

# La asombrosa capacidad del ser humano para transformar el mundo (y las consecuencias de no controlarla)

Valladares, F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC)

## Abstract

Estamos, literal y figuradamente con el agua al cuello. Seis de los nueve límites planetarios que la ciencia ha establecido como condiciones físicas, químicas y biológicas imprescindibles para una vida segura de la especie humana han sido reventados. Hablamos de cambio climático, de pérdida de biodiversidad, de contaminación y de agua dulce. Sabemos como resolver los problemas que nos aquejan y seis de los siete actores necesarios para cambiarlo todo, están activados. Pero no terminamos de cambiar de rumbo. Llevamos décadas sin apenas responder y hemos entrado en la era de las consecuencias. Un ejemplo claro es la crisis climática, que puede entenderse como una consecuencia de la globalización. Otro ejemplo son las pandemias, muchas de las cuales, como la Covid-19, pueden entenderse como una consecuencia de la degradación ambiental y la pérdida de biodiversidad. La basura espacial que como la basura en la Tierra nos complica, encarece y limita las acciones más esenciales y básicas. La negación de este conocimiento, que aún se observa en muchos debates públicos, está retrasando la aplicación de soluciones urgentes y necesarias. Hace tiempo que la ciencia pasó de la investigación a la advertencia. Para muchos ha llegado el tiempo de que la ciencia pase de la advertencia a la acción. Toca migrar de la amabilidad a la insistencia.

## 1 Introduction

La humanidad ha sido capaz de realizar hazañas increíbles: hemos construido civilizaciones avanzadas, desarrollado tecnologías que desafían la imaginación y modificado el entorno para satisfacer mucho más que nuestras necesidades: nuestros deseos. En este proceso hemos alterado aspectos esenciales del sistema planetario, a menudo sin siquiera buscarlo. Este artículo explora cómo estos cambios han sido a la vez logros impresionantes y señales de alarma sobre nuestro impacto en la Tierra. Nos enfrentamos a una pregunta fundamental: ¿seremos capaces de utilizar nuestra capacidad para crear un futuro sostenible o caeremos en

una crisis civilizatoria sin retorno?

## 2 La increíble influencia humana en el planeta y más allá

La humanidad ha demostrado ser capaz de modificar sistemas naturales a una escala que antes sólo atribuíamos a los dioses y titanes de la mitología. Sin embargo, estas acciones a menudo tienen repercusiones no deseadas. Sin proponérselo, algunas de nuestras obras de ingeniería más grandes, como la presa de las Tres Gargantas en China, han cambiado el centro de gravedad de la Tierra. Este cambio, aunque pequeño, ha afectado la inclinación del eje terrestre, ralentizando ligeramente su rotación, haciendo que el planeta vaya algo más despacio y los días sean un poco más largos. Pero no ha sido la única vez, también la extracción masiva de agua subterránea, sobre todo para la agricultura, ha modificado el centro de gravedad del planeta, provocando sutiles efectos que revelan hasta qué punto nuestras acciones se reflejan en el sistema planetario. Y por tercera vez, hemos cambiado el eje de inclinación a la Tierra, en este caso a través del cambio climático. El calentamiento provocó una fusión de los glaciares, sobre todo del permafrost y del hielo situado en latitudes muy al norte y una vez que ese hielo se funde discurre por los ríos hacia zonas más subtropicales, cambiando de nuevo el eje del planeta [3].

No es el único cambio global. Por ejemplo, nuestras emisiones de gases de efecto invernadero han hecho que la estratosfera se contraiga. Desde 1980, su grosor se ha reducido en aproximadamente 400 metros y podría reducirse en otro kilómetro para 2080 [12]. Este fenómeno afecta al funcionamiento de los satélites, la vida orbital, los sistemas de navegación GPS y a las comunicaciones por radio. El aumento de la tropopausa, el límite entre la troposfera y la estratosfera, se considera una de las huellas más sólidas del cambio climático de origen humano. Además, su corto tiempo de aparición (menos de 15 años) lo convierte en un indicador novedoso e independiente del cambio climático inducido por los humanos.

Nuestra manera de proyectar el modelo de civilización al espacio se ve reflejada en la basura espacial que es una imagen de una civilización que lo primero que hace es generar desechos. La basura no existe en los sistemas naturales. La basura es un concepto humano. La basura es algo que no sirve porque los seres humanos no dedicamos tiempo a reusarlos o reciclarlos, o no sabemos cómo hacerlo. Más de cinco toneladas de basura espacial repartidas en más de 50.000 objetos de más de un cm generan colisiones e incrementan los costes de las misiones. El conocido como síndrome de Kessler describe una situación en la que la densidad de objetos en la órbita terrestre baja es tal que las colisiones entre ellos generan una reacción en cadena, produciendo más y más desechos. Esto aumenta el riesgo de colisiones futuras, lo que podría llegar a inutilizar ciertas órbitas y dificultar el acceso seguro al espacio [9]. Además, como bien saben los astrónomos, en nuestra civilización proyectamos fotones y contaminamos el mismo objeto de investigación que es el cielo que idealmente es oscuro.

### 3 El cambio climático y su efecto en los ecosistemas marinos

Los océanos, como eje fundamental del sistema climático, han absorbido el impacto del cambio climático de maneras profundas y alarmantes. El desbordamiento marino, es decir, el tiempo que el mar permanece fuera de su cuenca, crece más rápido que el nivel del mar. El desbordamiento marino en zonas costeras se debe no sólo a la subida del nivel del mar con el cambio climático sino al efecto combinado de cambios en el oleaje, en las mareas, las tormentas (marejadas ciclónicas) y la presión atmosférica. Por ello, el número de horas de desbordamiento marino crece exponencialmente con la subida del nivel del mar. En el peor de los escenarios de emisiones (RCP 8.5), [1] estiman que el número de horas anuales de desbordamiento marino se multiplicará por 50 en las próximas décadas. Para comprender el impacto, por ejemplo, tengamos en cuenta que el 80% de los puertos españoles no fueron construidos para soportar estos niveles crecientes de desbordamiento. Durante décadas, los océanos han absorbido el exceso de calor de la atmósfera, acumulando una cantidad de energía tan alta que, si se liberara de golpe, podría destruir ciudades enteras. Estos océanos sobrecalentados son una bomba de tiempo en términos de biodiversidad marina, fenómenos climáticos extremos y sistemas de subsistencia humana que dependen del ecosistema marino. Hay interacciones planetarias esenciales que han sustentado ecosistemas durante milenios y que ahora están en peligro debido al cambio climático. La selva amazónica depende de un flujo de nutrientes vital que proviene del polvo del Sahara. Este ciclo ha sostenido la biodiversidad y fertilidad del suelo del Amazonas durante mucho tiempo. Sin embargo, el cambio climático está alterando este proceso. El calentamiento del mar y unos alisios más flojos están interrumpiendo este proceso planetario clave. La interrupción de este flujo podría reducir la fertilidad del Amazonas, impactando su papel como "pulmón del planeta" y desencadenando consecuencias desconocidas para el clima global. Si no se frena el cambio climático, el aporte de polvo sahariano disminuiría un 30% en tres décadas según los cálculos de [14].

### 4 Desbalances planetarios

El ser humano ha hecho cosas increíbles. Lo sorprendente es que la mayoría las hemos hecho sin querer. Una de las cosas más importantes que hemos hecho es llegar a ser más de 8000 millones de personas. Desde el punto de vista ecológico el éxito de una especie se mide por su número. El problema son las consecuencias de llegar a este número. En primer lugar, hemos reventado los ciclos de la materia y la energía (especialmente del C, del H<sub>2</sub>O y del N), explotando en semanas recursos que tardaron millones de años en formarse. En segundo lugar, hemos tomado prestado los recursos de las generaciones futuras (la hipoteca ecológica transgeneracional). Necesitamos dos planetas y medio para sobrevivir pero sólo tenemos uno. Si lo hablamos en términos de capital, nos hemos comido los intereses más o menos para el mes de mayo de cada año; y del mes de mayo a diciembre vivimos del capital acumulado durante miles de años. Para mantener el ritmo de consumo, hemos recurrido a un uso desmesurado de recursos naturales, hipotecando el bienestar de las generaciones futuras [5]. No podemos esperar a que la tierra se deshaga de nuestra basura ni a que la tierra nos dé los recursos que necesitamos cada año y nos vamos endeudando, pasándole la deuda a nuestros

hijos. Por ejemplo, el agua que se utiliza en Málaga para hacer aguacates no es ni de Málaga, ni de los malagueños y malagueñas de ahora, era agua que le tocaba a los hijos o nietos y se ha gastado en hacer aguacates ahora. El aguacate es un cultivo tropical que necesita 1700 l de agua por kilo. Difícil de explicar. Nos hemos convertido en una sociedad que vive de "préstamos" naturales, que nunca podremos reembolsar. Por tanto, estamos literalmente cavando nuestra tumba sino nos reorientamos radicalmente hacia una sostenibilidad real.

## 5 El auge de la antropomasa y la pérdida de biomasa

En el instituto de resiliencia de Estocolmo (<https://www.stockholmresilience.org/>), Nyström et al (2019 Nature) concluyen que hemos convertido un planeta vivo (que es la única característica radicalmente diferencial de nuestro planeta) en un sistema masivo de producción global. En 2020, la "antropomasa" —la masa de todos los objetos artificiales creados por el ser humano— superó por primera vez a la biomasa natural ([4], ver Fig. 1). Este cambio es simbólicamente inquietante: la Tierra ha pasado de ser un planeta dominado por la vida a uno en el que los artefactos humanos superan a la naturaleza en masa. La biodiversidad global, en declive, es reemplazada lentamente por cemento, plásticos y tecnología, con efectos profundos en el equilibrio de los ecosistemas. La biosfera ya no está caracterizada por la vida sino por la antropomasa.

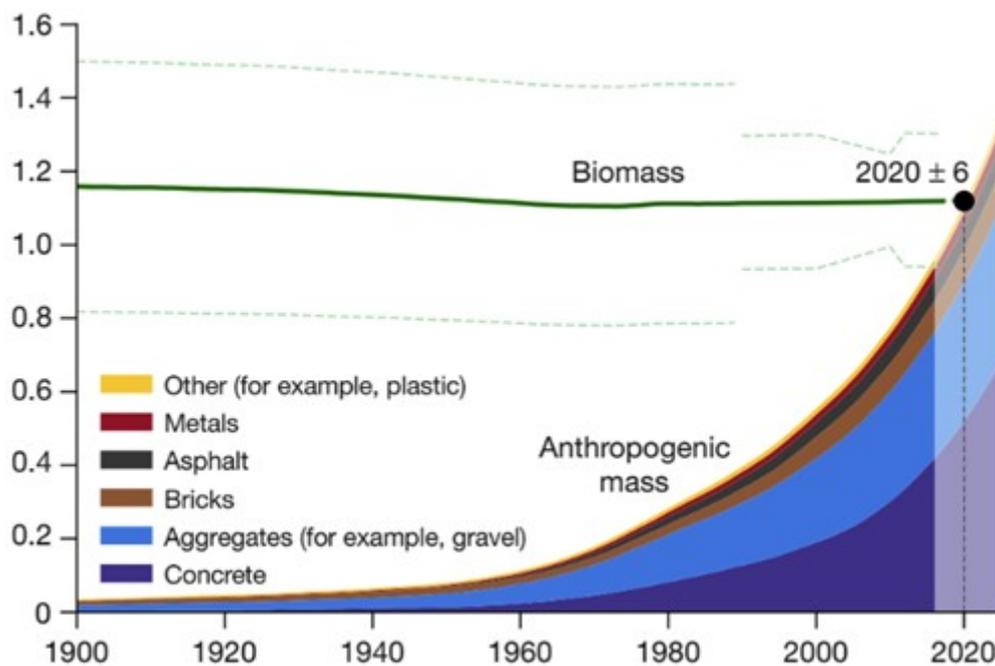


Figure 1: Masa en Teratoneladas frente al tiempo [4].

## 6 Desigualdad, límites planetarios traspasados y efectos en cascada sobre nuestra esperanza de vida

El impacto del cambio climático se distribuye de manera desigual, afectando de forma desproporcionada a quienes menos contribuyen a él. El 10 % más rico de la población genera la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que las comunidades pobres y vulnerables son las más afectadas por sus efectos. Además, los países con mayores desigualdades sociales demandan más energía para sostener sus economías, exacerbando el problema del cambio climático. Las sociedades con altos niveles de desigualdad requieren en general el doble de energía para sostener su estructura económica, amplificando el problema del cambio climático [7]. La civilización moderna es una gran paradoja ya que es sensible y vulnerable, y no parece seamos consciente de esta vulnerabilidad a tenor de nuestro comportamiento ambiental. Seguimos rompiendo límites planetarios que son, precisamente, las condiciones físicas químicas y biológicas necesarias para nuestra vida —desde la disponibilidad de agua dulce hasta la biodiversidad o una atmósfera relativamente limpia— lo cual pone en peligro nuestra supervivencia a largo plazo. En apenas unos años, siete de los nueve límites planetarios requeridos por la humanidad se han ido traspasando. Durante el siglo XX la esperanza de vida de la humanidad se ha duplicado, empezó con 40 años y terminó con 80. Es un logro tremendo de la medicina y de la sociedad en su conjunto. Pero actualmente, la esperanza de vida está estancada tendiendo ligeramente a decrecer lo cual estadísticamente viene a decir que nuestros hijos vivirán menos que nosotros.

Solo por contaminación atmosférica, por ejemplo, hay nueve millones de muertes prematuras al año. Como comparación, la covid-19, mayor pandemia reciente que ha sufrido la humanidad, dio lugar a casi ocho millones de muertes después de dos años y medio.

El cambio climático afecta a nuestra salud de múltiples formas, desde efectos sobre enfermedades infecciosas de origen tropical, efectos sobre el agua, el aire, la disponibilidad de alimentos y las pandemias. Nadie sabe cuándo será la próxima pandemia, dónde ocurrirá ni cuál será el agente infeccioso, pero lo que sí sabemos es que la mayoría de los factores que aumentan la probabilidad de que ocurran y amplifican su extensión y virulencia son ambientales. Por ejemplo, [10] demostraron que la mitad de las enfermedades infecciosas, más de 1000 de ellas, están viéndose amplificadas por el cambio climático.

La carne roja mata cada año un millón de personas por consumo excesivo. Básicamente el consumo de carne roja es proporcional al producto interior bruto (PIB) de los países y crece con él a medida que crece el PIB, excepto en la India que es la excepción que confirma que se puede vivir bien sin comer tanta carne roja. De hecho, la producción industrial de carne nos mata de muchas maneras (contaminación del suelo y del agua, amplificación del cambio climático, generación de resistencia bacteriana) cuando toda esa producción y consumo de carne ni hace falta ni es buena para la salud ni planetaria ni de las personas.

Los desastres no ocurren por separado, no podemos poner el foco solo en el cambio climático, en las pandemias, en la contaminación, en la pérdida de diversidad... ocurre todo a la vez. Y el propio cambio climático tiene toda una serie de efectos en cascada que empieza por el calentamiento de la atmósfera y la subida del nivel del mar y acaba en la

desigualdad económica, la fragilidad de los estados y las tensiones geopolíticas (Fig. 2).

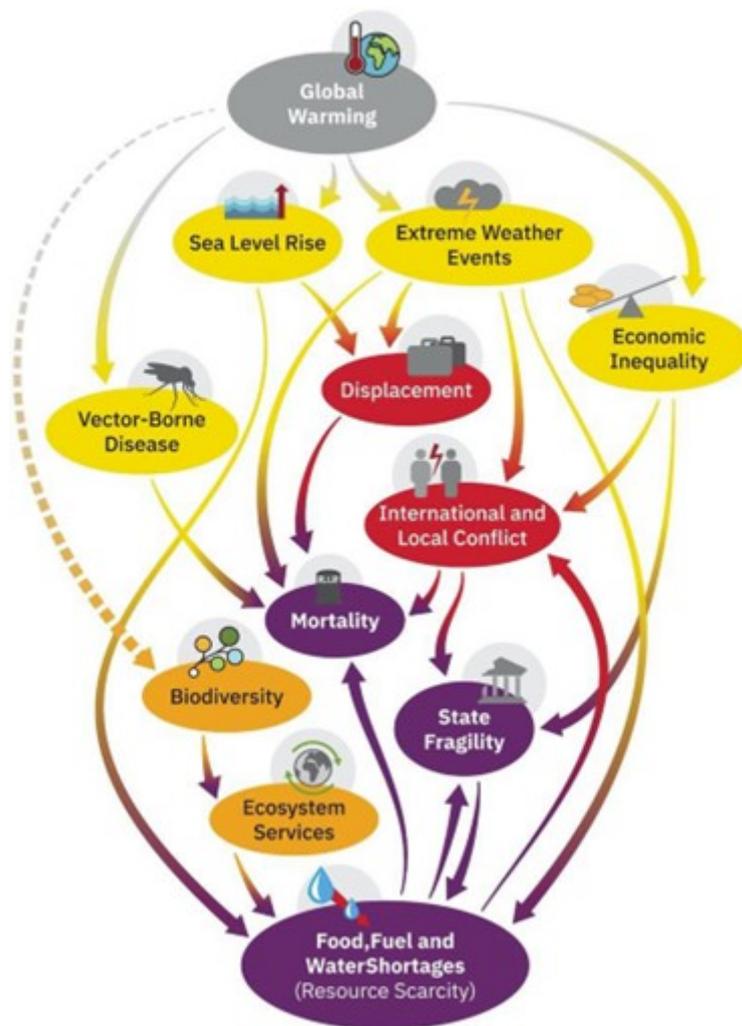


Figure 2: Colapso climático por efectos en cascada. —[8].

Granada, sede de la XVI Reunión Científica de la Sociedad Española de Astronomía, está entre las ocho ciudades españolas que la NASA ha calculado que serán inhabitables para mediados de siglo, junto con Madrid, Valencia, Alicante, Córdoba, Sevilla, Málaga y Almería. Una ciudad inhabitable se considera aquella en la que hay al menos tres meses seguidos por encima de 35 grados. En la Fig. 3, se ve la evolución temporal de los desastres naturales inducidos o amplificadas por el cambio climático que han costado más de mil millones de dólares por evento. En Estados Unidos ya tienen lugar más de 25 desastres anuales y está creciendo prácticamente de forma exponencial. De lo que podemos estar seguros es de que no tenemos dinero para hacer frente a esto, algo que no hará sino incrementar la deuda transgeneracional. Las agencias de seguros de la costa oeste de Estados Unidos, sobre todo en California, no han podido pagar los seguros millonarios de las casas de lujo que se quemaron

todas casi a la vez. Pero por supuesto, es mucho peor en países como Pakistán o Nicaragua donde no hay ni un inventario completo de bienes ni una estima precisa de los daños materiales que tienen lugar debido a un cambio climático acelerado. No tenemos dinero para hacernos cargo de lo que ya está ocurriendo con el cambio climático.

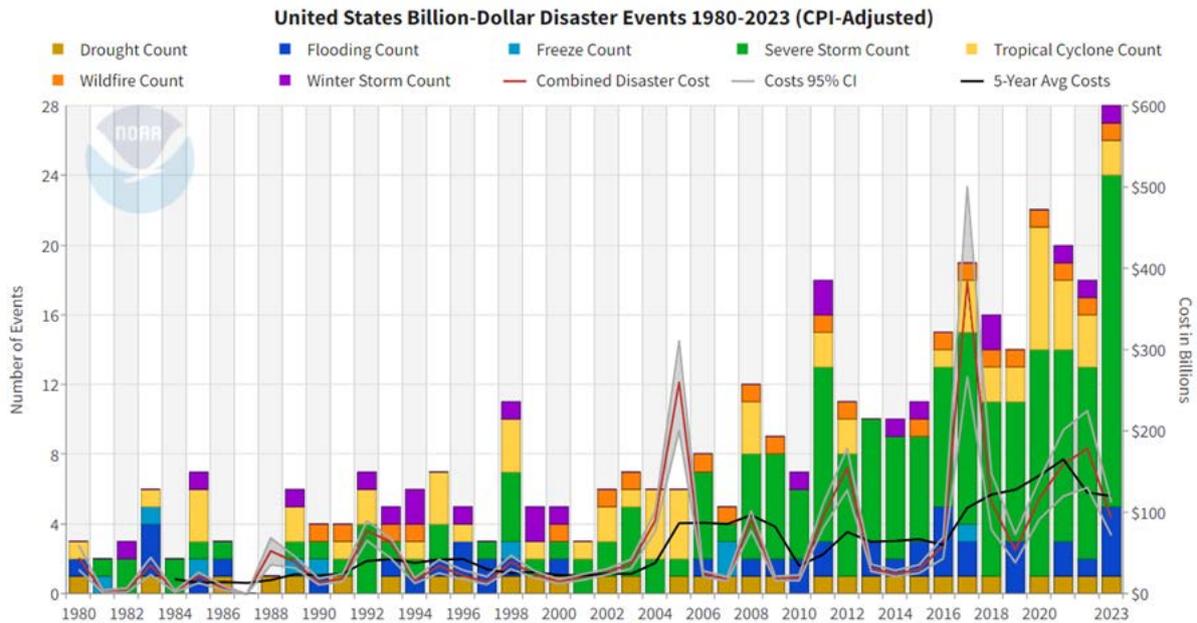


Figure 3: Número de desastres de más de mil millones de dolares por evento en los EEUU (NOAA National Centers for Environmental Information, NCEI)

Todos los años mueren 125,000 personas de forma directa en los conflictos, a lo que hay que sumarle 100,000 bebés y otros 400,000 civiles que fallecen de forma indirecta. Esto da una suma de aproximadamente medio millón de personas que mueren cada año en conflictos bélicos. Son muertes que nos impresionan mucho. Tanto es así que dedicamos un 6 % del producto interior bruto mundial a defendernos de la violencia. Pero representan en realidad un veinteavo de las personas que mueren por el cambio climático, al que destinamos un tercio del dinero asignado al armamento y la guerra. Nuestro cerebro primitivo parece no detectar el riesgo que hay en el cambio climático porque matando 20 veces más le destinamos un tercio del dinero.

## 7 Un futuro en tensión: soluciones, retos y necesidad de cambio

Nadie quiso calentar la atmósfera, provocar la sexta gran extinción, hacer los días más largos, cambiar la inclinación de la Tierra, llenar de plástico el planeta, dejar a un tercio de la humanidad sin agua o encoger la estratósfera. Pero no podemos ignorar que lo hemos

hecho. La ciencia comprende bien dónde estamos y cómo hemos llegado hasta aquí. Para cambiar las cosas hay, primero, que entenderlas. La ciencia no puede quedarse mirando. La astronomía puede ayudarnos a poner todo esto en perspectiva, y la física a aterrizar las leyes de la termodinámica. Pasar de un sistema basado en la competencia a uno basado en la colaboración es la salida óptima con una mirada termodinámica. La astronomía tiene tareas propias con la basura espacial, la contaminación lumínica y la disminución de la huella ambiental de sus proyectos y actividades. Pero todos los científicos debemos colaborar en la divulgación del problema. La comunidad científica ha hecho llamados urgentes para tomar medidas, medidas que requieren de una transformación radical en nuestra economía y estilo de vida. Por ejemplo, alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 1 de las Naciones Unidas, que consiste en sacar a más de mil millones de personas de la pobreza, es compatible con la mitigación del cambio climático. Tal como calculan [2] combinar ambos objetivos es posible si los países desarrollados acompañan a los más desfavorecidos para que no pasen por la senda de industrialización contaminante seguida por los países que son más ricos hoy. Sólo hace falta ceder tecnología. Este estudio indica que sacar a 1.100 millones de personas de la pobreza es factible incrementando sólo un 1,6 % las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las exitosas medidas del protocolo de Montreal (1987) sirvieron para recuperar la capa de ozono amenazada por compuestos de la familia de los CFCs. Al prohibirlos no solo se protegió la capa de ozono y con ello nuestra salud, sino que se atenuó el calentamiento global. [13] han estimado que la disminución de la radiación ultravioleta gracias a la recuperación del ozono estratosférico ha permitido a las plantas y a los ecosistemas evitar daños y poder almacenar más carbono y compensar una parte de nuestras emisiones de gases de efecto invernadero. Sin el protocolo, la temperatura a final de siglo sería 2 °C más cálida por una mayor cantidad de gases de efecto invernadero, y una menor capacidad de la vegetación de fijar el carbono atmosférico. Cuando se hacen bien las cosas también hay cascadas de efectos positivos.

Las necesidades energéticas del ser humano son muy bajas [6] emplearon nueve indicadores de bienestar humano que se toman estándar y concluyó que un consumo de energía superior a unos 75 gigajulios por persona y no lleva a un mayor bienestar. El mundo no necesita una expansión masiva de las infraestructuras energéticas más limpias, pero una reducción de la producción y consumo global de energía para quedarnos dentro de los límites planetarios, en la zona segura para la humanidad. La energía sólo necesita ser distribuida de forma más equitativa. Esos 75 gigajulios por persona y año es la mitad de la energía que se produce y se consume en España; un tercio de la que se produce y se consume en Europa; y la quinta parte de lo que se consume y se produce en Estados Unidos. Hay, por tanto, margen para adecuar nuestro consumo y nuestra producción de energía. La sostenibilidad requiere un cambio de paradigma, que pase de una economía de crecimiento perpetuo a una que priorice el bienestar humano dentro de los límites planetarios [11].

## **8 Conclusión: una llamada a la acción**

Ante la crisis climática, más de 15,000 científicos de 161 países han firmado múltiples informes en los que se destaca la urgencia de actuar. Los expertos proponen soluciones basadas en reducir la dependencia de los combustibles fósiles, pero la implementación de estas y otras

medidas necesita la voluntad política y social para cambiar nuestra forma de vivir. Rebelión científica es un movimiento de científicos de 25 países, más o menos conectados, sin una organización determinada ni una financiación específica, pero que hacen campaña por el decrecimiento, la justicia climática y una mitigación más eficaz del cambio climático. Es una red de académicos que trata de crear conciencia a través de la desobediencia civil no violenta. Quizás no sea lo que hay que hacer, pero desde luego solamente escribir artículos de prensa o crear documentales maravillosos no parece ser suficiente.

La humanidad ha logrado avances extraordinarios, pero estos logros vienen acompañados de una serie de desafíos existenciales. La ciencia nos proporciona las herramientas para entender las consecuencias de nuestros actos y nos indica posibles caminos para mitigar los daños y construir un futuro más equilibrado. Sin embargo, estas herramientas sólo serán útiles si las aplicamos con urgencia y determinación. Parfraseando a Albert Einstein: “aquellos que tienen el privilegio de saber, tienen la obligación de actuar”. Este es el momento de actuar para salvar lo que aún podemos salvar, y construir un legado positivo para las generaciones venideras.

## References

- [1] Almar, R.; Ranasinghe, R.; Bergsma, E.W.J.; Diaz, H.; Melet, A.; Papa, F.; Voudoukas, M.; Athanasiou, P.; Dada, O.; Almeida, L.P.; and Kestenare, E. 2021, *Nat Commun* 12, 3775. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24008-9>
- [2] Bruckner, B.; Hubacek, K.; Shan, Y.; Zhong, H.; and Feng, K. 20220. *Nature Sustainability* 5, 311–320. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00842-z>
- [3] Deng, S.; Liu, S.; Mo, X.; Jiang, L.; Bauer-Gottwein, P. 2021, *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL092114, <https://doi.org/10.1029/2020GL092114>
- [4] Elhacham, E.; Ben-Uri, L.; Grozovski, J.; Bar-On, Y.M.; and Milo, R. 2020, *Nature* 588, 442–444. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>
- [5] Jackson, R.B.; Saunio, A.M.; Bousquet, P.; Canadell, J.G.; Poulter, B.; Stavert, A.R.; Bergamaschi, P.; Niwa, Y.; Segers, A.; and Tsuruta, A. 2020 *Environ. Res. Lett.* 15, 071002, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9ed2>
- [6] Jackson, R.B.; Ahlström, A.; Hugelius, G.; Wang, C.; Porporato, A.; Ramaswami, A.; Roy, J.; Yin, J. 2022. *Ecosphere* 13, e3978. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3978>
- [7] Kemp, C.E., and Ravikumar, A.P. 2021, *Environmental Science & Technology*, 55, 9140. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03071>
- [8] Kemp, L.; Xu, C.; Depledge, J.; Ebi, K.L.; Gibbins, G.; Kohler, T.A.; Rockström, J.; Scheffer, M.; Schellnhuber, H.J.; Steffen, W.; and Lenton, T.M. 2022, *PNAS* 119 (34) e2108146119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>
- [9] Kessler, D.J.; Cour-Palais, B.G. 1978, *Journal of Geophysical Research* 83, 2637-2646. <https://doi.org/10.1029/JA083iA06p02637>
- [10] Mora, C.; McKenzie, T.; Gaw, I.M.; Dean, J.M.; von Hammerstein, H.; Knudson, T.A.; Setter, R.O.; Smith, C.Z.; Webster, K.M.; Patz, J.A.; Franklin, E.C. 2022, *Nature Climate Change* 12, 869–875. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01426-1>

- [11] Nyström, M.; Jouffray, J.-B.; Norström, A.V.; Crona, B.; Søgaard Jørgensen, P.; Carpenter, S.R.; Bodin, O.; Galaz, V.; Folke, C. 2019, *Nature* 575, 98–108. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1712-3>
- [12] Pisoft, P.; Petr Sacha, P.; Polvani, L.M.; Añel, J.A.; de la Torre, L.; Eichinger, R.; Foelsche, U.; Huszar, P.; Jacobi, C.; Karlicky, J.; Kuchar, A.; Miksovsky, J.; Zak, M.; and Rieder, H.E. 2021 *Environ. Res. Lett.* 16, 064038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfe2b>
- [13] Young, P.J.; Harper, A.B.; Huntingford, C.; Paul, N.G.; Morgenstern, O.; Newman, P.A.; Oman, L.D.; Madronich, S.; Garcia, R.R. 2021, *Nature* 596, 384–388. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03737-3>
- [14] Yuan, T.; Yu, H.; Chin, M.; Remer, L.A.; McGee, D.; Evan, A. 2020 *Geophysical Research Letters* 47,e2020GL089711 <https://doi.org/10.1029/2020GL089711>