

# Transición energética y escenarios postcrecimiento

ÓSCAR CARPINTERO Y JAIME NIETO<sup>1</sup>

En la actualidad nos encontramos en un contexto donde afloran con fuerza los límites físicos y de recursos naturales, y las situaciones de extralimitación (*overshoot*) en relación con la expansión del modelo de producción y consumo hegemónico.<sup>2</sup> Un ejemplo notable es el que tiene que ver con la energía. Parece claro que la doble crisis energética que padecemos nos sitúa en una complicada encrucijada. Desde el punto de vista de los sumideros, es evidente la aceleración del cambio climático inducido por el funcionamiento socioeconómico de una especie humana que se apoya básicamente en la quema de combustibles fósiles.<sup>3</sup> Por el lado de las fuentes, la aparición del cénit del petróleo convencional (*peak oil*)<sup>4</sup> es un hecho ya reconocido incluso por organismos internacionales<sup>5</sup> y supone el inicio de la fase descendente en las extracciones de crudo a nivel mundial. Esta circunstancia pone a las sociedades ante el espejo de la escasez energética futura y viene a refrendar el principio del fin de una era económica caracterizada por la energía barata. Como se ve, solo esta transición entraña ya transformaciones socioeconómicas de gran envergadura.

De acuerdo con el sexto informe del IPCC,<sup>6</sup> de seguir con la trayectoria de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) actual, se estima como muy probable un aumento de entre 2,8 y 4,6 °C para 2100 (en comparación con la era preindustrial). Es improbable que semejantes incrementos puedan ser soportados

<sup>1</sup> Los autores agradecen la ayuda recibida a través del proyecto de investigación: "Modelización y simulación de escenarios hacia una economía baja en carbono: el caso español (ECO2017-85110-R)", financiado por el Ministerio de Economía e Innovación.

<sup>2</sup> Véase, por ejemplo, Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers, *Los límites del crecimiento 30 años después*, Galaxia Gutenberg-Círculo de Lectores, Madrid, 2002. O también WWF, *Living Planet Report*, Gland, Suiza, 2020.

<sup>3</sup> IPCC, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 2021. También, IPCC, *Global warming of 1.5°*, Ginebra, 2018.

<sup>4</sup> Roberto Bermejo, *Un futuro sin petróleo*, Los Libros de la Catarata, Fuhem-Ecosocial, Madrid, 2007. Y más recientemente, Antonio Turiel, *Petrocalipsis*, Alfabeta, Madrid, 2020.

<sup>5</sup> IEA, *World Energy Outlook*, París.

<sup>6</sup> IPCC, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 2021.

por la especie humana, pero lo que es seguro es que la gran mayoría de los cultivos y sistemas agrarios de los que depende su alimentación no resistirían tal aumento. Se comprende, entonces, que los trabajos científicos mejor documentados llegaran hace tiempo a la conclusión de que el ritmo de disminución de las emisiones de GEI debía ser del 6% anual durante cuatro décadas, comenzando en 2013.<sup>7</sup> Así pues, sin necesidad de plantear problemas futuros con el acceso a los combustibles fósiles, el cambio climático nos enfrenta ya con crudeza a *la necesidad de una reducción del consumo*. El dilema es evidente: si pensamos que la utilización de la mitad de los hidrocarburos disponibles ha conllevado un calentamiento global como el actual, ¿dónde nos llevaría quemar la otra mitad de los combustibles fósiles?

## Cambio climático y transición energética. ¿Aún estamos a tiempo?

El IPCC en su informe de 2018 relativo a las condiciones para el cumplimiento del Acuerdo de París<sup>8</sup> llamaba la atención sobre la trayectoria vertiginosa de reducción de las emisiones de GEI que deberíamos acometer en los próximos años para cumplir el objetivo de no incrementar la temperatura media del planeta en más de 1,5 °C.

Sin embargo, las perspectivas sobre las posibilidades de lograrlo no son muy halagüeñas. Si tenemos en cuenta los planes que presentaron los países para contribuir al cumplimiento del Acuerdo de París (2015), se llega a una conclusión paradójica: tal y como hemos mostrado en una investigación reciente,<sup>9</sup> *si todos los países cumplieran con los objetivos declarados en los planes, su compromiso respecto a sus emisiones en 2030, lejos de reducirse, se incrementarían un 19,3%, llevando el incremento de temperatura a los 3-4 °C*. Aunque los países tuvieron la oportunidad de actualizar sus compromisos 2020, tan solo 22 (incluyendo la Unión Europea) han mejorado su compromiso. Como consecuencia, de acuerdo a la propia UNFCCC, las emisiones en 2030 serían un 15,9% superiores<sup>10</sup> en vez

<sup>7</sup> James Hansen, Pushker Kharecha, Makiko Sato, Valerie Masson-Delmotte, Frank Ackerman, *et al.*, «Assessing “dangerous climate change”: Required reduction of carbon emissions to protect young people, future generations and nature», *PLoS ONE*, 8, e81648, 2013.

<sup>8</sup> IPCC, 2018, *op.cit.*

<sup>9</sup> Jaime Nieto, Óscar Carpintero, Luis Javier Miguel, «Less than 2°: An Economic-Environmental Evaluation of the Paris Agreement», *Ecological Economics*, 146, pp. 69-84, 2018.

<sup>10</sup> *NDC Synthesis Report*, Convenio Marco sobre el Cambio Climático, Naciones Unidas, 2021. Disponible en: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs/ndc-synthesis-report#eq-5>

de 19,3%. Aparte de que, en general, no se suelen cumplir estos compromisos, este paradójico resultado indica la forma en que se han llevado a cabo las negociaciones y la seriedad para afrontar el problema. Por un lado, se trataba de compromisos *voluntarios* (es decir, sin penalización en caso de incumplimiento). En otros casos, se plantearon objetivos de reducción relativos (con respecto al PIB), pero no de reducción absoluta de las emisiones (que es lo que importa para el cambio climático); y, por último, no hubo ninguna preocupación por saber si los distintos planes presentados eran compatibles con el objetivo general perseguido (como desgraciadamente se ha demostrado). Dado que la única forma de reducir las emisiones, de manera que estas no se concentren y no se incremente la temperatura media, es reducir las extracciones, ¿cómo deberíamos enfrentar internacionalmente este problema si nos lo tomáramos en serio?

En un estudio muy revelador recientemente publicado se pone de manifiesto que, para evitar el aumento de la temperatura por encima del objetivo de 1,5 °C en 2050, esto implicaría dejar en el subsuelo sin extraer (y por tanto sin quemar y emitir) el 60% de las reservas de gas y petróleo y el 90 por 100 de las reservas de carbón.<sup>11</sup> Una parte de estas reservas está en manos de estados y otra parte en manos de empresas transnacionales (ETN) que quieren obtener la rentabilidad correspondiente por su explotación, lo que supone una dificultad notable para cualquier estrategia que intente enfrentar el cambio climático. Si se quisiera atajar el problema más allá de la retórica y la inacción, seguramente la negociación en París debería haber sido doble: 1) discutir con los propietarios de esas reservas (estados y ETN) las compensaciones por dejar sin explotar en el subsuelo esos activos,<sup>12</sup> y 2) pensar en serio las modificaciones importantes y urgentes que deberíamos acometer para seguir produciendo y consumiendo bienes y servicios que satisfagan las necesidades de la población con unas disponibilidades de recursos *decrecientes*. Este es el gran desafío y todo lo que no sea enfrentar el problema, al menos, desde estas dos dimensiones, probablemente seguirá abonando la vertiente “ceremonial” de las negociaciones climáticas internacionales.

No parece, sin embargo, que la mayoría de los discursos económicos, políticos y sociales partan de este reconocimiento tan evidente. Más bien al contrario. En vez

<sup>11</sup> Daniel Welsby, James Price, Steve Pye, Paul Ekins, «Unextractable fossil fuels in a 1.5°C world», *Nature* 597, 230–234, 2021.

<sup>12</sup> Son entendibles los reparos a negociar compensaciones precisamente a aquellos agentes económicos que han estado en el origen del problema y, en muchos casos, presentan historiales de agresiones y deterioro ecológico de los bienes comunes muy importantes. Sin embargo, dado que el bien mayor que se lograría sería superior a los costes en que incurriríamos, el resultado seguramente merecería la pena.

de poner de relieve la importancia de la idea de *límite*, y promover estrategias de *autolimitación colectiva* y de *contracción de emergencia* de la escala económica (sobre todo en los países ricos), que nos permitan reducir el deterioro ecológico y mantener la Tierra como un lugar habitable, se buscan medios con los que hacer perdurar, con otros nombres, la fe de que es posible continuar con el crecimiento del modelo de producción y consumo que ha causado el problema.

## **Green New Deal y crecimiento verde: ¿Basta con sustituir los combustibles fósiles por fuentes energéticas renovables?**

En este contexto, desde hace una década, las propuestas para enfrentar los problemas ambientales globales se han enmarcado en los programas de transición ecológica, transición energética y descarbonización de las economías. Bajo este paraguas se ha propuesto la estrategia del crecimiento verde (*green growth*), surgida al calor de varias iniciativas de organismos internacionales como la OCDE<sup>13</sup> y el Banco Mundial.<sup>14</sup> Se promete el mantenimiento del crecimiento económico y la expansión de la producción de bienes y servicios (PIB), pero utilizando fuentes energéticas renovables y, gracias al desarrollo tecnológico, reduciendo el uso de recursos naturales y la contaminación. La viabilidad de este modelo, cuya vocación subyace bajo los planes de transición reportados para cumplir el Acuerdo de París, ha sido fuertemente contestada en diversos trabajos académicos recientemente.<sup>15</sup>

No obstante, inspirados en esta narrativa, varios países ricos han sugerido desde 2019 “pactos verdes” como el *Green New Deal* (Estados Unidos) que ahora se está incorporando, pero descafeinado, a la Administración Biden; el *Green Deal* (Unión Europea) que está aprobado e implementándose, o la propuesta de un *Green New Deal* global.<sup>16</sup>

El problema de la estrategia del crecimiento verde es que para lograrse exige alcanzar un proceso de desmaterialización *absoluta* de la producción de bienes y

<sup>13</sup> OCDE, *Towards green growth*, OCDE, París, 2011.

<sup>14</sup> Banco Mundial, *Inclusive green growth: the Pathway to sustainable development*, Banco Mundial, Washington, DC, 2012.

<sup>15</sup> Iñigo Capellán-Pérez, Ignacio de Blas, Jaime Nieto, Carlos de Castro, Luis Javier Miguel, Óscar Carpintero, Margarita Mediaavilla, Luis Francisco Lobejón *et al.*, «MEDEAS: a new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints», *Energy Environmental Science*, núm. 13, pp. 986–1017, 2020. También el trabajo de Simone D'Alessandro, André Cieplinski, Tiziano Distefano, Kristofer Dittmer, «Feasible alternatives to green growth», *Nature Sustainability* núm. 3, pp. 329–335, 2020.

<sup>16</sup> Jeremy Rifkin, *El Green New Deal Global*, Paidós, Madrid, 2019.

servicios (que aumente la producción y, simultáneamente, disminuya el uso de recursos y la contaminación), lo que, por desgracia, no ha sido el caso debido a la gran dependencia de los recursos naturales por parte del sistema económico. Estamos hablando de un modelo de producción y consumo que ha triplicado, a escala global, la extracción de recursos naturales desde 1970<sup>17</sup> y que, según algunas estimaciones, espera doblar su uso de energía y materiales para 2060.<sup>18</sup> La evidencia sobre los problemas del crecimiento verde y el incumplimiento de la desmaterialización absoluta cada vez son más abrumadores en la literatura científica.<sup>19</sup> También sabemos que la digitalización de los procesos de producción y consumo y el progreso tecnológico no reducen esta dependencia ni los impactos, sino que suelen exacerbarlos gracias, entre otros, a mecanismos como el “efecto rebote”, tal y como se viene comprobando desde hace más de dos décadas.<sup>20</sup>

**La evidencia sobre los problemas del crecimiento verde y el incumplimiento de la desmaterialización absoluta cada vez son más abrumadores en la literatura científica**

Sin embargo, a pesar de este despliegue, desde hace unos años crece la sensación de que llegamos tarde. De que las recientes medidas planteadas dentro de las estrategias de transición ecológica y energética que, en muchos casos, fueron ya sugeridas desde hace cuatro décadas por diversos científicos, investigadores y movimientos sociales debieron comenzar a llevarse a cabo precisamente entonces, o incluso antes.<sup>21</sup> Eran excelentes ideas para ponerlas en práctica en los años setenta, ochenta o, incluso, hasta comienzos de los noventa del siglo XX. Pero ahora, para cada vez más personas, comienza a ser tarde. La razón es que una transformación socioeconómica de semejante envergadura requiere, a su vez, de varios decenios para poder llevarse a cabo y ese tiempo es, precisamente, el que la mayoría de los análisis sugiere que no tenemos, y el que la urgencia del cambio climático y el deterioro ecológico global nos ha robado.

Muchas de esas dudas aparecen no tanto porque las estrategias de sustitución de los combustibles fósiles por fuentes renovables sean, en principio, algo perju-

<sup>17</sup> Helmut Haberl, Dominik Wiedenhofer, Doris Virág, Gerald Kalt, *et al.*, «A Systematic Review of the Evidence on Decoupling of GDP, Resource Use and GHG Emissions, Part II: Synthesizing the Insights», *Environmental Research Letters*, doi: 10.1088/1748-9326/ab842a, 2020.

<sup>18</sup> OCDE, *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. OCDE, París, 2019.

<sup>19</sup> Jason Hickel, y Giorgos Kallis, «Is Green Growth Possible?», *New Political Economy* 25 (4), pp. 469–486, 2020. También: Helmut Haberl, *et al.*, 2020, *op.cit.*

<sup>20</sup> Óscar Carpintero, «Los costes ambientales del sector servicios y la nueva economía: Entre la “desmaterialización y el “efecto rebote”», *Economía Industrial*, núm. 352, pp. 59-76, 2003.

<sup>21</sup> Jorge Riechmann, *Otro fin del mundo es posible, decían los compañeros*, mra ediciones, Madrid, 2019.

dicial. Todo lo contrario, tal y como desde la década de los setenta se ha venido sistemáticamente defendiendo. No hay nada equivocado en pretender sustituir el uso de petróleo, carbón y gas natural por energía eólica o solar. El problema tiene que ver con: 1) la aspiración a mantener el mismo nivel de consumo energético (pero ahora apoyado en fuentes renovables) sin tener en cuenta los límites físicos de esa estrategia; 2) el momento en que se quiere llevar a cabo esa transformación (tercer decenio del siglo XXI) con un horizonte temporal muy estrecho para resolver el deterioro ecológico global; y 3) los costes ambientales a los que se enfrenta la generalización de las tecnologías renovables y la electrificación basada en ellas.

Durante los últimos años han aparecido investigaciones que llevan a dudar de las posibilidades de mantener el mismo nivel de consumo energético que en la actualidad, pero con fuentes renovables. Por un lado, se suele olvidar que las tecnologías renovables se centran sobre todo en la electricidad, que suele ser el 20% del consumo energético final. Esto quiere decir que el 80% restante son combustibles líquidos procedentes mayoritariamente de los combustibles fósiles para usos energéticos y no energéticos para los que no hay alternativas sencillas. Una parte de ese consumo tiene que ver con el transporte, y dentro del transporte se ha puesto una especial esperanza en la generalización del coche eléctrico privado.

Sin embargo, el coche eléctrico sigue siendo un bien muy dependiente de los combustibles fósiles y los recursos no renovables: el grueso de la electricidad se sigue generando con combustibles fósiles (en España dos tercios del total y a escala mundial casi tres cuartas partes), lo que hace que el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> sea relativo, y exige la utilización de seis veces más inputs materiales y minerales que un coche convencional.<sup>22</sup> Debido en parte a lo anterior, en análisis de ciclo de vida completo se utiliza un 67% más energía que en la fabricación de un coche convencional.<sup>23</sup> Y todo ello sin contar las exigencias para el sistema eléctrico que dicha generalización tendría en términos de recarga del mismo número de vehículos convencionales que en la actualidad.<sup>24</sup> Eso explica que, lejos de ayudar en

---

<sup>22</sup> IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, IEA, París, 2021.

<sup>23</sup> Pedro Prieto, «Consideraciones sobre la electrificación de los vehículos privados en España», *15/15/15*, 2020. Disponible en: <https://www.15-15-15.org>.

<sup>24</sup> Un simple ejemplo propuesto por Antonio Turiel, (*op.cit.*, p. 145) nos puede ayudar: «Millones de coches duermen en la calle en nuestro país. Para poder recargar esos coches durante la noche haría falta poner un poste eléctrico cada cinco metros de acera aproximadamente. Si fueran postes de 22 KW, como los que quiere instalar el gobierno en las gasolineras, en ciento veinticinco metros de calle habría que tender un cableado

los procesos de descarbonización, la plena sustitución a escala mundial de la flota de vehículos convencionales por eléctricos esté siendo tan lenta y no resuelva los problemas de cambio climático, sino que, fruto del efecto rebote, tienda a agravarlos.<sup>25</sup>

Si la electrificación masiva del transporte privado sin modificar el número de vehículos y desplazamientos resulta problemática, lo que no tiene alternativa eléctrica es el transporte pesado y de mercancías por carretera (camiones) o por barco (que representa el grueso del comercio internacional de mercancías). Por motivos termodinámicos, no es posible colocar baterías en ese tipo de vehículos pues sus dimensiones las harían inviables y, además, como recuerda Vaclav Smil, «las mejores baterías de litio son de 260 Wh por kilogramo. Para un coche puede ser suficiente, pero para el transporte marítimo y por carretera necesitamos 12.600 Wh por kilogramo. Y más aún el queroseno de avión».<sup>26</sup> Es decir, el transporte pesado de aquellas mercancías que se precisan para

**El coche eléctrico exige utilizar seis veces más inputs materiales y minerales que un coche convencional**

el funcionamiento del sistema económico no tienen alternativa eléctrica (ni renovable) con facilidad. Una solución alternativa que se propone en esta faceta es la utilización, como vector energético, del hidrógeno, que tendría la virtud compartida con el petróleo al que pretende sustituir de poder acumularse y transportarse fácilmente. Esta tecnología promete sostener una economía millonaria en las próximas décadas, pero arrojando, sin embargo, numerosas dudas con respecto a su sostenibilidad (procedencia de las fuentes primarias para la electrólisis, consumo de agua, etc.) y rentabilidad energética (la energía obtenida por unidad de energía invertida en el proceso, arrojaría un saldo más bien exiguo).

Por otra parte, la construcción de las propias tecnologías renovables (eólica y solar) es tributaria del consumo de combustibles fósiles ya que la fabricación de placas solares, turbinas y baterías implica alcanzar altas temperaturas en la industria (entre 1.480 y 1.980 °C para los paneles fotovoltaicos y entre 980 y 1.700 °C

---

junto con los postes para poder suministrar más de un megavatio (MW) de potencia. Una ciudad como Madrid, con más de mil kilómetros de calles, necesitaría cableados, subestaciones eléctricas y sistemas de control para disponer de unos 8GW de potencia (es decir, como todas las centrales nucleares de España). Si extrapolamos estos datos para el resto de España, estaríamos hablando de más de 100GW (igual que la capacidad eléctrica máxima de España)».

<sup>25</sup> Ignacio de Blas, Margarita Mediavilla, Iñigo Capellán-Pérez, Carmen Duce, «The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm», *Energy Strategy Reviews*, 32, 100543, 2020.

<sup>26</sup> Vaclav Smil, «Vivimos en un sistema irracional y la Tierra no puede soportarlo. Entrevista», *El Correo*, 27 de agosto de 2021. Disponible en: <https://www.elcorreo.com/>

para el cemento y acero de molinos eólicos) que solo son posibles con el uso de combustibles de alta densidad como el petróleo, el gas o el carbón. La mayoría de las tecnologías renovables solo pueden lograr temperaturas en procesos industriales de calor en la franja baja (menos de 400 °C),<sup>27</sup> por lo que *no es posible fabricar tecnologías renovables con el uso de electricidad procedente de las propias fuentes renovables*, teniendo así que acudir al consumo de combustibles fósiles. Por desgracia, las renovables no poseen autonomía que las haga independientes de los combustibles fósiles.

Si tenemos en cuenta esta dependencia y que, además, estamos en un contexto de *peak-oil* en el que las disponibilidades futuras de combustibles fósiles serán

**Por desgracia, las renovables no poseen autonomía que las haga independientes de los combustibles fósiles**

menguantes, la actual civilización se enfrenta a lo que se ha denominado la “trampa de la energía”,<sup>28</sup> esto es: el despliegue de las fuentes e infraestructuras renovables requiere de un uso masivo de combustibles fósiles (mayor cuanto más rápido se quiera plantear el proceso de transición) y, a la vez,

eso supondrá, durante los primeros años, mayores emisiones de GEI que agravarán el problema de cambio climático en un escenario donde también el tiempo es escaso y donde, además, con vidas útiles de las instalaciones de 20-30 años, en tres décadas estaríamos abocados a procesos de renovación de una intensidad energética similar (y para los que habría dificultades en encontrar recursos fósiles disponibles).

Por si esto fuera poco, el despliegue masivo de las renovables tiene unas consecuencias notables en términos de extracción y uso de minerales no renovables que es preciso evaluar y tener en cuenta.<sup>29</sup> Tal y como ha llamado la atención la Agencia Internacional de la Energía, en un escenario en el que se cumplieran los objetivos del Acuerdo de París, la demanda de minerales para las tecnologías renovables incrementaría el consumo mundial de minerales durante dos décadas en un 40% para el cobre y tierras raras, un 60-70% para el níquel y el cobalto y casi un 90% para el litio, dejando apenas espacio para la

<sup>27</sup> Megan K. Siebert y William E. Rees, «Through the Eye of a Needle: An Eco-Heterodox Perspective on the Renewable Energy Transition», *Energies*, 14(15):4508, 2021.

<sup>28</sup> Eric Zencey, «La energía, el recurso maestro», en: Worldwatch Institute, *La situación del mundo 2013*, Icaria-FUHEM Ecosocial, Barcelona-Madrid, pp. 125-140, 2013.

<sup>29</sup> Alicia Valero, Antonio Valero y Giomar Calvo. *Thanatia. Límites materiales de la transición energética*, Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2021.

utilización de estos minerales para otros usos actuales.<sup>30</sup> Ya se recordó anteriormente que el coche eléctrico requería seis veces más minerales que un coche convencional, lo que explica que la electrificación generalizada del transporte privado generaría una demanda tan alta que llevaría, según estimaciones para diferentes escenarios, al agotamiento de las reservas disponibles de aluminio, cobre, cobalto, litio, manganeso y níquel, no dejando recursos disponibles para otros usos industriales.<sup>31</sup>

Sin embargo, a todos estos obstáculos hay que sumar, tal vez, uno de mayor relevancia. La mayoría de las estrategias de transición energética suelen hacer abstracción del *limitado potencial* (por razones termodinámicas) que poseen realmente las tecnologías renovables y que impiden sustituir al 100% los niveles de consumo energético que se realizan con cargo a los combustibles fósiles. Eso es lo que detectaron De Castro, Mediavilla, Miguel y Frechoso<sup>32</sup> en el caso de la energía eólica, al ver que el potencial renovable con energía eólica estaría aproximadamente en 1 TW, lo que *supondría únicamente el equivalente al 6% del consumo energético primario total mundial*. Y lo mismo en el caso de la energía solar,<sup>33</sup> habida cuenta de que la mayoría de las estimaciones realizadas no suelen tener presentes los límites en la densidad energética fotovoltaica y la competencia que su generalización supone para otros usos de la tierra y de los minerales. En este caso, la estimación de un despliegue sostenible de la energía solar a escala mundial *permitiría abastecer solo hasta un 25% del consumo energético primario actual, lo que supone un porcentaje nada despreciable, pero lejos de los planteamientos 100% renovables realizados habitualmente*.

Todo ello compromete en gran medida el cumplimiento de otros dos criterios exigibles a una fuente energética exitosa en la actual situación: sostenibilidad y viabilidad. Aunque sean renovables, hay dificultad para considerar sostenible su producción *a gran escala para satisfacer los actuales niveles de consumo energético* a la vista del coste ambiental que generan y porque son tributarias de los combustibles fósiles. Esto hace que su viabilidad como fuentes energéticas para la sociedad sea limitada dado que *no son capaces de reproducirse a sí mismas*

<sup>30</sup> La propia Agencia recuerda que la construcción de una planta eólica exige nueve veces más recursos minerales que una planta de gas. IEA, *op.cit.*, 2021, p. 5.

<sup>31</sup> Daniel Pulido Sánchez, Iñigo Capellán-Pérez, Margarita Mediavilla, Carlos de Castro, Fernando Frechoso, «Analysis of the material requirements of global electrical mobility», *DYNA*, Vol. 96, pp. 207 – 213, 2021.

<sup>32</sup> Carlos de Castro, Margarita Mediavilla, Luis Javier Miguel, Fernando Frechoso, «Global wind power potential: Physical and technological limits», *Energy Policy*, núm. 39, pp. 6677–6682, 2011.

<sup>33</sup> Carlos de Castro, Margarita Mediavilla, Luis Javier Miguel, Fernando Frechoso, «Global solar electric potential: A review of their technical and sustainable limits», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 28, pp. 824–835, 2013.

con la misma fuente y, a la vez, dadas sus bajas tasas de retorno energético, tienen problemas para generar un excedente energético amplio con el que alimentar al resto de actividades de la sociedad.<sup>34</sup>

Las anteriores consideraciones no tratan de menospreciar las fuentes energéticas renovables ni las ventajas de utilizar este tipo de tecnologías en la producción y consumo de bienes y servicios en comparación con el uso masivo de combustibles fósiles. Nada de eso. Se han conseguido logros importantes que conviene tener en cuenta. De lo que se trata, más bien, es de acotar las esperanzas en su generalización como forma de enfrentar una crisis energética y de emergencia climática en la tercera década del siglo XXI, y de mostrar las limitaciones de su adopción a gran escala para sustituir el consumo energético que nos proporcionan ahora mismo el petróleo, el gas y el carbón. No parece posible (ni deseable) seguir alimentando la ilusión de una transición indolora desde el punto de vista del consumo energético, cuando lo recomendable sería, a la vista de los datos y la evidencia científica, poner todos los medios y esfuerzos para reducir nuestra producción y consumo acomodándolo a las posibilidades reales que nos ofrecen, precisamente, estas fuentes energéticas renovables.

En definitiva, si no se pueden adecuar los medios a los objetivos (crecimiento) hay que rebajar sustancialmente los objetivos para hacerlos coincidir con los medios disponibles. Se necesita, pues, pensar y poner en marcha escenarios de contracción urgente de la actividad económica y social donde quepa la reducción en el uso de recursos naturales, las emisiones y contaminación, y donde se haga frente a la desigualdad social.

## Reducir la escala y poner en marcha escenarios de post crecimiento<sup>35</sup>

Estas preguntas y desafíos han formado parte de las preocupaciones y reflexiones que, desde el Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas (GEEDS) de

---

<sup>34</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, *Ensayos bioeconómicos*. Los libros de la Catarata (2ª edición), Madrid, 2021. Pedro Prieto, y Charles Hall, *Spain's Photovoltaic Revolution. The Energy Return on Investment*. Springer Verlag, Nueva York, 2013. Megan K. Siebert y William E. Rees, *op.cit.*

<sup>35</sup> Hemos optado por la etiqueta de post crecimiento pues, más allá de polémicas legítimas, podría englobar diversas estrategias que intentan ir más allá del crecimiento (sea convencional o verde). Aquí estarían, las que entran dentro de la categoría del decrecimiento (*degrowth*), los planteamientos de *low-growth* o de bajo crecimiento, las de aquellos que opinan que es preciso distinguir según el país del que estemos hablando respecto de la necesidad o no de aumentar la producción de bienes y servicios, o las de aquellos que consideran que en el futuro habrá actividades que tendrán que aumentar y otras que deberán reducirse radicalmente y, por tanto, el resultado de estas estrategias en términos de crecimiento o decrecimiento del PIB no debería ser lo fundamental.

la Universidad de Valladolid, hemos realizado en torno a las consecuencias para la economía de diferentes escenarios futuros de transición energética. Para ello hemos elaborado el modelo MEDEAS,<sup>36</sup> que es un modelo de evaluación integrada (IAM, por sus siglas en inglés) de energía, economía y cambio climático, con un enfoque de macroeconomía ecológica centrado en la economía mundial y europea, y para el que se está realizando también una extensión al caso de la economía española.

Se trata de un modelo de simulación y evaluación que, metodológicamente, integra de manera novedosa dos técnicas potentes como son la dinámica de sistemas y el análisis input-output, y que tiene en cuenta, entre otros, el contexto internacional y europeo respecto a las *restricciones físicas* sobre la disponibilidad de recursos energéticos no renovables (*peak-oil*), las limitaciones a las emisiones de GEI, el potencial técnico y sostenible de las energías renovables, y la demanda de energía por parte de los diferentes sectores. Se estructura en diferentes módulos (económico, energético, climático, usos del suelo, minerales, etc.) cada uno de ellos interrelacionado con el resto y formando conjuntamente un sistema integrado. En este sentido, la clave es tener en cuenta no solo los consumos energéticos directos e indirectos insertados en el módulo económico, sino también las *realimentaciones* que se producen con otros ámbitos y módulos y que impulsan también el consumo y las emisiones.

**No parece posible (ni deseable) seguir alimentando la ilusión de una transición indolora desde el punto de vista del consumo energético**

Con estos mimbres, se han evaluado, por ejemplo, diferentes escenarios de transición hacia una economía mundial y europea<sup>37</sup> baja en carbono en el horizonte 2030-2050 con resultados muy reveladores.<sup>38</sup> Los tres escenarios considerados son: 1) continuación de las tendencias actuales (BAU, *business as usual*), 2) crecimiento verde (*Green growth*) que supone una apuesta importante por la tecnología, la eficiencia energética y la transición a renovables (electrificación, eólica, fotovoltaica, bioenergía, etc.), con un alto crecimiento de las rentas medias y bajas

<sup>36</sup> Iñigo Capellán-Pérez *et al.*, *op.cit.*, 2020.

<sup>37</sup> Los primeros resultados provisionales obtenidos para el caso de la economía española con el modelo MO-DESLOW (aplicación de MEDEAS a España) apuntan en la misma dirección.

<sup>38</sup> Jaime Nieto, Óscar Carpintero, Luis Fernando Lobejón, Luis Javier Miguel, «An ecological macroeconomics model: The energy transition in the EU», *Energy Policy*, 145, 111726, 2020. Jaime Nieto, Óscar Carpintero, Luis Javier Miguel, Ignacio de Blas, «Macroeconomic modelling under energy constraints: Global low carbon transition scenarios», *Energy Policy*, 137, 11090, 2020.

y un crecimiento medio de las rentas altas, y 3) Post crecimiento (*Post-growth*), que suma a las políticas de eficiencia energética y renovabilidad anteriores, una ligera reducción anual del PIB per cápita, medidas de reducción de la desigualdad, así como de reparto del tiempo de trabajo y, finalmente, una política económica de promoción potente de servicios públicos en detrimento de sectores económicos intensivos en el uso de recursos naturales.

En todos los casos, se plantea la doble variante de suponer qué pasaría con la existencia de límites energéticos y la de suponer qué ocurriría con ausencia de esos límites, y así ver las consecuencias que tienen las diferentes estrategias en términos de evolución de las emisiones de GEI, PIB, empleo, etc. Se trata de determinar, por ejemplo, con qué escenario se garantizaría no sobrepasar los 2 °C de incremento de la temperatura en 2050 (tomando como base la media de emisiones del período 2005-2015, esto supondría reducciones de más del 40% en 2050 respecto de la media 2005-2015). Pues bien, lo que se obtiene de la simulación de los tres escenarios es lo siguiente.

En el caso del BAU, las emisiones mundiales se incrementarían en 2030 y 2050 entre un 25 (2030) y un 8% (2050) (con el supuesto de limitaciones energéticas), o entre un 57 (2030) y un 210% (2050) (si se supone ausencia de limitaciones energéticas). En el escenario *green growth*, y sin limitaciones energéticas, las emisiones se incrementarían entre un 51 (2030) y un 14% (2050). Con la presencia de límites el incremento en 2030, el incremento sería del 14%, y en 2050 se daría una reducción del 16% en las emisiones GEI (al haber comenzado los efectos del despliegue de las renovables, pero lejos todavía del objetivo climático). Por último, en el escenario *post-growth*, por su propia naturaleza, los resultados no se ven apenas influidos por la ausencia o no de limitaciones energéticas, y se producirían unas reducciones de las emisiones *del 13% en 2030 y del 57% en 2050*, lo que permitiría mantener el incremento de la temperatura por debajo de los 2 °C y cumplir el objetivo del Acuerdo de París.<sup>39</sup>

Cabe añadir que los resultados de la simulación realizados para el caso de la UE-28 (teniendo en cuenta las diferentes perspectivas de consumo energético planteadas por la propia Comisión Europea en su *Energy Roadmap 2050*) muestran también que el escenario *post-growth* es el único capaz de satisfacer simultáneamente el despliegue de las renovables con una reducción sustancial del consumo

---

<sup>39</sup> Jaime Nieto et al., *op.cit.*, 2020.

energético y de las emisiones (del 70%), lo que permitiría a la UE cumplir con sus compromisos climáticos. A la vez, las políticas laborales de reducción y reparto del tiempo de trabajo asociadas al escenario *post-growth* servirían para mantener el nivel de empleo.<sup>40</sup>

Con sus limitaciones, estos resultados muestran claramente que, cuando se incorporan las restricciones biofísicas y el estrecho intervalo temporal que tenemos para actuar, en los escenarios BAU y *green growth* el conflicto entre crecimiento económico, políticas para luchar contra el cambio climático y sostenibilidad ambiental está servido. Por otro lado, los escenarios también sugieren que es *mejor hacer algo que no hacer nada*, aunque se pone de manifiesto que el crecimiento económico general no es un modelo alcanzable en un contexto de restricciones energéticas y climáticas, por lo que la modelización macroeconómica no debe estar al margen de este resultado y debería incorporar las restricciones biofísicas en sus análisis.

**El escenario *post-growth* es el único que satisface simultáneamente el despliegue de las renovables con una reducción sustancial del consumo energético y de las emisiones**

Afortunadamente, cada vez más se va abriendo paso la necesidad de incorporar estos escenarios de reducción de la escala económica en los análisis y prospectiva. Así lo han visto de igual manera otros investigadores que han propuesto planteamientos similares en trabajos relevantes recientemente publicados también en importantes revistas científicas internacionales.<sup>41</sup> Se hace, pues, preciso complementar las soluciones tecnológicas (eficiencia, renovables, etc.) con cambios socioeconómicos importantes que inicien pautas de reducción de los consumos, de la movilidad motorizada, con políticas de redistribución de renta riqueza y tiempos, políticas económicas fuertes de gestión de la demanda, de promoción de consumos colectivos, servicios públicos potentes, agricultura ecológica, etc. A pesar de todo, conviene no engañarse. En gran medida, algunas de las políticas asociadas a este escenario de postcrecimiento, y otras relativas al sistema financiero y fiscal que hemos detallado en otros lugares<sup>42</sup> resultan claramente a *contracorriente*,

<sup>40</sup> Jaime Nieto, Óscar Carpintero, Luis Fernando Lobejón, Luis Javier Miguel, «An ecological macroeconomics model: The energy transition in the EU», *Energy Policy*, 145, 111726, 2020.

<sup>41</sup> Simone D'Alessandro *et al.*, *op.cit.* Véase también: Lorenz Keyßer y Manfred Lenzen, «1.5° C Degrowth Scenarios Suggest the Need for New Mitigation Pathways», *Nature Communications*, 12: 2676, 2021.

<sup>42</sup> Óscar Carpintero y Jorge Riechmann, «Pensar la transición: enseñanzas y estrategias económico-ecológicas», *Revista de Economía Crítica*, núm. 16, pp. 45-107, 2013.

cuestionan fuertes intereses, afectan a diferentes ámbitos de actuación (internacional, europeo, nacional o, incluso, local), y por eso será preciso afinar mucho en cada nivel de aplicación.

## A modo de conclusión

El cambio climático es un claro ejemplo de que existen límites a la expansión de la actividad económica y que hemos sobrepasado la capacidad de la biosfera de absorber los GEI sin incrementar la temperatura media del planeta. También sabemos que cuanto mayor sea la escala del sistema económico, mayores serán también las exigencias de energía y materiales y, consecuentemente, de residuos generados. Urge pensar escenarios que vayan en el sentido contrario en términos de exigencias de recursos naturales y contaminación, de consumo y de producción materiales. Una economía que contrae su consumo energético rápidamente –y debe hacerlo muy rápidamente–, difícilmente puede abordar este descenso tan solo a través de la eficiencia (especialmente si se descuenta el efecto rebote). Necesitamos recursos materiales y sociales que permitan avanzar en diseñar estos escenarios y en plantear con rigor políticas económicas y prácticas sociales que los puedan llevar a cabo.

**Óscar Carpintero Redondo y Jaime Nieto Vega** forman parte del Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas (GEEDS) y del Departamento de Economía Aplicada de la Universidad de Valladolid

---

