajos.

Finalmente, la incorporación de la inteligencia artificial y la digitalización, aunque necesaria, se enfrenta a la rápida evolución de estas tecnologías, lo que dificulta realizar evaluaciones definitivas sobre su impacto a largo plazo.

9.3. Líneas futuras de investigación

El análisis realizado abre múltiples líneas de investigación que resultan clave para profundizar en la comprensión de la transición energética.

Una primera línea se refiere al estudio de la relación entre digitalización y consumo energético. La expansión de la inteligencia artificial, los centros de datos y las infraestructuras digitales plantea interrogantes sobre su sostenibilidad y su compatibilidad con los objetivos climáticos.

Una segunda línea se centra en la geopolítica de los minerales críticos. La transición energética está generando nuevas dependencias y conflictos aso-

ciados a la extracción y el control de recursos estratégicos, lo que requiere análisis más detallados desde una perspectiva política y económica.

En tercer lugar, resulta necesario profundizar en la dimensión social de la transición, especialmente en relación con la pobreza energética, la desigualdad territorial y los mecanismos de transición justa en diferentes contextos institucionales.

Otra línea relevante es el análisis de modelos alternativos de desarrollo, como la economía del decrecimiento, la economía del donut o las estrategias de suficiencia energética, que cuestionan la compatibilidad entre crecimiento económico y sostenibilidad ecológica.

Finalmente, la investigación futura deberá abordar la gobernanza multinivel de la transición energética, analizando cómo se articulan las políticas globales, nacionales y locales, y cómo se integran los diferentes actores en el proceso de toma de decisiones.

9.4. Reflexión final: la transición energética como proyecto civilizatorio

La sostenibilidad energética plantea una de las preguntas más profundas de nuestro tiempo: ¿es posible sostener el bienestar humano dentro de los límites biofísicos de un planeta finito?

A lo largo de este trabajo se ha puesto de manifiesto que la respuesta a esta pregunta no puede encontrarse únicamente en la tecnología ni en el mercado. La transición energética no es solo un desafío técnico, sino un proceso que exige repensar los fundamentos del modelo de desarrollo contemporáneo.

La energía, que durante siglos ha sido el motor de la expansión económica y del progreso material, se sitúa hoy en el centro de una crisis civilizatoria. Su producción y consumo han permitido mejorar las condiciones de vida de millones de personas, pero también han contribuido a desestabilizar los sistemas ecológicos que hacen posible la vida en el planeta.

En este contexto, la transición energética debe entenderse como una oportunidad para redefinir la relación entre humanidad y naturaleza. No se trata únicamente de sustituir unas fuentes por otras, sino de construir un sistema energético basado en principios de sostenibilidad, equidad y resiliencia.

Esto implica avanzar hacia una nueva racionalidad energética en la que la eficiencia tecnológica se complementa con la suficiencia, la innovación con la responsabilidad y el crecimiento con los límites ecológicos. Supone, en última instancia, reconocer que el futuro energético no depende solo de lo que somos capaces de hacer, sino también de lo que decidimos no hacer.

La transición energética es, por tanto, un proyecto colectivo que requiere cooperación internacional, innovación institucional y compromiso social. Su éxito dependerá no solo de la capacidad tecnológica, sino de la voluntad de construir un modelo de desarrollo que sea compatible con la justicia social y la estabilidad del sistema Tierra.

En definitiva, el desafío energético del siglo XXI no consiste únicamente en producir energía de forma más limpia, sino en redefinir el papel de la energía en la organización de la vida social. La transición energética no es el final de un proceso, sino el inicio de una nueva etapa en la historia de la humanidad.

REFERENCIAS

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 102(1), 131–166. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- Ali, S. H., Giurco, D., Arndt, N., Nickless, E., Brown, G., Demetriades, A., Durrheim, R., Enriquez, M. A., Kinnaird, J., Littleboy, A., Meinert, L. D., Oberhänsli, R., Salem, J., Schodde, R., Schneider, G., Vidal, O., & Yakovleva, N. (2022). Mineral supply for the energy transition: Environmental and social challenges. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3, 45–58. <https://doi.org/10.1038/nature21359>
- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100, 143–174. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>
- Arboleda, M. (2020). *Planetary mine: Territories of extraction under late capitalism*. Verso.
- Bouzarovski, S., & Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science*, 10, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>
- Bulkeley, H., & Betsill, M. (2013). *Cities and Climate Change: Urban Sustainability and Global Environmental Governance*. Routledge.
- CEPAL (2023). *Panorama de la integración energética en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas. <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2023/12/PANORAMA-2023.pdf>
- Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Brutschin, E., Sovacool, B. (2018). Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework, *Energy Research & Social Science*, Volume 37, 2018, Pages 175-190, ISSN 2214-6296, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.015>.
- European Commission. (2022). *The European Green Deal*. <https://ec.europa.eu>

- Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257–1274.
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Science*, 357(6357), 1242–1244. <https://doi.org/10.1126/science.aao3760>
- Gil-Aluja, J. (2013). *Elements for a theory of decision in uncertainty* (Vol. 32). Springer Science & Business Media.
- Gil-Aluja, J. (2024). Algoritmos de la Escuela de Economía Humanista de Barcelona. <https://www.racef.es/es/node/5991>, <https://barcelonahumanisteconomy.streamlit.app/>
- Gil-Lafuente, A. M. (2023). Cátedra UB - Fundación Mutua Madrileña sobre de Sostenibilidad Empresarial. Universidad de Barcelona, Fundación Mutua Madrileña y Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. <https://www.ub.edu/catedres/es/catedras/catedra-ub-fundacion-mutua-madrilena-sobre-de-sostenibilidad-empresarial>
- Gillingham, K., Kotchen, M. J., Rapson, D. S., & Wagner, G. (2016). The rebound effect is overplayed. *Nature*, 493, 475–476. <https://doi.org/10.1038/493475a>
- Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., et al. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5°C target. *Nature Energy*, 3, 515–527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>
- Hickel, J. (2020). *Less is more: How degrowth will save the world*. Penguin Books.
- Howarth, R. W., & Jacobson, M. Z. (2021). How green is blue hydrogen? *Energy Science & Engineering*, 9(10), 1676–1687. <https://doi.org/10.1002/ese3.956>
- International Energy Agency [IEA]. (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. IEA Publications. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

- International Energy Agency (IEA). (2022a). Digitalisation and energy. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/digitalisation>
- International Energy Agency (IEA). (2022b). World energy outlook 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (2023). World energy outlook 2023. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- International Labour Organization (ILO). (2018). World employment and social outlook 2018: Greening with jobs. <https://www.ilo.org/publications/world-employment-and-social-outlook-2018-greening-jobs>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal. https://h2.pe/uploads/IRENA_Global_Hydrogen_Trade_Costs_2022.pdf
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Renewable power generation costs in 2022. <https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>
- Jackson, T. (2017). Prosperity without growth (2nd ed.). Routledge.
- Jasanoff, S. (2018). The Ethics of Invention: Technology and the Human Future. W. W. Norton & Company
- Jonas, H. (1979). The imperative of responsibility. University of Chicago Press.
- Kallis, G. (2021). Limits: Why Malthus was wrong and why environmentalists should care. Stanford University Press.
- Keohane, R. O., & Oppenheimer, M. (2016). Paris: Beyond the Climate Dead End through Pledge and Review? <https://ideas.repec.org/a/cog/poango/v4y2016i3p142-151.html>
- Keohane, R. O., & Nye, J. S. (2011). Power and Interdependence. Pearson

- Keohane, R.O., & Victor, D.V., (2011) *The Regime Complex for Climate Change*. American Political Science Association
- Klare, M. T. (2012). *The Race for What's Left: The Global Scramble for the World's Last Resources*. Metropolitan Books.
- Klenert, D., Mattauch, L., Combet, E., et al. (2018). Making carbon pricing work for citizens. *Nature Climate Change*, 8, 669–677.
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0201-2>
- Kuzemko, C., Keating, M., & Goldthau, A. (2020). Covid-19 and the politics of sustainable energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 40, 1–10.
https://research.chalmers.se/publication/518048/file/518048_Fulltext.pdf
- Malm, A. (2016). *Fossil Capital: The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*. Verso Books
- Markard, J. (2018). The next phase of the energy transition and its implications for research and policy. *Nature Energy*, 3(8), 628–633.
<https://doi.org/10.1038/s41560-018-0171-7>
- Martínez-Alier, J. (2002). *The environmentalism of the poor. A Study of Ecological Conflicts and Valuation*. Edward Elgar.
- Mitchell, T. (2011). *Carbon Democracy: Political Power in the Age of Oil*. Verso Books.
- Newell, P. (2019). *Global green politics*. Polity Press.
- Newell, P. (2019). *Power Shift: The Global Political Economy of Energy Transitions*. Cambridge University Press
https://www.researchgate.net/publication/387119178_The_Political_Economy_of_Transitions
- Newell, P., & Mulvaney, D. (2013). The political economy of the “just transition”. *The Geographical Journal*, 179(2), 132–140. https://www.iss.nl/sites/corporate/files/66-ICAS_CP_Newell_and_Mulvaney.pdf
- OECD. (2022). *Pricing greenhouse gas emissions*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/11/pricing-greenhouse-gas-emissions_9d34083c/e9778969-en.pdf
- OpenAI (2025). ChatGPT [Modelo de lenguaje de gran tamaño]. <https://chatgpt.com/images>

- Pfenninger, S., Hawkes, A., & Keirstead, J. (2017). Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, pp. 74-86. DOI: 10.1016/j.rser.2014.02.003.
https://www.pfenninger.org/publications-pdf/Pfenninger%20et%20al_2014_Energy%20systems%20modeling%20for%20twenty-first%20century%20energy%20challenges.pdf
- Lin, N., Arzumanyan, M., Rodriguez Calzado, E., & Nicot, J.P. (2025). Water Requirements for Hydrogen Production: Assessing Future Demand and Impacts on Texas Water Resources. This article is an extended version of a presentation entitled Lin, M.; Arzumanyan, M.; Rodriguez Calzado, E.; Childers, G.L. “Hydrogen Energy Value Chain and Impacts on Water” at 2024 Texas Groundwater Summit, San Antonio, TX, USA, 20 August 2024. *Sustainability* 2025, 17(2), 385; <https://doi.org/10.3390/su17020385>
- Raworth, K. (2017). *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. Chelsea Green Publishing.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., ... & Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2023). *Energy*. Our World in Data.
<https://ourworldindata.org/energy>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Sachs, J. (2021). *The ages of globalization*. Columbia University Press.
https://www.marcialpons.es/media/pdf/45568_Las_Edades_De_La_Globalizacion.pdf
- Smil, V. (2010). *Energy transitions: History, requirements and prospects*. Praeger.
- Smil, V. (2017). *Energy and civilization: A history*. MIT Press.
- Sovacool, B. K. (2016). How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 13, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>


- Sovacool, B. K., & Dworkin, M. H. (2015). *Global energy justice*. Cambridge University Press. https://assets.cambridge.org/97811070/41950/frontmatter/9781107041950_frontmatter.pdf
- Sovacool, B. K., & Griffiths, S. (2020). Culture and low-carbon energy transitions. *Nature Sustainability*. VOL 3, SEPTEMBER 2020, 685–693 <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0519-4>
- Sovacool, B.K., Baum, C.M. & Low, S. (2022): Risk–risk governance in a low-carbon future: Exploring institutional, technological, and behavioral tradeoffs in climate geoengineering pathways. *Risk Analysis*, Vol.43-4 pp. 838-859 <https://doi.org/10.1111/risa.13932>
- Stahel, W. R. (2019). *The circular economy*. Routledge.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Stiglitz, Joseph E.; Stern, Nicholas; Duan, Maosheng; Edenhofer, Ottmar; Giraud, Gaël; Heal, Geoffrey M.; la Rovere, Emilio Lèbre; Morris, Adele; Moyer, Elisabeth; Pangestu, Mari; Shukla, Priyadarshi R.; Sokona, Youba; Winkler, Harald (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. Columbia University Libraries. <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/d8-w2nc-4103>
- Martínez-Alier, J. (2020). A global environmental justice movement: mapping ecological distribution conflicts. *Disjuntiva*, 1(2), 83-128. <https://doi.org/10.14198/DISJUNTIVA2020.1.2.6>
- Turconi, R., Boldrin, A., & Astrup, T. (2013). Life cycle assessment of electricity generation technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 555–565. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.013>
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. (2015). *Paris Agreement*. <https://unfccc.int/documents/184656>
- Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12), 817–830. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7)


- Walker, G., Devine-Wright, P., Hunter, S., High, H., & Evans, B. (2010). Trust and community energy. *Energy Policy*, 38(6), 2655–2663.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.055>
- WEF. (2023). *Fostering Effective Energy Transition 2023 Edition*. World Economic Forum.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2023.pdf
- WEF. (2023). *The Future of Jobs Report 2023*. World Economic Forum.
<https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>
- World Bank. (2022). *World Development Indicators: Energy and Mining*. The World Bank.
<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- World Bank. (2023). *State and Trends of Carbon Pricing 2023*. The World Bank. <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>
- World Bank. (2023). *Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2023*.
<https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2023>
- World Bank. (2024). *State and trends of carbon pricing 2024*.
<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/b0d66765-299c-4fb8-921f-61f6bb979087>
- World Energy Council. (2023). *Energy Trilemma Index 2023*.
<https://www.worldenergy.org/data>
<https://trilemma.worldenergy.org/#!/energy-index>
- World Steel Association. (2023). *Sustainability Indicators 2023*.
<https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Sustainability-indicators-report-2023.pdf>
- Yergin, D. (2020). *The new map: Energy, climate, and the clash of nations*. Penguin Press. <https://www.penguinrandomhouse.com/books/317939/the-new-map-by-daniel-yergin/>



*Real Academia
de Ciencias Económicas y Financieras*

PUBLICACIONES DE LA REAL ACADEMIA
DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS


*Las publicaciones señaladas con el símbolo  están disponibles en formato PDF en nuestra página web:
<https://racef.es/es/publicaciones>

**Las publicaciones señaladas con el símbolo  están disponibles en nuestros respectivos canales de YouTube

PUBLICACIONES DEL OBSERVATORIO DE INVESTIGACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA
























- M-24/11 *Nuevos mercados para la recuperación económica: Azerbaiyán.*  
- M-30/12 *Explorando nuevos mercados: Ucrania, 2012. (Incluye DVD con textos en ucraniano), 2012.*
- M-38/15 *Desarrollo de estrategias para la cooperación económica sostenible entre España y México, 2015.* 
- M-41/16 *Cuba a la luz de la Nueva Ley de Inversiones Extranjeras: Retos y oportunidades para la economía catalana, (Estudio elaborado por el Observatorio de Investigación Económico- Financiera), 2016.*   
- MO-47/16 *Colombia: la oportunidad de la paz. Estudio sectorial para la inversión de empresas españolas en el proceso de reconciliación nacional (Estudio del Observatorio de Investigación Económico-Financiera de la RACEF).* 
- MO-50/17 *La gestión y toma de decisiones en el sistema empresarial cubano. Gil-Lafuente, Ana Maria; García Rondón, Irene; Souto Anido, Lourdes; Blanco Campins, Blanca Emilia; Ortiz, Torre Maritza; Zamora Molina, Thais.* 
- MO-52/18 *Efectos de la irrupción y desarrollo de la economía colaborativa en la sociedad española. Gil-Lafuente, Ana Maria; Amiguet Molina, Lluís; Boria Reverter, Sefa; Luis Bassa, Carolina; Torres Martínez, Agustín; Vizuet Luciano, Emilio.* 
- MO-53/19 *Índice de equidad de género de las comunidades autónomas de España: Un análisis multidimensional. Gil-Lafuente, Ana Maria; Torres Martínez, Agustín; Boria Reverter, Sefa; Amiguet Molina, Lluís.* 
- MO-54/19 *Sistemas de innovación en Latinoamérica: Una mirada compartida desde México, Colombia y Chile. Gil-Lafuente, Ana M.; Alfaro-García, Víctor G.; Alfaro-Calderón, Gerardo G.; Zaragoza-Ibarra, Artemisa; Gómez-Monge, Rodrigo; Solís-Navarrete, José A.; Ramírez-Triana, Carlos A.; Pineda-Escobar, María A.; Rincón-Ariza, Gabriela; Cano-Niño, Mauricio A.; Mora-Pardo, Sergio A.; Nicolás, Carolina; Gutiérrez, Alexis; Rojas, Julio; Urrutia, Angélica; Valenzuela, Leslier; Merigó, José M.* 
- MO-56/19 *Kazakhstan: An Alliance or civilizations for a global challenge. Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan – Institute of Economic Research; Royal Academy of Economic and Financial Sciences of Spain.* 
- MO-60/19 *Medición de las capacidades de innovación en tres sectores primarios en Colombia. Efectos olvidados de las capacidades de innovación de la quínoa, la guayaba y apícola en Boyacá y Santander. Blanco-Mesa, Fabio; León-Castro, Ernesto; Velázquez-Cázares, Marlenne; Cifuentes-Valenzuela, Jorge; Sánchez-Ovalle, Vivian Gineth.* 
- MO-61/19 *El proceso demográfico en España: análisis, evolución y sostenibilidad. Gil-Lafuente, Ana M.; Torres-Martínez, Agustín; Guzmán-Pedraza, Tulia Carolina; Boria-Reverter, Sefa.* 








- MO-64/20 *Capacidades de Innovación Ligera en Iberoamérica: Implicaciones, desafíos y sinergias sectoriales hacia el desarrollo económico multilateral*. Alfaro-García, VG.; Alfaro-Calderón, GG.; García-Orozco, D.; Zaragoza-Ibarra, A.; Boria-Reverter, S.; Gómez-Monge, R.
- MO-65/20 *El adulto mayor en España: Los desafíos de la sociedad ante el envejecimiento*. Gil-Lafuente, Ana M.; Torres-Martínez, Agustín; Guzmán-Pedraza, Tullia Carolina; Boria-Reverter, Sefa. 
- MO-68/21 *Public policy to handle aging: the seniors' residences challenge / Políticas para la gestión pública del envejecimiento: el desafío de las residencias para personas mayores*. Kydland, F.; Kydland, T.; Valero Herмосilla, J. y Gil-Lafuente, Ana M.  
- MO-70/21 *Ecología y tecnología para una nueva economía poscovid-19*. Ana Maria Gil-Lafuente, Agustín Torres-Martínez, Tullia Carolina Guzmán-Pedraza, Sefa Boria-Reverter.
- MO-80/23 *Cómo envejecemos los españoles: Enfermedades prevalentes y morbilidad en nuestra senectud*. Ana Maria Gil-Lafuente, Sefa Boria-Reverter, Lourdes Souto Anido, Emilio Vizúete Luciano, Jaime Gil Lafuente.  
- MO-82/23 *Sostenibilidad Urbanística y Vivienda*. Aline Castro-Rezende, Ana Maria Gil-Lafuente, Lluís Amiguet Molina, Luciano Barcellos-Paula, Sander Laudy.  
- MO-83/23 *Innovación Tecnológica, modelos Computacionales y Sostenibilidad en Iberoamérica*. Dirección Ana Maria Gil-Lafuente. **Autores:** **Argentina:** Lucila Lazzari, Luisa; Fernández, María José; Parma, Andrea; Landolfi, Bettina; Goyheix, Daniela; Douelle, Matías; **Brasil:** Valotto Patuzzo, Genilson; França Naves, Thiago; Ono Fonseca, Keiko Verônica; Teresinha Beuren, Arlete; Reitz Cardoso, Flávia Aparecida; Delisandra Feltrim, Valéria; **Chile:** Olazabal-Lugo, Maricruz; Espinoza-Audelo, Luis Fernando; Perez-Arellano, Luis A.; Huesca-Gastelum, Martin I.; Delgadillo-Aguirre, Alicia; Leon-Castro, Ernesto; **Colombia:** Blanco-Mesa, Fabio; Abril-Teatin, Jheisson; **Cuba:** Souto Anido, Lourdes; Imbernó Díaz, Ana Laura; **Ecuador:** Pilar Tamayo Herrera, Aracely; Tapia, Freddy; **España:** Gil-Lafuente, Ana Maria; Boria-Reverter, Sefa; Torres Vergara, Carlos; **México:** García-Orozco, Dalia; Merino Arteaga, Ileri Patricia; Alfaro-García, Víctor G.; **Perú:** Barcellos de Paula, Luciano; **Portugal:** Castro Rezende, Aline. 
- MO-84/24 *Crecimiento Sostenible en España: Los retos del Pacto Mundial*. Ana Maria Gil-Lafuente, Josefa Boria Reverter, Darley Biviana Pacheco Cubillos.  
- MO-87/24 *Crecimiento Sostenible e Infraestructuras*. (Cátedra UB_Fundación Mutua Madrileña sobre sostenibilidad empresarial). Finn E.Kydland, Jaime Gil Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Maurici Lucena Betriu, Lluís Amiguet Molina, Nenad Filipovic, 2024.  
- MO-92/24 *Crisis financieras ¿Por qué se producen y cómo afrontarlas?* Ana Maria Gil-Lafuente, Emili Vizúete-Luciano y Sefa Boria-Reverter (Eds). Erik Maskin, Jaime Gil-Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Lluís Amiguet Molina, Mario Aguer, Emili Vizúete-Luciano, Jaime A. López-Guauque. Barcelona, 2024.  
- MO-93/24 *Sostenibilidad en el entorno químico*. Ana Maria Gil-Lafuente y Luciano Barcellos-Paula (Eds). Carlos Navarro, Jaime Gil Aluja, Juan Carlos Valero, Lluís Amiguet Molina, Vicente Liern. Barcelona, 2024.  






















- MO-95/25 *Sostenibilidad en el sector turístico*. Ana Maria Gil-Lafuente, Josefa Boria-Reverter (Eds). Jaime Gil Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Amancio López Seijas, Mario Aguer Hortal, Lluís Amiguet Molina, Juan Carlos Valero, Maribel Esparcia Pérez, Josefa Boria-Reverter. Barcelona, 2025.  
- MO-100/25 *Sostenibilidad alimentaria*. Jaime Gil-Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Jordi Aycart Vidal, Fernando Casado Juan, Emili Vizquete-Luciano, Josefa Boria-Reverter, Lluís Amiguet Molina, Juan Carlos Valero Hermsilla. Barcelona, 2025.  
- MO-101/25 *Sostenibilidad en el sector farmacéutico*. Jaime Gil Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Ingrid N. Pinto López, Jaime A. López-Guauque, Lluís Amiguet Molina, Ramón Álvarez, Javier Martínez Roldán, Jorge Isaac González, Felipe Hernández Rosales, Crishelen Kurezyn Díaz, Felipe Machorro Ramos, Claudia Malcón Cervera, José Antonio Fernández Pérez, Cynthia M. Montaudon Tomas, Alba Ancochea, María Vanessa Romero Ortiz, Marcela Haydée Ruiz-Vázquez. Barcelona, 2025. 
- MO-102/25 *Sostenibilidad en el sector editorial*. Jaime Gil Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Luciano Barcellos-Paula, Jaime A. López-Guauque, Lluís Amiguet Molina, Carlota del Amo, Joan Mera, Jordi Panyella. Barcelona, 2025. 
- MO-104/25 *Sostenibilidad en el sector energético*. Jaime Gil Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Josefa Boria-Reverter, Ignasi Nieto Magaldi, Lluís Amiguet Molina, Mario Aguer Hortal. Barcelona, 2025. 

OTRAS PUBLICACIONES Y COEDICIONES DE LA REAL ACADEMIA

- M-1/03 *De Computis et Scripturis (Estudios en Homenaje al Excmo. Sr. Dr. Don Mario Pifarré Riera)*, 2003. 
- M-2/04 *Sesión Académica de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras en la Académie du Royaume du Maroc (Publicación del Solemne Acto Académico en Rabat el 28 de mayo de 2004)*, 2004.  
- M-3/05 *Una Constitución para Europa, estudios y debates (Publicación del Solemne Acto Académico del 10 de febrero de 2005, sobre el “Tratado por el que se establece una Constitución para Europa”)*, 2005. 
- M-4/05 *Pensar Europa (Publicación del Solemne Acto Académico celebrado en Santiago de Compostela, el 27 de mayo de 2005)*, 2005.
- M-5/06 *El futuro de las relaciones euromediterráneas (Publicación de la Solemne Sesión Académica de la R.A.C.E.F. y la Universidad de Túnez el 18 de marzo de 2006)*, 2006. 
- M-6/06 *Veinte años de España en la integración europea (Publicación con motivo del vigésimo aniversario de la incorporación de España en la Unión Europea)*, 2006. 
- M-7/07 *La ciencia y la cultura en la Europa mediterránea (I Encuentro Italo-Español de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras y la Accademia Nazionale dei Lincei)*, 2007.  
- M-8/07 *La responsabilidad social de la empresa (RSE). Propuesta para una nueva economía de la empresa responsable y sostenible*, 2007. 
- M-9/08 *El nuevo contexto económico-financiero en la actividad cultural y científica mediterránea (Sesión Académica internacional en Santiago de Compostela)*, 2008. 
- M-10/08 *Pluralidad y unidad en el pensamiento social, técnico y económico europeo (Sesión Académica conjunta con la Polish Academy of Sciences)*, 2008.  
- M-11/08 *Aportación de la ciencia y la cultura mediterránea al progreso humano y social (Sesión Académica celebrada en Barcelona el 27 de noviembre de 2008)*, 2009. 
- M-12/09 *La crisis: riesgos y oportunidades para el Espacio Atlántico (Sesión Académica en Bilbao)*, 2009. 
- M-13/09 *El futuro del Mediterráneo (Sesión Académica conjunta entre la Montenegrin Academy of Sciences and Arts y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, celebrada en Montenegro el 18 de mayo de 2009)*, 2009.  
- M-14/09 *Globalisation and Governance (Coloquio Internacional entre la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras y el Franco-Australian Centre for International Research in Management Science (FACIREM), celebrado en Barcelona los días 10-12 de noviembre de 2009)*, 2009. 
- M-15/09 *Economics, Management and Optimization in Sports. After the Impact of the Financial Crisis (Seminario Internacional celebrado en Barcelona los días 1-3 de diciembre de 2009)*, 2009.  











- M-16/10 *Medición y Evaluación de la Responsabilidad Social de la Empresa (RSE) en las Empresas del Ibex 35*, 2010. 
- M-17/10 *Desafío planetario: desarrollo sostenible y nuevas responsabilidades (Solemne Sesión Académica conjunta entre l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux- Arts de Belgique y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, en Bruselas el día 8 de junio de 2010)*, 2010.  
- M-18/10 *Seminario analítico sobre la casuística actual del derecho concursal (Sesión Académica celebrada el 4 de junio de 2010)*, 2010. 
- M-19/10 *Marketing, Finanzas y Gestión del Deporte (Sesión Académica celebrada en la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras en diciembre de 2009)*. 2010  
- M-20/10 *Optimal Strategies in Sports Economics and Management (Libro publicado por la Editorial Springer y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*. 2010
- M-21/10 *El encuentro de las naciones a través de la cultura y la ciencia (Solemne Sesión Académica conjunta entre la Royal Scientific Society de Jordania y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, en Amman el día 8 de noviembre de 2010)*. 2010.  
- M-21B/10 *Computational Intelligence in Business and Economics (Proceedings de MS'10 International Conference celebrada en Barcelona los días 15-17 de julio de 2010)*. Edición de World Scientific, 2010.
- M-22/11 *Creación de valor y responsabilidad social de la empresa (RSE) en las empresas del IBEX 35*. 2011. 
- M-23/11 *Incidencia de las relaciones económicas en la recuperación económica del área mediterránea (VI Acto Internacional celebrado en Barcelona el 24 de febrero de 2011), (Incluye DVD con resúmenes y entrevistas de los ponentes)* 2011.  
- M-25/11 *El papel del mundo académico en la sociedad del futuro (Solemne Sesión Académica en Banja Luka celebrada el 16 de mayo de 2011)*, 2011.  
- M25B/11 *Globalisation, governance and ethics: new managerial and economic insights (Edición Nova Science Publishers)*, 2011.
- M-26/12 *Decidir hoy para crear el futuro del Mediterráneo (VII acto internacional celebrado el 24 de noviembre de 2011)*, 2012.  
- M-27/12 *El ciclo real vs. el ciclo financiero un análisis comparativo para el caso español. Seminario sobre política anticíclica*, 2012.  
- M-28/12 *Gobernando las economías europeas. La crisis financiera y sus retos. (Solemne Sesión Académica en Helsinki celebrada el 9 de febrero de 2012)*, 2012.  
- M-29/12 *Pasado y futuro del área mediterránea: consideraciones sociales y económicas (Solemne Sesión Académica en Bejaia celebrada el 26 de abril de 2012)*, 2012. 
- M-31/13 *Why austerity does not work: policies for equitable and sustainable growth in Spain and Europe (Conferencia del académico correspondiente para Estados Unidos, Excmo. Sr. Dr. D. Joseph E. Stiglitz, Pronunciada en Barcelona en diciembre de 2012)*, 2013.   

- M-32/13 *Aspectos micro y macroeconómicos para sistemas sociales en transformación (Solemne Sesión Académica en Andorra celebrada el 19 de abril de 2013)*, 2013.   
- M-33/13 *La unión europea más allá de la crisis (Solemne Sesión Académica en Suiza celebrada el 6 de junio de 2013)*, 2013.   
- M-33B/13 *Decision Making Systems in Business Administration (Proceedings de MS'12 International Conference celebrada en Río de Janeiro los días 10-13 de diciembre de 2012)*. Edición de World Scientific, 2013.
- M-34/14 *Efectos de la evolución de la inversión pública en Educación Superior. Un estudio del caso español y comparado (Trabajo presentado por la Sección Primera de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*, 2014. 
- M-35/14 *Mirando el futuro de la investigación científica (Solemne Acto Académico Conjunto celebrado en Bakú el 30 de mayo de 2014)*, 2014.  
- M-36/14 *Decision Making and Knowledge Decision Support Systems (VIII International Conference de la RACEF celebrada en Barcelona e International Conference MS 2013 celebrada en Chania Creta. Noviembre de 2013)*. Edición a cargo de Springer, 2014.  
- M-37/14 *Revolución, evolución e involución en el futuro de los sistemas sociales (IX Acto internacional celebrado el 11 de noviembre de 2014)*, 2014.  
- M-39/15 *Nuevos horizontes científicos ante la incertidumbre de los escenarios futuros (Solemne Acto Académico Conjunto celebrado en Cuba el 5 de mayo de 2015)*, 2015.  
- M-40/15 *Ciencia y realidades económicas: reto del mundo post-crisis a la actividad investigadora (X Acto Internacional celebrado el 18 de noviembre de 2015)*, 2015.   
- ME-42/16 *Vivir juntos (Trabajo presentado por la Sección Tercera de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*, 2016. 
- MS-43/16 *¿Hacia dónde va la ciencia económica? (Solemne Acto Académico Conjunto con la Universidad Estatal de Bielorrusia, celebrado en Minsk el 16 de mayo de 2016)*, 2016.   
- MS-44/16 *Perspectivas económicas frente al cambio social, financiero y empresarial (Solemne Acto Académico Conjunto con la Universidad de la Rioja y la Fundación San Millán de la Cogolla, celebrado en La Rioja el 14 de octubre de 2016)*, 2016.   
- MS-45/16 *El Comportamiento de los actores económicos ante el reto del futuro (XI Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, celebrado en Barcelona el 10 de noviembre de 2016)*, 2016.   
- MS-46/17 *El agua en el mundo-El mundo del agua/ Water in the world- The World of Water (Nueva Edición Bilingüe Español-Inglés del Estudio a cargo del Prof. Dr. Jaime Lamo de Espinosa, publicada con motivo del 150 aniversario de Agbar)*, 2017.   
- MS-48/17 *El pensamiento económico ante la variedad de espacios españoles (Solemne Acto Académico conjunto con la Universidad de Extremadura y la Junta de Extremadura celebrado los días 2-3 de marzo de 2017)*, 2017.   

- MS-49/17 *La economía del futuro en Europa. Ciencia y realidad. Calmïc, Octavian; Aguer Hortal, Mario; Castillo, Antonio; Ramírez Sarrió, Dídac; Belostecinic, Grigore; Rodríguez Castellanos, Arturo; Bîrcă, Alic; Vaculovschi, Dorin; Metzeltin, Michael; Verejan, Oleg; Gil Aluja, Jaime.* 
- MS-51/17 *Las nuevas áreas del poder económico (XII Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 16 de noviembre de 2017), 2017.*   
- MS-53/18 *El reto de la prosperidad compartida. El papel de las tres culturas ante el siglo XXI. Solemne acto académico conjunto con la Fundación Tres Culturas del Mediterráneo (Barcelona Economics Network). Askenasy, Jean; Imanov, Gorkmaz; Granell Trias, Francesc; Metzeltin, Michael; Bernad González, Vanessa; El Bouyououssfi, Mounir; Ioan Franc, Valeriu; Gutu, Corneliu.*   
- MS-54/18 *Las ciencias económicas y financieras ante una sociedad en transformación. Solemne Acto Académico conjunto con la Universidad de León y la Junta de Castilla y León, celebrado el 19 y 20 de abril de 2018. Rodríguez Castellanos, Arturo; López González, Enrique; Escudero Barbero, Roberto; Pont Amenós, Antonio; Ulibarri Fernández, Adriana; Mallo Rodríguez, Carlos; Gil Aluja, Jaime.*   
- MV-01/18 *La ciencia y la cultura ante la incertidumbre de una sociedad en transformación (Acto Académico de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras en la Universidad de Tel Aviv celebrado el 15 y 16 de mayo de 2018), 2018.* 
- MS-55/19 *Desafíos de la nueva sociedad sobrecompleja: Humanismo, dataísmo y otros ismos (XIII Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 15 y 16 de noviembre de 2018), 2018.*   
- MS-57/19 *Complejidad Financiera: Mutabilidad e Incertidumbre en Instituciones, Mercados y Productos. Solemne Acto Académico Conjunto entre la Universitat de les Illes Balears, la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, el Cercle Financer de Balears, el Colegio de Economistas de las Islas Baleares y el Cercle d'Economia de Mallorca, celebrado los días 10-12 de abril de 2019. Rodríguez Castellanos, Arturo; López González, Enrique; Liern Carrión, Vicente; Gil Aluja, Jaime.*   
- ME-58/19 *Un ensayo humanista para la formalización económica. Bases y aplicaciones (Libro Sección Segunda de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras), 2019.* 
- MS-59/19 *Complejidad Económica: Una península ibérica más unida para una Europa más fuerte. Solemne Acto Académico Conjunto entre la Universidad de Beira Interior – Portugal y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, celebrado el día 19 de junio de 2019. Askenasy, Jean; Gil Aluja, Jaime; Guskov, Vladimir; Hernández Mogollón, Ricardo; Imanov, Korkmaz; Ioan-Franc, Valeriu; Laichoubi, Mohamed; López González, Enrique; Marino, Domenico; Redondo López, José Antonio; Rodríguez Rodríguez, Alfonso; Gil Lafuente, Ana Maria.* 
- MS-62/20 *Migraciones (XIV Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 14 y 15 de noviembre de 2019), 2019.*  

- MS-63/20 *Los confines de la equidad y desigualdad en la prosperidad compartida. Solemne Acto Académico Conjunto entre la Universidad de Cantabria y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, celebrado los días 7 y 8 de mayo de 2020.* Ramírez Sarrió, Dídac; Gil Aluja, Jaime; Rodríguez Castellanos, Arturo; Gasòliba, Carles; Guillen, Montserrat; Casado, Fernando; Gil-Lafuente, Ana Maria, Sarabia Alegría, José María.  
- MS-66/21 *La vejez: conocimiento, vivencia y experiencia (XV Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 10 y 20 de noviembre de 2020), 2020.* 
- MS-67/21 *Sistemas de pensiones para una longevidad creciente. Una mirada a los sistemas de pensiones en Bielorrusia, España, Finlandia, México y Suiza. Daniel i Gubert, Josep; Wanner, Jean-Marc; Gusakov, Vladimir; Kiander, Jaakko; González Santoyo, Federico; Flores Romero, Beatriz; Gil-Lafuente, Ana Maria; Guillen, Montserrat. 2021.* 
- MS-69/21 *Ciencia y actividad económica: propuestas y realidades (Trabajos correspondientes al I Ciclo de Conferencias Internas). Gil Aluja, Jaime; Granell Trias, Francesc; Aguer Hortal, Mario; Ramírez Sarrió, Dídac; Argandoña Rámiz, Antonio; Liern Carrión, Vicente; Gil-Lafuente, Ana Maria. 2021.*  
- MS-71/22 *Incidencias económicas de la pandemia. Problemas y oportunidades. Solemne Acto Académico Conjunto entre la Universidad de Valencia y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, celebrado los días 21 y 22 de octubre de 2021. Gil Aluja, Jaime; Aguer Hortal, Mario; Maqueda Lafuente, Francisco Javier; Ramírez Sarrió, Dídac; Liern Carrión, Vicente; Rodríguez Castellanos, Arturo; Guillén Estany, Montserrat.*  
- MS-72/22 *La nueva economía después del Sars-Cov-2. Realidades y revolución tecnológica. (XVI Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 18 y 19 de noviembre de 2021), 2021.*  
- ME-73/22 *El Banco Central Europeo y la crisis financiera (2007-2018). Sección de Ciencias Económicas de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Argandoña Rámiz, Antonio; Castells Oliveres, Antoni. 2022.*  
- MS-74/22 *Ciencia y actividad económica: propuestas y realidades (Trabajos correspondientes al II Ciclo de Conferencias Internas). Gil Aluja, Jaime; Rodríguez Rodríguez, Alfonso; Guillén Estany, Montserrat; Rodríguez Castellanos, Arturo; Lago Peñas, Santiago; Barquero Cabrero, José Daniel; López González, Enrique. 2022.*  
- MS-75/22 *Soluciones económicas y tecnológicas a la degradación del ecosistema del planeta. (I Seminario Internacional Abierto de Barcelona de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 8 y 9 de junio de 2022) ,2022.*  
- ME-76/22 *Economistas Españoles Relevantes de los siglos XVIII, XIX y XX. Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Aguer Hortal, Mario. 2022.* 
- MS-77/23 *¿Por qué no un Mundo Sostenible? La Ciencia Económica va a su encuentro. (XVII Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 16 y 17 de noviembre de 2022) ,2022.*  

- MS-78/23 *Los nuevos desafíos y oportunidades de la transformación digital de la economía española. (Solemne Acto Académico conjunto entre la Universidad de Salamanca y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Salamanca el 15 de marzo de 2023)*.  
- MS-79/23 *La Ciberseguridad como imperativo para la Economía de España. (Solemne Acto Académico conjunto entre el Instituto Nacional de Ciberseguridad y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en León el 17 de marzo de 2023)*.  
- MS-81/23 *Ciencia y actividad económica: propuestas y realidades (Trabajos correspondientes al III Ciclo de Conferencias Internas)*. Gil Aluja, Jaime; Gasòliba Böhme, Carles-Alfred; Daniel i Gubert, Josep; Maqueda Lafuente, Francisco Javier; Terceño Gómez, Antonio; Lamo De Espinosa, Jaime. 2023.  
- MS-85/24 *La Ciberseguridad en la Ciencia y en las actividades económicas (Trabajos correspondientes al II Seminario Internacional de primavera de Barcelona)*. Gil Aluja, Jaime; Petre Roman; Enrique Lecumberri Mati; Ana Maria Gil-Lafuente, Valeriu Ioan Franc; Korkmaz Imanov; Domenico Marino; Dobrica Milovanovic; Carlo Morabito; Enrique López; José Daniel Barquero; Janusz Kacprzyk; Mario Aguer. 2023.  
- MS-86/24 *Inteligencia Artificial: Innovaciones Económicas y sociales (Solemne Acto Académico conjunto entre la Universidad de Kragujevac y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*. Jaime Gil Aluja, Nenad Filipovic, Janusz Kacprzyk, Vicente Liern, Veljko Marinkovic, José Daniel Barquero, Tijana Geroski, Valeriu Ioan Franc, Arturo Rodríguez Castellanos. Serbia, abril 19-23. 2023.  
- MS-88/24 *La voz de la ciencia económica frente a los límites de la vida en el planeta (XVIII Acto Internacional de Barcelona)* Jaime Gil Aluja, Mohamed Laichoubi, Alessandro Bianchi, Juli Minoves Triquel, Erna Hennicot, Valeriu Ioan Franc, Korkmaz Imanov, Constantin Zopounidis, José Daniel Barquero Cabrero, Mario Aguer, Federico González Santoyo, Jean Askenasy, Petre Roman, José M^a Sarabia, Montserrat Guillén, Piergiuseppe Morone, Francesca Bonelli, Domenico Marino, Dobrica Milovanovic, Carlo Morabito, Jean-Pierre Danthine. Barcelona, noviembre 15-16, 2023.  
- MS-89/24 *Las expectativas económicas inciertas en el inquietante orden mundial. (Solemne acto académico conjunto entre la Swiss UMEF University y la RACEF)*, Jaime Gil Aluja, Petre Roman, Djawed Sangdel, Janusz Kacprzyk, Sylvaine Mercury Chapuis, Valeriu Ioan-Franc, Andrei-Marius Diamescu, Marc Bonnet, Gilles Grin, Viola Krebs, Natalia Raksha, Arturo Rodríguez Castellanos, Luciano Barcellos, Michel Metzeltin, Korkmaz Imanov, Dan Bog, Carlo Morabito, Mario Aguer. Ginebra, abril 16-19, 2024.  
- MS-90/24 *Retos Económicos y Sociales en el horizonte de 2030. (Solemne Acto Académico conjunto entre la Universidad de Santiago de Compostela y la RACEF)*, Jaime Gil Aluja, Antonio Terceño Gómez, Santiago Lago Peñas, Mario Aguer Hortal, Paula López Martínez, Enrique López González, Luis Otero González, José Antonio Redondo López. Santiago de Compostela, junio 4-7, 2024.  
- MS-91/24 *Ciencia y actividad económica: propuestas y realidades. IV Ciclo de Conferencias Internas*. Jaime Gil Aluja, José Luis Sánchez Fernández de Valderrama, Francesc Solé Parellada, José Daniel Barquero Cabrero, Arturo Rodríguez Castellanos. Barcelona, 2024.  

- MS-94/24 *La empresa del futuro: crecimiento, sostenibilidad y beneficio*. Jaime Gil Aluja, Mohamed Laichoubi, Francesco Carlo Morabito, Juli Minoves Triquell, Michael Metzeltin, Valeriu Ioan-Franc, Andrei-Marius Diamescu, Gorkhmaz Imanov, Carlos Mallo, Piergiuseppe Morone, Asha Khosravi, Enrique López González, Luciano Barcellos-Paula, Domenico Marino, Francesco Cicione, Luigino Filice, Janusz Kacprzyk, Ioanna Atsalaki, George S. Atsalakis, Constantin Zopounidis, Jean-Jacques Askenasy, Guy Auerbach, Dobrica Milovanović, Federico González-Santoyo, Beatriz Flores-Romero, Ana Maria Gil-Lafuente, Corneliu Gutu, Petre Roman, José María Sarabia, Montserrat Guillén, Erna Hennicot, José Daniel Barquero Cabrero. Barcelona, 14-15 de noviembre de 2024.  
- MS-96/25 *La huella de la inteligencia artificial en la economía humanista*. (Solemne Acto Académico Conjunto entre la Universidad Mediterránea de Reggio Calabria y la RACEF). Jaime Gil Aluja, Domenico Marino, Vicente Liern Carrión, Massimiliano Ferrara, Arturo Rodríguez Castellanos, Francesco Cicione, Joan-Francesc Pont Clemente, Francesco Carlo Morabito, Luciano Barcellos-Paula, Ana Maria Gil-Lafuente, José Daniel Barquero. Reggio Calabria, 1-5 de mayo de 2025.  
- MS-97/25 *El cambio epistemológico en la inteligencia artificial y su incidencia en la actividad económica*. (Solemne Acto Académico Conjunto entre la Universidad de Granada y la RACEF). Jaime Gil Aluja, Enrique López González, Francisco Herrera Triguero, Onofre Martorell Cunill, Enrique Herrera-Viedma, Lázaro Rodríguez Ariza, Luis Otero González, Montserrat Guillén Estany, José María Sarabia Alegría, José Daniel Barquero. Granada, mayo 21-24, 2025.  
- ME-98/25 *La productividad y su papel en la economía española*. Sección Primera de Ciencias Económicas de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Antonio Argandoña. Barcelona, 2025. 
- ME-99/25 *Los desafíos pendientes de la unión fiscal europea*. Sección Primera de Ciencias Económicas de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Antoni Castells. Barcelona, 2025. 
- MS-103/25 *Un nuevo proyecto europeo para un nuevo orden mundial*. Jaime Gil Aluja, Mohamed Laichoubi, Francesco Carlo Morabito, Alfredo Rocafort Nicolau, Michael Metzeltin, Valeriu Ioan-Franc, Andrei-Marius Diamescu, Federico González-Santoyo, Beatriz Flores-Romero, Ana Maria Gil-Lafuente, Gilles Grin, Piergiuseppe Morone, Francesca Bonelli, Erna Hennicot-Schoepges, Dobrica Milovanovic, Domenico Marino, Ioanna Atsalaki, Dimitrios Zopounidis, George S. Atsalakis, Constantin Zopounidis, Jean-Jacques Askenasy, Luciano Barcellos-Paula, Enrique López González, Corneliu Gutu, Petre Roman, Gorkhmaz Imanov, José Daniel Barquero Cabrero. Barcelona, 19 - 20 de noviembre de 2025.  



*Real Academia
de Ciencias Económicas y Financieras*



Dr. Finn E. Kydland
Premio Nobel de Economía 2004

Los orígenes más remotos de la **Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras** se remontan al siglo XVIII, cuando en 1758 se crea en Barcelona la Real Junta Particular de Comercio. El espíritu inicial que la animaba entonces ha permanecido: el servicio a la sociedad a partir del estudio y de la investigación. Es decir, actuar desde la razón. De ahí las palabras que aparecen en su escudo y medalla: "Utraque Unum". La forma actual de la Real Corporación tiene su gestación en la década de los 30 del pasado siglo. Su recreación tuvo lugar el 16 de mayo de 1940. En 1958 es cuando adopta el nombre de Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. En los últimos años se han intensificado los esfuerzos dirigidos a la internacionalización de la RACEF, con la creación en 2009 del **Observatorio**, la celebración de sesiones científicas en varios países y en el 2017 con la puesta en marcha de la **Barcelona Economics Network (BEN)**. Desde el 24 de marzo de 2017, esta Real Corporación tiene el honor de formar parte del **Instituto de España**, tratándose de la única de las diez Reales Academias miembros con sede en Barcelona.

El **Observatorio de Investigación Económico-Financiera** de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, se constituyó en mayo de 2009, para erigirse como organismo de referencia y desarrollar proyectos de investigación, estudios y publicaciones en materias de actualidad relevantes.

El equipo responsable de llevar a cabo los proyectos programados responde a investigadores de alto prestigio internacional en el ámbito económico, siendo liderado por su Presidente de Honor Dr. Finn E. Kydland, premio Nobel de Economía 2004 y miembro correspondiente de nuestra Real Institución. La Dirección y Coordinación de los proyectos, estudios y publicaciones es desempeñada por la Académica de Número Dra. Ana M. Gil-Lafuente, que dirige un grupo de trabajo compuesto por acreditados docentes e investigadores.

Dr. Jaime Gil Aluja
Presidente de la
Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

**OBSERVATORIO DE
INVESTIGACIÓN
ECONÓMICO-FINANCIERA**

Presidente de Honor:
Finn E. Kydland

Directora:
Ana Maria Gil-Lafuente

Autores:
Jaime Gil Aluja
Ana Maria Gil-Lafuente
Josefa Boria-Reverter
Ignasi Nieto Magaldi
Lluís Amiguet Molina
Mario Aguer Hortal

Editores:
Ana Maria Gil-Lafuente
Josefa Boria-Reverter

Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras Observatorio de Investigación Económico-Financiera

DIRECTORA:

Ana Maria Gil-Lafuente

AUTORES:

Jaime Gil Aluja, Ana Maria Gil-Lafuente, Josefa Boria-Reverter, Ignasi Nieto Magaldí, Lluís Amiguet Molina, Mario Aguer Hortal.

MO-104/25 SOSTENIBILIDAD EN EL SECTOR ENERGÉTICO

El proyecto iniciado en la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras junto a la Universidad de Barcelona y la Fundación Mutua Madrileña materializada en la Cátedra sobre Sostenibilidad Empresarial, nace con la vocación y la ilusión de crear valor para nuestra sociedad, para que podamos disfrutar de una mayor calidad de vida a través de la gestión sostenible de las actividades que desarrollan empresas e instituciones.

En este nuevo reto hemos logrado culminar un proceso en el que confluyen los tres aspectos fundamentales para el progreso de la ciencia: la investigación, la formación y la transmisión del conocimiento.

Partiendo de los Principios del Pacto Mundial para la Sostenibilidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) trazados por la Organización de las Naciones Unidas presentamos este libro cuyo contenido muestra una síntesis de los temas tratados en la mesa redonda organizada en torno a la sostenibilidad energética.

A partir de toda una batería de actividades desarrolladas se ha elaborado este trabajo con el objetivo de contribuir a la preservación de los recursos a la vez que hacer posible mantener unos elevados niveles de bienestar.

Hemos contado, para hacer realidad este libro, con la colaboración de especialistas e investigadores en este complejo ámbito. La industria energética se halla en estos momentos en una encrucijada. La demanda energética aumenta exponencialmente a la vez que se exige que la generación de energía sea cada vez más limpia, más sostenible y menos contaminante. Y aquí aparece las energías renovables y su rápida expansión y crecimiento...Aprovechemos sus ventajas y busquemos soluciones a sus inconvenientes.

