

LA COLONIZACIÓN ESPACIAL COMO SÍNTOMA

Asier Arias Domínguez

Universidad Complutense de Madrid
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2338-3206>
asarias@ucm.es

Cómo citar este artículo/Citation: Arias Domínguez, Asier (2024). La colonización espacial como síntoma. *Arbor*, 200(811): 2701. <https://doi.org/10.3989/arbor.2024.811.2701>

Recibido: 18 mayo 2023. Aceptado: 7 febrero 2024
Publicado: 30 septiembre 2024

RESUMEN: Empleamos en este artículo los proyectos de colonización espacial como pretexto para la reflexión en torno a la naturaleza del marco cultural dominante. Ese marco cultural, en el que dichos proyectos cobran pleno sentido, encuentra un difícil encaje en nuestro momento histórico: mientras aquél apuesta a la carta tecnocientífica la solución de cuantos problemas puedan presentársenos, en éste se hace progresivamente manifiesta la desproporción entre el alcance de esa carta y la profundidad de los abismos que en las últimas décadas ha abierto la extralimitación material de nuestras economías. Nos aproximamos a esa desproporción a través de la curva de Hubbert y la valoración exergética de la disponibilidad de recursos, comprobando al hacerlo que la actual coyuntura de la civilización industrial guarda inquietantes semejanzas con la clave de bóveda de la solución a la paradoja de Fermi recientemente ensayada desde la astrobiología del Antropoceno. Sostenemos finalmente que, con independencia de la adecuación empírica de esta propuesta teórica, cabe rastrear en esas semejanzas decisivas orientaciones para el análisis de importantes deficiencias del marco cultural dominante.

Palabras clave: colonización espacial; tecnolatría; crisis ecosocial; límites planetarios; Antropoceno

SPACE COLONIZATION AS A SYMPTOM

Copyright: © 2024 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución *Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)*.

ABSTRACT: This paper utilizes space colonization projects as a lens to contemplate the prevailing cultural framework. This framework imbues these projects with sense and meaning, yet it exhibits a misalignment with the material conditions that define our current historical context. While that cultural framework relies on a technological approach to address any problem that may arise, a growing disparity is becoming increasingly evident between the scope of this approach and the depth of the social and environmental issues that have emerged over recent decades due to the ecological overshoot of our economies. We explore this disproportion through the Hubbert curve and the thermodynamic evaluation of resource availability, thus verifying that the current state of industrial civilization bears disquieting similarities to the keystone in the solution to the Fermi paradox recently explored in the astrobiology of the Anthropocene. Finally, we argue that, regardless of the empirical adequacy of this theoretical proposal, it is feasible to identify in these similarities orientations for analysing significant deficiencies in the prevailing cultural framework.

Keywords: space colonization; technolatrý; ecological crisis; planetary boundaries; Anthropocene

1. COLONIZACIÓN ESPACIAL Y TECNOLATRÍA

Dedicamos las páginas que subsiguen a abrir un espacio en el que cobre sentido la pregunta por las taras culturales que nos permiten contemplar hoy la idea de la colonización espacial sin que nos atraviese la duda cómica o el pasmo moral que expresan frases del tipo *¿estás hablando en serio?*¹. Marte es el principal objeto de especulación acerca de las posibilidades de la colonización espacial. Después de todo, se nos dice, «conquistar el planeta rojo es uno de los grandes objetivos comunes de la humanidad», con la nota de fondo de capacitar a las «compañías privadas para hacer cosas increíbles» (Ansede, 2022). La NASA sugería en 2015 que en la década de 2030 podría haber ya colonias humanas en Marte (NASA, 2015), y Elon Musk vaticinaba por aquel mismo entonces que esas colonias no tardarían en acoger a una población de un millón de personas.

Conviene anotar en este punto que los «elaborados trucos de marketing enmascarados de idealismo humanitario» con los que los «capitalistas espaciales» fomentan esta clase de expectativas ofrecen una cobertura legitimadora para la violación del derecho internacional que supone la privatización del espacio, y asimismo para el ingente caudal de recursos que el contribuyente pone en sus manos (Shammas y Holen, 2019), habilitando proyectos tan idealistas y humanitarios como el transporte masivo y ultrarrápido de armamento (Bloom y Acosta, 2021). En este contexto, la privatización del espacio haría las veces del definitivo «arreglo espacial» (Harvey, 1982), que vendría a «liberar al capital de sus ataduras terrenales» (Shammas y Holen, 2019). Jean-Jacques Tortora, director del *think tank* Instituto Europeo de Política Espacial, explica con sutil concisión el significado del desprecio por el Tratado del Espacio Ultraterrestre (1967) ante la disponibilidad del espacio para la explotación privada: «la vida evoluciona y el derecho puede quedarse desfasado» (Rizzi, 2022); lo ideal, por tanto, sería «renovar y revitalizar» estos tratados para acompañarlos con las necesidades de los capitalistas espaciales (Gregg, 2021, p. 201). Si el referido Tratado establecía que el espacio ultraterrestre y sus recursos son Patrimonio Común de la Humanidad, y prescribía que la exploración del espacio debiera realizarse en beneficio e interés de todos los países y ser competencia de toda la humanidad, el Departamento de Comercio de Estados Unidos creaba en 1988 la Office of Space Commerce, con la misión de fomentar las condiciones para el crecimiento económico y el avance tecnológico de la industria espacial comercial estadounidense. Desde entonces, sucesivas iniciativas legislativas estadounidenses han prolongado el proyecto de «crear un marco jurídico que permita la explotación [privada] de los recursos del espacio exterior» (D'Eramo, 2022; Movilla Pateiro, 2023).

Si descendemos del plano de los trucos de marketing y las maniobras legislativas al de las posibilidades materiales, comprobamos que el proyecto de colonizar Marte entraña, desde luego, serias dificultades. Sólo el amortizaje requeriría, para el caso de naves pesadas –imprescindibles para cualquier proyecto de colonización–, la implementación de técnicas hoy embrionarias y dependientes del comportamiento de sistemas complejos que estamos lejos de poder modelizar con garantías, como la retropropulsión supersónica. Por supuesto, los problemas técnicos no se limitan al amortizaje: haría falta, por ejemplo, disponer los medios para la reutilización de naves y propulsores, para retornarlos a la Tierra desde Marte o para repostar en órbita. Otra «cuestión que también tiene cierta importancia y no está resuelta es la de conseguir que los viajeros lleguen vivos» (Herrero, 2021).

Con todo, en nuestro marco cultural, cada una de esas dificultades sirve sólo para proyectar nuestra fantasía hacia las etapas posteriores a su eventual solución, con el objetivo final de terraformar Marte. Nuevamente, las dificultades que implicaría semejante empresa no conducen sino a un guión tras otro de ciencia ficción dura². El primer obstáculo que han de salvar estos guiones de terraformación reside en que Marte apenas tiene atmósfera,

1 Empleamos aquí la noción de marco cultural para referirnos al conjunto de temas, actitudes y enfoques que, siendo por una parte admisibles en el debate público y los medios dirigidos a las élites educadas (Herman y Chomsky, 1988; Chomsky, 1989), forman además parte de esa mente social del sentido común gramsciano o el imaginario colectivo moriniano. Así, y en relación a los extremos de los que aquí nos ocuparemos, la pregunta «¿puede algo análogo a la publicitada Cuarta Revolución Industrial extenderse a una proporción apreciable de la población actual y las generaciones futuras?» apenas puede formularse en nuestro marco cultural, y en las raras ocasiones en las que lo hace, el espectro de actitudes y opiniones expresables no logra abarcar mucho más allá de un conciso «sí, durante millones de años» (Zamora Bonilla, 2021). Existen temas de una relevancia material y moral de tal magnitud que esta clase de inserción en un marco cultural dado debe considerarse como un síntoma de una tara cultural suya –esto es, como un aspecto de ese marco por el cual la sociedad que lo encarna corre el riesgo de hacerse culpable de graves daños materiales y morales.

2 Acerca de la construcción del imaginario de la exploración espacial en la ciencia ficción, ver Moreno en este volumen.

y la poca que le queda la pierde a un ritmo constante (de aproximadamente un kilo cada 10 segundos) a causa de su escasa atracción gravitatoria. Pero esta escasa atracción gravitatoria no es el principal problema de la tenue atmósfera marciana: el flujo de partículas cargadas constantemente emitidas por el Sol arrastra consigo lo poco que queda de la atmósfera marciana porque el planeta carece de un campo magnético capaz de desviar ese flujo.

Si se pretende proveer a Marte de una atmósfera, primero hay que dotar al planeta de un campo magnético. ¿Es esto posible? En nuestro marco cultural, la respuesta automática es que sí: cuanto se hace necesario es el consabido guión. En uno de entre los más recientes, los físicos estadounidenses Marcus DuPont y Jeremiah Murphy nos explicaban cómo generar un campo magnético para Marte rodeando el planeta con un cable superconductor de un millón de toneladas (DuPont y Murphy, 2021). Así de sencillo, hasta que introducimos en la ecuación los requerimientos materiales del proyecto. Esos requerimientos son tales que cuanto les queda a los autores es el recurso a la minería de asteroides a escala masiva: habría que procesar una cantidad de roca equivalente, como mínimo, al 10% de la masa de Marte. Dejemos de lado el hecho de que la minería de asteroides es por lo pronto un recurso literario, y supongamos también que el contexto de escasez energética y material que hemos de afrontar ya en la metrópoli terrícola (cf. *infra*, § 2) se resuelve de algún modo en la colonia marciana. Con todo y con ello, tendríamos sólo un campo magnético: nos faltaría aún la atmósfera, pero sería inútil que nos detuviéramos a comentar alguno al azar de entre los innumerables óbices con los que debe lidiar cada uno de los escenarios de ciencia ficción en los que esa atmósfera sale finalmente de la chistera –cosa que la propia NASA considera imposible (Steigerwald y Jones, 2018)– para luego calentarse –la temperatura media de Marte es inferior a -50°C^3 .

Lo inquietante de estos guiones de ciencia ficción dura es el momento en que nuestra cultura se apresta a esta clase de ensueños tecnocientíficos. Nos acercaremos a una somera descripción de ese momento histórico cuando hablemos en el siguiente apartado de curvas de Hubbert y valoraciones exergéticas. Por de pronto, con vendrá echar ya un vistazo a la noción que subyace a las pinceladas hasta aquí esbozadas: la de tecnolatría.

Podemos aproximarnos tentativamente a su elucidación presentándola como la más acabada expresión de la «ilusión de omnipotencia» (Riechmann, 2008, p. 13; Riechmann, 2016, p. 15). Lo que hallamos en el fondo de esa expresión es la idea de que no hay problema que no podamos solucionar echando mano de los medios que la tecnociencia pone a nuestra disposición (Naredo, 2016). Ciertamente, nuestra civilización se enfrenta hoy a un conjunto de problemas sin precedentes, pero las posibilidades de que la tecnociencia pueda acudir al rescate son, como veremos, escasas –entre otras cosas porque la tecnología no puede solucionar problemas que no son de orden tecnológico, sino político y social (De Cózar Escalante, 2019, p. 121).

Jorge Riechmann recoge en una potente imagen, a la vez, la profundidad del calado del señalado conjunto de problemas y la irracionalidad de esa «fe ciega en la tecnología que está velando los ojos de la mayoría social». Dicha imagen traza una ominosa analogía entre nuestra situación ecosocial y la coyuntura de la Alemania de Hitler en los últimos compases de la guerra: «se estaba perdiendo en todos los frentes, pero la victoria final estaba asegurada, porque ¿quién podía dudar que los científicos arios estaban desarrollando armas secretas de todas clases, que iban a invertir la situación transformando la derrota en victoria?» (Riechmann, 2016, p. 233). Los cohetes fueron la más publicitada de aquellas armas. Entre finales de los treinta y comienzos de los cuarenta, físicos e ingenieros estadounidenses, soviéticos y alemanes teorizaron sobre la posibilidad de emplearlos para la exploración espacial, al tiempo que obtenían fondos de sus respectivos gobiernos para desarrollar estos sistemas con unos fines militares que no pudieron alcanzar. En el caso alemán, se ha sugerido que el empeño en este programa armamentístico podría haber contribuido a acelerar la derrota, pues supuso el despilfarro de una importante cantidad de recursos y causó muy pocos daños a las fuerzas aliadas (Hersch y Steer, 2021, pp. 2-3). Elocuentemente, aquellas *armas secretas de todas clases* eran en realidad armatostes extremadamente caros e imprecisos que, lejos de poder transformar la derrota en victoria, habrían contribuido a acelerarla.

Ante la verosímil posibilidad de que esas armas secretas no lleguen nunca, quizá nuestra tarea sea hoy la de «intentar imaginar no cómo escapar [a Marte], sino cómo volver a encajar en la trama de la vida» (Herrero,

3 Una opción abierta para los guionistas a los que estas dificultades se les antojen excesivas es la de probar suerte en otro sitio (Wohlforth y Hendrix, 2016).

2021), aquí, en nuestro planeta. Y es que todo apunta que «no hay más ruta de escape que el retorno a la Tierra [...], la vuelta a casa» (Latour, 2015, p. 145): «necesitamos un verdadero hogar, [pero] no vamos a encontrarlo persiguiendo fantasías tecnólatras de colonización interplanetaria» (Riechmann, 2022a, p. 193). Martin Rees lo ha expresado con elocuencia en numerosas ocasiones: «pensar que cabe buscar en el espacio una vía de escape para nuestros problemas en la Tierra es un espejismo peligroso; tenemos que resolver esos problemas aquí, y atajar el cambio climático no es más que un juego de niños si lo comparamos con el reto que supondría terraformar Marte» (Rees, 2018, p. 150; Tucker, 2019; Mecklin, 2022). Resulta en efecto inconcebible que el cataclismo del que dicen querer salvar a la humanidad los capitalistas espaciales —por la vía de la colonización interplanetaria— pudiera dejar a la Tierra sin la práctica totalidad de su atmósfera, su campo magnético, su agua, su vida y hasta su gravedad, esto es, en un punto de partida peor que el de Marte. Incluso aunque nos precipitáramos por la peor de las pendientes, el nuestro seguiría siendo preferible al planeta rojo, que se perfila de este modo como un agujero simbólico a través del cual se arrojan ingentes cantidades de recursos públicos a fin no de salvar a la humanidad, sino de promover los intereses de un exiguo puñado de agentes económicos irónicamente envueltos en capas y capas de retórica ultraliberal y mitología emprendedora⁴.

Estas ideologías de fuga tencocientífica⁵ pueden interpretarse como la culminación del programa ecomoderista patrocinado por teóricos como Erle Ellis o *think tanks* como el Breakthrough Institute (Berkeley, California), que llevan cerca de dos décadas invitándonos a olvidar los obsoletos objetivos de conservar ecosistemas o moderar nuestro impacto sobre los mismos: de lo que se trataría ahora, nos proponen, sería de *administrarlos*. Del mismo modo que en su momento domesticáramos a las gallinas, ahora toca hacer lo propio con la biosfera. Crear una biosfera donde no la había previamente aparece como el siguiente paso lógico del proyecto de *gestión técnica de servicios ecosistémicos y administración tecno-económica de neoecosistemas*, sofisticadas locuciones bajo las que late la aspiración utópica de controlar técnicamente la biosfera, o sustituirla incluso por una tecnosfera. Los «robots que reparan ecosistemas dañados o realizan funciones ecológicas que cumplían especies desaparecidas» (Arias Maldonado, 2018, p. 97) son los protagonistas habituales de estas tecnoutopías, pero los sueños de la razón tencocientífica no conocen límites: nada nos impide imaginar, por ejemplo, que esquivamos finalmente el desastre ecosocial por la gracia del *deus ex machina* de una futurible generación de cyborgs telépatas autoingenieros (Lovelock y Appleyard, 2019). Si nos hiciéramos cargo de lo lejos que estamos de comprender acabadamente —no hablemos ya de controlar a nuestro antojo (Riechmann, 2023, cap. 6)— los procesos biofísicos de escala planetaria que hemos alterado profundamente, entonces quizás caeríamos en la cuenta de que estos ensueños tencocientíficos en los que nos fingimos omnipotentes «conquistadores de la comunidad terrestre» (Leopold, 1949, p. 28), no son sólo cómicos, sino de hecho extremadamente peligrosos.

Más allá de su adecuación en el plano de la racionalidad teórica, estas fantasías de huida podrían revelarse letales en el de la racionalidad estratégica. Combinando la mirada del astrofísico con la del analista experto en límites energéticos, Tom Murphy sugiere que las ambiciones de colonización espacial constituyen «una masiva asignación errónea de valiosos recursos que, empleados de ese modo, sirven sólo para avivar fantasías mientras profundizamos en nuestro atolladero [y] abrimos vías adicionales hacia respuestas irracionales a desafíos reales» (Murphy, 2021), en una espiral de extravíos culturales en la que «los caprichos espaciales de los ultra-ricos dan pábulo a la ilusión de omnipotencia» (Lehoucq, Rio y Graner, 2020) que «incita a nuestras sociedades a seguir adelante por la vía fatal donde ya se encuentran: la huida hacia adelante del solucionismo tecnológico» (Riechmann, 2022b).

No es necesario cavar muy hondo en estas ideologías de la fuga para dar con su fondo de narcotizante defecación. En el tercer volumen de su pentalogía de la autocontención, elocuentemente intitulado *Gente que no quiere viajar a Marte*, Jorge Riechmann advertía del carácter evasivo de la difusa aunque arraigada creencia en la ilimi-

4 A la luz de la realidad bajo esas capas, desconcierta leer que, a diferencia de la carrera hacia la Luna, la carrera hacia Marte «no se está llevando a cabo entre un país y otro, sino entre el sector público y el sector privado: en lugar de una confrontación simbólica entre el comunismo y el capitalismo, es una verdadera batalla directa entre financiación pública e inversión privada» (May, 2017, p. 144).

5 Mucho antes que alguna clase de proyecto que ocupe algún lugar definido en las agendas de gobiernos o grandes empresas, la colonización espacial es una pieza de *ideología* en el más pleno sentido marxiano.

tada potencia de nuestro arsenal tecnocientífico: la fe en la solución tecnológica de nuestros problemas ecosociales vendría a traducir nuestra incapacidad para reconocer la gravedad de esos problemas, una incapacidad que, en su extremo último, adopta la forma del deseo utópico de huir de nuestro presente y nuestro planeta mediante la fuga imaginaria a un futuro triunfal de colonización espacial (Riechmann, 2004).

Como cabía esperar, las versiones más extremas de estas ideologías de fuga han germinado dentro del perímetro de los círculos transhumanistas, en los que la huida se proyecta en todas las direcciones: hacia el futuro y el espacio exterior, desde luego, pero también hacia un delirante hiperespacio sideral-digital. Es asimismo en esos círculos donde encontramos las más encendidas justificaciones morales de la huida: nuestra agenda moral no debieran encabezarla, se nos dice, las agresiones a las personas, las especies o los ecosistemas realmente existentes, sino la realización a muy largo plazo de todo nuestro potencial, «entendido en términos tecno-utópicos de colonización espacial, transformación posthumana, subyugación del mundo natural, maximización de la productividad económica, creación de hasta 10^{45} seres humanos digitales [...] simulados en ordenadores cósmicos [...] y máquinas superinteligentes capaces de resolver todos nuestros problemas» (Torres, 2021)⁶. Desde este punto de vista, cualquier iniciativa encaminada a maximizar los beneficios de cualquiera de las grandes corporaciones tecnológicas es una acción de verdadera relevancia moral, dada su capacidad para contribuir a aquella realización a muy largo plazo de todo nuestro potencial, mientras que el esfuerzo por limitar la erosión de la biodiversidad o la miseria de ese 10% de la población actual que lucha en vano por dar con algo que llevarse a la boca no pasaría de constituir un fútil ejercicio de reconfortante filantropía gazmoñera.

Suele designarse mediante signaturas del tipo de *crisis ecológica* o *crisis ecosocial* el referido conjunto de problemas del que pretenden evadirnos tanto la ideología tecnólatra dominante como sus versiones transhumanistas más desbarradas. A nuestro juicio, ese conjunto queda mejor encapsulado en la locución *extralimitación material*, dado que, en efecto, cada una de las manifestaciones de esa crisis (cambio climático, contaminación, erosión de ciclos biogeoquímicos, sexta extinción masiva, acidificación oceánica) son resultado directo de la voracidad material de las sociedades desarrolladas, en las que vive esa quinta parte de la población mundial que consume cuatro quintas partes de los recursos empleados anualmente (Taibo, 2021, cap. 8). Toda voracidad termina donde termina su objeto, y aquí desembocamos en la anunciada curva de Hubbert.

2. LA CURVA DE HUBBERT Y LA VALORACIÓN EXERGÉTICA DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

La curva de Hubbert es una modelización matemática que describe el ciclo de extracción de recursos minerales. Fue concebida para el análisis de la evolución de la producción de petróleo y se representa como una curva sobre coordenadas cartesianas, con la producción anual en el eje de las ordenadas y el tiempo en las abscisas. Se trata de una curva con la forma de campana propia de una función gaussiana; de acuerdo con esta forma de campana, la extracción asciende hasta alcanzar un pico y desciende después a un ritmo similar. La Agencia Internacional de la Energía reconoció en 2010 que el petróleo crudo convencional había llegado a su pico entre 2005 y 2006. La tasa de extracción del resto de petróleos, menos rentables en términos tanto energéticos como económicos, viene asimismo descendiendo en los últimos años. Cabe, con todo, discutir acerca del momento en que debiera fecharse el pico del petróleo. Lo que no está en discusión es que se trata de un recurso finito cuyo aprovechamiento no puede sino entrar en un inevitable declive.

No cuesta advertir, por otra parte, los motivos por los que Vaclav Smil subraya que el petróleo es «la fuente básica de energía de la actual civilización de los combustibles fósiles» (Smil, 1999, p. 271). El crecimiento económico, la expansión industrial y, en definitiva, la Gran Aceleración (Steffen *et al.*, 2015) posterior a la Segunda Guerra Mundial tuvieron lugar sobre la base de una balsa de petróleo. A comienzos de la década de los cuarenta, la mitad de la energía total consumida a escala global provenía del carbón, y la tercera parte de la biomasa: el

⁶ De acuerdo con esa estimación de 10^{45} para la magnitud potencial de la población futura en un escenario de colonización digital de la Vía Láctea (Greaves y MacAskill, 2021, p. 8), y dando por buena la aproximación de 10^{68} átomos para nuestra galaxia (Silk, 2005, p. 10), la existencia de cada uno de esos posthumanos digitales dependería de un número de átomos inferior al contenido en un mililitro de agua. Un lápiz, un folio, las cuatro reglas y la intención de poner a trabajar juntos estos humildes elementos habrían bastado para ahorrarles a estos jóvenes acólitos del *altruismo efectivo* el bochorno de semejante cifra.

petróleo apenas representaba entonces una décima parte del total. Cincuenta años después, a comienzos de la década de los noventa, el consumo energético total se había quintuplicado, y el petróleo, que había rebasado al carbón en la primera mitad de los sesenta, daba cuenta de cerca del cuarenta por ciento del total, mientras los otros dos combustibles fósiles (gas y carbón) hacían lo propio con otro tanto. El consumo total actual octuplica holgadamente al de aquellos comienzos de los cuarenta, con el petróleo como principal fuente de energía (en torno a una tercera parte), seguido de cerca por los otros dos combustibles fósiles, que se reparten, en conjunto, en torno al cincuenta por ciento (Ritchie y Roser, 2022a; Smil, 2010, pp. 61 y ss.; Ritchie, 2021).

La extraordinaria expansión material de la segunda mitad del siglo XX debe por tanto describirse como un *potlatch* fósil –petrolero, en particular–, un *potlatch* que toca a su fin (Santiago Muíño, 2018, p. 64) y para el cual cuesta atisbar alternativas viables a la vista: fuentes de energía que puedan sustituir a los combustibles fósiles con rendimientos asimilables (Turiel, 2020). Si bien no existe para el caso de la transición energética un consenso del tipo del que encarnan los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés) para el caso del cambio climático y la pérdida de biodiversidad, disponemos de numerosas estimaciones que ofrecen, en conjunto, una composición de lugar cuyos contornos generales son los de la intersección entre termodinámica y recursos de stock.

Actualmente, los sistemas industriales de captación de flujos de energía solar y eólica son los protagonistas del relato tecno-optimista en torno a la posibilidad de erigir un sistema energético alternativo al fósil con rendimientos equiparables a los del mismo. Sin embargo, en las postrimerías de la era de los combustibles fósiles, los mismos suponen aún cuatro quintas partes de nuestro consumo energético, una proporción que no ha variado significativamente en las últimas cuatro décadas (IEA, 2021a; World Bank, 2014)⁷. Por su parte, la eólica y la solar fotovoltaica se emplean en la producción de electricidad, que representa menos de una quinta parte de nuestros consumos energéticos globales (Energy Institute, 2023). A su vez, la producción eléctrica de origen eólico y fotovoltaico apenas se alza por encima de la vigésima parte del total, y el incremento mundial de la demanda de electricidad viene rebasando al de la instalación de capacidad renovable (Turiel, 2020, caps. 11 y 12; Turiel, 2022, cap. 7; IEA, 2021a, pp. 30 y 34; Ritchie y Roser, 2022b). Así, el conjunto de las energías renovables –lo que incluye, claro, a la principal: la hidroeléctrica– viene alcanzando a cubrir alrededor de la mitad del incremento neto de esa demanda (IEA, 2021b, p. 7; IEA, 2021d).

Las fuentes de energía que se asume que sustituirán en el plazo de unos pocos años a los combustibles fósiles aportan hoy, pues, en torno a una vigésima de una quinta parte a nuestro consumo energético global⁸. Esta magra proporción es sólo uno de los motivos por los cuales convendría debatir con calma en lugar de asentir acríticamente ante el consenso implícito en torno a la verosimilitud del proyecto de erigir un sistema energético renovable 100% eléctrico que pudiera permitirnos prolongar la senda de crecimiento exponencial trazada durante la era del *potlatch* fósil (cf. Poupin, 2023; York y Bell, 2019). Tan siquiera análisis optimistas respecto de la viabilidad de una economía basada en electricidad de origen renovable contemplan la posibilidad de que esa economía pudiera seguir creciendo tras la transición a fuentes de energía no fósiles (García-Olivares, 2015 y 2016; García-Olivares *et al.*, 2012; Smil, 2013 y 2019).

Avanzar hacia ese sistema renovable 100% eléctrico es un proyecto que habría de cimentarse sobre unas tecnologías dependientes de ingentes insumos materiales: la Agencia Internacional de la Energía estima que la transición hacia las energías renovables exigiría que, durante las dos próximas décadas, la extracción de tierras raras se multiplicara por 7, la de níquel por 19, la de cobalto por 21 y la de litio por 42 (IEA, 2021c, p. 9). Esta expansión extractivista no sería en absoluto inocua: se prevé que los efectos sobre los ecosistemas de la minería destinada al sector renovable serán en los próximos años peores incluso que los del cambio climático (Sonter *et*

7 «Las variaciones en el uso de combustibles fósiles han estado ampliamente vinculadas a las variaciones en el PIB durante décadas, y la demanda mundial de combustibles fósiles ha permanecido alrededor del 80% de la demanda total durante décadas» (IEA, 2022, p. 43; IEA, 2023, p. 102).

8 Incluso si diéramos por buenas estimaciones que doblan esta cifra (Energy Institute, 2023), aupándola al rango del 2%, seguiríamos manifiestamente lejos de los primeros pasos hacia cualquier clase de transición o sustitución.

al., 2020), y es que los recursos minerales que condicionan la viabilidad del proyecto de sustitución de fósiles por renovables no podrán sino escasear cada vez en mayor medida⁹. De este modo, su obtención requerirá inversiones crecientes de energía destinadas a alimentar procesos extractivos cuyos impactos irán en aumento mientras se reduce progresivamente la calidad del recurso extraído. El marco de la valoración exergética se ideó para describir esta progresiva erosión de nuestra capacidad de aprovechamiento de los recursos minerales (Valero *et al.*, 2018; Valero, Valero y Calvo, 2021).

Como su nombre sugiere, la valoración exergética es una forma de contabilidad, pero no una de carácter monetario, sino físico: se trata de una contabilidad termodinámica de la riqueza mineral, una aplicación de la segunda ley de la termodinámica al análisis de la disponibilidad de recursos minerales (Almazán, 2021; Valero y Valero, 2009). Lo que esta segunda ley nos dice acerca de esa disponibilidad es que cuando la concentración de un recurso mineral tiende a cero, la energía requerida para extraerlo tiende a infinito, siendo así que, en la práctica, resulta imposible recuperar los recursos minerales una vez han sido dispersados. Puede expresarse la misma idea en términos técnicos apuntando que los costes exergéticos son siempre mayores que la exergía —mientras la noción de exergía remite al valor termodinámico de un recurso, la de coste exergético puede definirse, en relación a un producto dado, como la suma de su exergía y cada una de las irreversibilidades acaecidas en el proceso de su producción (Valero, Valero y Calvo, 2021, cap. 4).

En un contexto de declive fósil y transición hacia tecnologías dependientes de gran cantidad de recursos minerales (aluminio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, disprosio, estaño, galio, grafito, indio, hierro, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, neodimio, níquel, plata, plomo, selenio, telurio, titanio, vanadio, zinc), el mensaje que debemos retener del marco de la valoración exergética es el de que existen límites físicos que constriñen la disponibilidad de los recursos minerales que condicionan el proyecto de mantener inalterado el orden socioeconómico del capitalismo industrial mediante el expediente de sustituir fósiles por renovables. Se trata pues de un proyecto lastrado por la disponibilidad termodinámicamente limitada y la presencia finita y geográficamente concentrada de los recursos minerales indispensables para la sustitución, pero también por el hecho de que los dispositivos con los que captamos temporalmente flujos de energía renovable «disfrutan de una vida media de 15-30 años [y] dependen para su construcción de combustibles fósiles» (Almazán y Riechmann, 2023).

Desde el punto de vista del utopismo tecnológico prevalente, nada de esto debiera preocuparnos: la inventiva humana siempre podrá engendrar innovaciones tecnológicas capaces de resolver cuantos problemas puedan presentársenos (Arias Maldonado, 2008 y 2018). El reto no consistiría, por tanto, en modificar nuestras instituciones sociales para contener su deriva hacia la constante expansión material, sino justamente en espolear la naturaleza autoexpansiva de nuestro sistema socioeconómico, dado que sólo el propio crecimiento podrá proporcionar los recursos para que la innovación acuda al rescate (Burgess *et al.*, 2023). Así las cosas, no quedaría sino profundizar en la extralimitación material para abordar los problemas causados por la extralimitación material (D'Alessandro *et al.*, 2020; Hickel y Kallis, 2019; Jackson y Victor, 2019; *Nature*, 2022; Parrique *et al.*, 2019).

Ante un escenario en el que al horizonte de declive fósil y material bosquejado se suma el de la inestabilidad de una biosfera gravemente dañada (Steffen *et al.*, 2018; Arias Domínguez, 2020, cap. 2), nuestro marco cultural no nos llama a la prudencia y la autocontención, sino a perdernos en utopías tecnológicas de dudosa viabilidad, en las que no sólo logramos arrostrar sin sobresaltos ni significativos cambios institucionales el *reto* de la *transición energética*, sino asimismo predecir y controlar las consecuencias de intervenciones técnicas a gran escala en la composición de los océanos o la atmósfera (Pasztor, Scharf y Schmidt, 2017; Boyd y Vivian, 2019; Foley, 2021), e incluso emplear medios técnicos para extraer de ésta una proporción apreciable del CO₂ que generamos¹⁰.

9 Según una reciente revisión de setenta estudios sobre el particular, «las fechas aproximadas de los picos de producción primaria son alrededor de 2041-91 para el hierro, 2084-2130 para el aluminio, 2030-72 para el cobre, 2025-61 para el zinc, 2018-2128 para el plomo y 2030-33 para el níquel [...]. Las crecientes demandas podrían no ser satisfechas debido a limitaciones en la disponibilidad física de recursos o en la velocidad con la que se puede expandir la capacidad de producción dentro del siglo XXI» (Watari *et al.*, 2021). Incluso si estimaciones como éstas estuvieran afectadas por sesgos pesimistas, seguiríamos encontrándonos en la obligación de considerar nuestra situación no sólo desde el punto de vista de los actuales impactos ecológicos y socioeconómicos de la minería, sino asimismo desde el del derecho de las generaciones futuras a un planeta cuya riqueza mineral no fue degradada con la misma rapidez que su riqueza fósil (Bardi, 2014).

10 Una estimación generosa de la capacidad de las actuales instalaciones de Captura y Almacenamiento de Carbono, el más desarrollado de los señalados medios técnicos, asciende a una milésima parte de nuestras emisiones anuales, y habremos superado holgadamente peligrosos

Éste es, en definitiva, el contexto en el que hemos de preguntarnos por la factibilidad material y la aceptabilidad moral del proyecto de enviar un puñado de seres humanos a establecer colonias fuera del planeta mientras el resto afronta ya en él las consecuencias de la extralimitación material de nuestras economías. Es también este contexto el que suscita la pregunta por las taras culturales que nos permiten plantarnos ante estos proyectos de colonización espacial sin que nos asalte el estupor que produce aquello que *no puede ir en serio*.

3. LA PARADOJA DE FERMI VISTA DESDE LA ASTROBIOLOGÍA DEL ANTROPOCENO

La paradoja de Fermi fue formulada en una conversación informal durante el verano de 1950. En ella, Enrico Fermi habría planteado la pregunta: *y bien, ¿dónde está todo el mundo?* (Jones, 1985, p. 3; Gutiérrez Aguilar en este volumen). La idea tras la pregunta era la de que, habiendo en la Vía Láctea miles de millones de estrellas similares al Sol, y poseyendo muchas de ellas *zonas de habitabilidad*¹¹ con planetas que podrían acoger vida y, eventualmente, vida inteligente y civilizaciones tecnológicamente avanzadas, el hecho de que no tengamos ningún indicio de que éste sea el caso requiere una explicación.

En una conferencia dictada en octubre de 2021 en la Universidad McMaster, Noam Chomsky ofrecía una respuesta rápida a la paradoja: «están por ahí, pero cuando se cruzaron con nosotros decidieron mantenerse alejados de semejante jaula de grillos» (Chomsky, 2021a). Chomsky ha comentado en numerosas ocasiones la solución que ensayara Ernst Mayr a mediados de los noventa para la paradoja de Fermi (Chomsky, 2011, 2012, 2017 y 2022; Hunziker, 2022; Polychroniou, 2022)¹². De acuerdo con la solución de Mayr, la inteligencia podría considerarse algo así como una mutación letal, por cuanto el registro fósil avala la conclusión de que las especies más exitosas y perdurables son las más simples, mientras que las más complejas tienen trayectorias filogenéticas más cortas (Mayr, 1995). Nuestros amigos extraterrestres no habrían dado señales de vida, pues, porque no les habría dado tiempo a causa del carácter letal de aquella mutación, y la sugerencia implícita es que tampoco nosotros tendríamos tiempo de desarrollar la tecnología necesaria para establecer contacto con otras civilizaciones: habremos muerto de éxito antes de encontrarnos en disposición de hacerlo. Desgranando los términos de la ecuación Drake, David Jou apunta asimismo a la posibilidad de que «la inteligencia tecnológica capaz de comunicarse con otros planetas» sea de hecho «un tipo de inteligencia muy particular, y peligroso» (Jou, 2015, p. 114).

En la astrobiología reciente, el desarrollo más sistemático de esta sugerencia implícita de Mayr puede encontrarse en la astrobiología del Antropoceno de Adam Frank. El Antropoceno es concebido aquí como un punto de inflexión tras el cual una especie capaz de extraer recursos de forma intensiva y desarrollar una civilización tecnológica ha de optar entre estabilizarse en un estado estacionario o sucumbir bajo las consecuencias termodinámicas de sucesivos intentos infructuosos por prolongar la senda del desarrollo tecnológico y el uso creciente de recursos.

La respuesta a la paradoja de Fermi desde la astrobiología del Antropoceno partiría pues del análisis de las vías de retroalimentación de la disponibilidad y uso de recursos para formular la hipótesis de que el Antropoceno es una característica genérica de cualquier planeta en el que pudiera evolucionar una especie inteligente capaz de desarrollar una civilización tecnológica (Frank *et al.*, 2018). Esa respuesta puede esquematizarse con suma concisión: si efectivamente resulta altamente improbable que seamos la única civilización tecnológicamente avanzada en todo el universo observable (Frank, 2018, cap. 4), y si no tenemos noticia de ninguna otra, ello podría deberse a que todas hubieron de enfrentarse a la disyuntiva entre el abandono de la ilusión tecnolátra de omnipotencia, por una parte, y la extinción ante la incapacidad para asumir las constricciones impuestas por los límites biofísicos planetarios (Frank, 2018, cap. 5), por la otra. De modo que, si no sabemos nada de ninguna civilización extrate-

umbrales cuando las instalaciones proyectadas estén operativas a lo largo de las próximas décadas, ofreciendo perspectivas de captura de algunas milésimas adicionales. Comentando los resultados de su análisis del arco completo de esta tecnología, Bruce Robertson concluye: lejos de constituir una solución, supone «un gran problema para el clima» (Samaniego, 2022; Pajares, 2023, pp. 48 y ss.).

11 En realidad, resulta anacrónico presentar la paradoja en estos términos, porque a pesar de precedentes directos desde comienzos del siglo XX, el concepto de zona de habitabilidad se consolidaría con un significado equiparable al actual a lo largo de la década de los cincuenta.

12 La solución de Mayr es, en boca de Chomsky, un dispositivo retórico: no hay motivos para pensar que la suscribe. De hecho, cuando se ha referido a la paradoja de Fermi en exposiciones más formales, ha mostrado su inclinación por interpretaciones próximas a lo que ha venido denominándose «hipótesis de la Tierra rara», según las cuales la probabilidad de que exista vida extraterrestre inteligente en el universo observable es extremadamente baja (Chomsky, 2021b).

restre, tal vez ello se deba a que las viables, «lejos de abrigar deseos de expansión galáctica, se encuentran bien donde están [y] han logrado [desarrollar] culturas de autocontención [...], quizá reencontrando un *ethos* más cercano al de las culturas cazadoras-recolectoras que al del almirante Cristóbal Colón» (Riechmann, 2022a, p. 34).

Con independencia de la adecuación empírica de los supuestos de los que parten Frank y sus colaboradores, la veta ético-política de su respuesta a la paradoja de Fermi captura milimétricamente los extravíos de esos «imaginaros de colonización, expansión y dominación [que] nos invitan a considerarnos como extraterrestres» (Riechmann, 2021, p. 80). La colonización espacial es sólo la última derivada de la ilusión de omnipotencia embebida en la ideología tecnoutópica que permea el marco cultural dominante, pero también la más elocuente, la que lleva a su extremo último la autoimagen de «conquistadores de la comunidad terrestre» (Leopold, 1949, p. 28) ínsita en esos imaginarios y esa ideología. Rebasados seis de los nueve límites planetarios que definen un «espacio operativo seguro para la humanidad» dentro del Sistema Tierra (Richardson *et al.*, 2023), todo indica que se nos plantea hoy una disyuntiva del tipo de la que articula la astrobiología del Antropoceno y es momento, por tanto, de abandonar esa autoimagen. No somos extraterrestres, ni conquistadores de la comunidad terrestre, ni tampoco seres todopoderosos llamados a conquistar el espacio y someter a nuestro capricho las leyes de la naturaleza, sino seres sometidos a esas leyes, seres vulnerables y dependientes de una biosfera asimismo vulnerable dentro de cuyos límites está por ver si lograremos aprender a vivir –mientras, fantaseamos con *emancipaciones* (Herrero, 2018, p. 79) y mudanzas que, a pesar de presentársenos como proyectos heroicos e ilusionantes (Kaku, 2018), constituyen sólo siniestras ilustraciones de las taras culturales que nos impiden afrontar con sensatez la encrucijada civilizatoria en la que nos hallamos.

No nos proponíamos analizar aquí la génesis de la ilusión tecnólatra de omnipotencia prevalente en nuestra cultura. Tan siquiera la del subapartado de esa ilusión integrado por imaginarios de colonización espacial. En lugar de ello, nos hemos aproximado desde la evaluación termodinámica de la disponibilidad de recursos a la incongruencia entre esa ilusión y nuestra realidad material, y desde la astrobiología del Antropoceno a las implicaciones ético-políticas de esa incongruencia. Lo que queda al cabo es la constatación de que, incluso si las fantasías de colonización ocuparan un rincón minúsculo en el debate académico, los medios de comunicación y la cultura de masas, el hecho de que aquella incongruencia ocupe un rincón inferior aun –imperceptible, en comparación– debe ser considerado un síntoma de una grave tara cultural.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

El autor de este artículo declara no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Este trabajo se ha desarrollado dentro del marco del proyecto de investigación de I+D. *Institución y Constitución de la Individualidad* (PID2020-117413GA-I00), dirigido por Alfonso Muñoz Corcuera del Departamento de Filosofía y Sociedad de la UCM.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Asier Arias Domínguez: Conceptualización; Investigación; Metodología; Redacción –borrador original; Redacción –revisión y edición.

REFERENCIAS

- Almazán, Adrián (2021). *Thanatia. Los límites minerales del planeta*. Barcelona: Icaria.
- Almazán, Adrián y Riechmann, Jorge (2023). Desafíos poliéticos de las transiciones energéticas. *Arbor*, 199(807), <https://doi.org/10.3989/arbor.2023.807003>

- Ansede, Manuel (2022). Carlos García Galán, ingeniero de la NASA: ‘Yo iría a Marte. Con un billete sólo de ida, tendría que pensármelo’. *El País*. <https://elpais.com/ciencia/2022-11-15/carlos-garcia-galan-ingeniero-de-la-nasa-yo-iria-a-marte-con-un-billete-solo-de-ida-tendria-que-pensarmelo.html>

- Arias Domínguez, Asier (2020). *La batalla por las ideas tras la pandemia. Crítica del liberalismo verde*. Madrid: Catarata.

- Arias Maldonado, Manuel (2008). *Sueño y mentira del ecologismo. Naturaleza, sociedad y democracia*. Madrid: Siglo XXI.
- Arias Maldonado, Manuel (2018). *Antropoceno. La política en la era humana*. Barcelona: Taurus.
- Bardi, Ugo (2014). *Extracted. How the Quest for Mineral Wealth is Plundering the Planet*. White River Junction: Chelsea Green.
- Bloom, Peter y Acosta, Alberto (2021). Minería en el más allá. *Rebelión*. <https://rebellion.org/mineria-en-el-mas-alla/>
- Boyd, Philip y Vivian, Chris (2019). Should we fertilize oceans or seed clouds? No one knows. *Nature*, 570(7760), 155-157. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-01790-7>
- Burgess, Robin, et al. (2023). *IGC White Paper on Sustainable Growth: Innovation, Growth, and the Environment*. London: International Growth Centre.
- Chomsky, Noam (1989). *Ilusiones necesarias. Control del pensamiento en las sociedades democráticas*. Madrid: Libertarias, 1992.
- Chomsky, Noam (2011). Human intelligence and the environment. *International Socialist Review*, 76.
- Chomsky, Noam (2012). Who owns the world? Resistance and ways forward. *University of Massachusetts Amherst*, 27 de Septiembre.
- Chomsky, Noam (2017). Prospects for survival. *The Massachusetts Review*, 58(4), 621-634. <https://doi.org/10.1353/mar.2017.0096>
- Chomsky, Noam (2021a). Rethinking the civic imagination and manufactured ignorance in the post-pandemic world. *McMaster University*, 4 de octubre.
- Chomsky, Noam (2021b). Minimalism: Where are we now, and where can we hope to go. *Gengo Kenkyu*, 160, 1-41. https://doi.org/10.11435/gengo.160.0_1
- Chomsky, Noam (2022). The Edward Said memorial lecture. *The American University in Cairo*, 2 de noviembre.
- D'Alessandro, Simone, et al. (2020). Feasible alternatives to green growth. *Nature Sustainability*, 3, 329-335. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0484-y>
- D'Eramo, Marco (2022). Privatizar el universo. *El Salto*. <https://www.elsaltodiario.com/tecnologia/privatizar-el-universo>
- De Cózar Escalante, José Manuel (2019). *El Antropoceno. Tecnología, naturaleza y condición humana*. Madrid: Catarata.
- DuPont, Marcus y Murphy, Jeremiah W. (2021). Fundamental physical and resource requirements for a Martian magnetic shield. *International Journal of Astrobiology*, 20(3), 215-222. <https://doi.org/10.1017/S1473550421000069>
- Energy Institute (2023). *Statistical Review of World Energy 2023*. London: Energy Institute.
- Foley, Jonathan (2021). Solar geoengineering: Ineffective, risky, and unnecessary. *GlobalEcoGuy*. <https://globalecoguy.org/solar-geoengineering-ineffective-risky-and-unnecessary-2d9850328fab>
- Frank, Adam (2018). *Light of the Stars. Alien Worlds and the Fate of the Earth*. New York: W. W. Norton.
- Frank, Adam, et al. (2018). The Anthropocene generalized: Evolution of exo-civilizations and their planetary feedback. *Astrobiology*, 18(5), 503-518. <https://doi.org/10.1089/ast.2017.1671>
- García-Olivares, Antonio (2015). Substitutability of electricity and renewable materials for fossil fuels in a post-carbon economy. *Energies*, 8(12), 13308-13343. <https://doi.org/10.3390/en81212371>
- García-Olivares, Antonio (2016). Energy for a sustainable post-carbon society. *Scientia Marina*, 80(Suppl.1), 257-268. <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.04295.12A>
- García-Olivares, Antonio, et al. (2012). A global renewable mix with proven technologies and common materials. *Energy Policy*, 41, 561-574. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.018>
- Greaves, Hilary y MacAskil, William (2021). The case for strong longtermism. *Global Priorities Institute*, Working Paper 5.
- Gregg, Jack (2021). *The Cosmos Economy. The Industrialization of Space*. Cham: Springer.
- Harvey, David (1982). *The Limits to Capital*. London: Verso.
- Herman, Edward y Chomsky, Noam (1988). *Los guardianes de la libertad. Propaganda, desinformación y consenso en los medios de comunicación de masas*. Barcelona: Austral, 2013.
- Herrero, Yayo (2018). Sujetos arraigados en la tierra y en los cuerpos: Hacia una antropología que reconozca los límites y la vulnerabilidad. En: Emilio Santiago Muñío, Yayo Herrero, Jorge Riechmann (coauts.). *Petróleo*. Barcelona: Arcadia/Macba, 77-112.
- Herrero, Yayo (2021). Ciencia ficción supremacista. *ctxt*. <https://agora ctxt.es/wp-content/uploads/2021/02/CARTA-A-LA-COMUNIDAD-198-YAYO-HERRERO.pdf>
- Hersch, Matthew y Steer, Cassandra (2021). Introduction: Why space law matters in war and peace. En: Cassandra Steer, Matthew Hersch (eds.). *War and Peace in Outer Space. Law, Policy, and Ethics*. New York: Oxford University Press, 1-20.
- Hickel, Jason y Kallis, Giorgos (2019). Is green growth possible? *New Political Economy*, 24, 1-18.
- Hunziker, Robert (2022). Noam Chomsky and the United Nations warn of collapse. *CounterPunch*. <https://www.counterpunch.org/2022/07/08/noam-chomsky-and-the-united-nations-warn-of-collapse/>
- IEA (2021a). *Key World Energy Statistics 2021*. Paris: International Energy Agency.
- IEA (2021b). *Electricity Market Report*. Paris: International Energy Agency.
- IEA (2021c). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions: World Energy Outlook Special Report*.
- IEA (2021d). Global electricity demand is growing faster than renewables, driving strong increase in generation from fossil fuels. *IEA*. <https://www.iea.org/news/global-electricity-demand-is-growing-faster-than-renewables-driving-strong-increase-in-generation-from-fossil-fuels>
- IEA (2022). *World Energy Outlook 2022*. Paris: International Energy Agency.
- IEA (2023). *World Energy Outlook 2023*. Paris: International Energy Agency.
- Jackson, Tim y Victor, Peter A. (2019). Unraveling the claims for (and against) green growth. *Science*, 366(6468), 950-951. <https://doi.org/10.1126/science.aay0749>

- Jones, Eric M. (1985). *Where Is Everybody? An Account of Fermi's Question*. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory.
- Jou, David (2015). *Materia y materialismo*. Barcelona: Pasado y Presente.
- Kaku, Michio (2018). *The Future of Humanity. Terraforming Mars, Interstellar Travel, Immortality, and Our Destiny Beyond Earth*. New York: Doubleday.
- Latour, Bruno (2015). Telling friends from foes in the time of the Anthropocene. En: Clive Hamilton, Christophe Bonneuil, François Gemenne (eds.). *The Anthropocene and the Global Environment Crisis. Rethinking Modernity in a New Epoch*. London: Routledge, 145-155.
- Lehoucq, Roland; Rio, Emmanuelle y Graner, François (2020). Tourisme spatial: Quand les plaisirs de quelques-uns polluent la planète de tous. *The Conversation*. <https://theconversation.com/tourisme-spatial-quand-les-plaisirs-de-quelques-uns-polluent-la-planete-de-tous-146552>
- Leopold, Aldo (1949). *Una ética de la tierra*. Madrid: Catarata, 2017.
- Lovelock, James y Appleyard, Bryan (2019). *Novacene. The Coming Age of Hyperintelligence*. Cambridge: MIT Press.
- May, Andrew (2017). *Destination Mars: The Story of Our Quest to Conquer the Red Planet*. London: Icon.
- Mayr, Ernst (1995). Can SETI succeed? Not likely. *Bioastronomy News*, 7(3), 2-4.
- Mecklin, John (2022). Martin Rees explains how science might save us. *Bulletin of the Atomic Scientists*. <https://thebulletin.org/2022/12/martin-rees-explains-how-science-might-save-us/>
- Movilla Pateiro, Laura (2023). ¿De quién son los recursos naturales del espacio? *The Conversation*. <https://theconversation.com/de-quien-son-los-recursos-naturales-del-espacio-214435>
- Murphy, Tom (2021). Why worry about collapse? *Do the Math*. <https://dothemath.ucsd.edu/2021/05/why-worry-about-collapse/>
- Naredo, José Manuel (2016). Tecnología & tecnolatría. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, 133, 57-63.
- NASA (2015). *Nasa's Journey to Mars. Pioneering Next Steps in Space Exploration*. Washington: National Aeronautics and Space Administration.
- Nature (2022). Are there limits to economic growth? It's time to call time on a 50-year argument. *Nature*, 603(7901), p. 361. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00723-1>
- Pajares, Miguel (2023). *Bla-bla-bla. El mito del capitalismo ecológico*. Barcelona: Rayo Verde.
- Parrique, Timothée, et al. (2019). *Decoupling Debunked. Evidence and Arguments against Green Growth as a Sole Strategy for Sustainability*. Brussels: European Environment Bureau.
- Pasztor, Janos; Scharf, Cynthia y Schmidt, Kai-Uwe (2017). How to govern geoengineering? *Science*, 357(6348), 231. <https://doi.org/10.1126/science.aan6794>
- Polychroniou, C. J. (2022). Chomsky: 'To tackle climate, our morality must catch up with our intelligence'. *Truthout*. <https://truthout.org/articles/chomsky-to-tackle-climate-our-morality-must-catch-up-with-our-intelligence/>
- Poupin, Christine (2023). La imposible transición energética. *Viento Sur*. <https://vientosur.info/la-imposible-transicion-energetica/>
- Rees, Martin (2018). *On the Future. Prospects for Humanity*. Princeton: Princeton University Press.
- Richardson, Katherine, et al. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458>
- Riechmann, Jorge (2004). *Gente que no quiere viajar a Marte. Ensayos sobre ecología, ética y autolimitación*. Madrid: Catarata.
- Riechmann, Jorge (2008). Hemos de aprender a vivir de otra manera. En: Jorge Riechmann (coord.). ¿En qué estamos fallando? Cambio social para ecologizar el mundo. Barcelona: Icaria, 5-24.
- Riechmann, Jorge (2016). ¿Derrotó smartphone al movimiento ecologista? Para una crítica del mesianismo tecnológico. Madrid: Catarata.
- Riechmann, Jorge (2021). *Informe a la subcomisión de Cuaternario*. Madrid: Árdora.
- Riechmann, Jorge (2022a). *Simbioética. Homo sapiens en el entramado de la vida*. Madrid: Plaza y Valdes.
- Riechmann, Jorge (2022b). Una ofensiva 'anticolapsista'. *Viento Sur*. <https://vientosur.info/una-ofensiva-anticolapsista/>
- Riechmann, Jorge (2023). *Bailar encadenados. Pequeña filosofía de la libertad*. Barcelona: Icaria.
- Ritchie, Hannah (2021). How have the world's energy sources changed over the last two centuries? *OWID*. <https://ourworldindata.org/global-energy-200-years>
- Ritchie, Hannah y Roser, Max (2022a). Energy production and consumption. En: Hannah Ritchie, Max Roser (eds.). *Energy*. Oxford: Global Change Data Lab, OWID.
- Ritchie, Hannah y Roser, Max (2022b). Electricity mix. En: Hannah Ritchie, Max Roser (eds.). *Energy*. Oxford: Global Change Data Lab, OWID.
- Rizzi, Andrea (2022). EE UU, China, Musk y Bezos: Claves para entender una carrera espacial que se dispara. *El País*. <https://elpais.com/internacional/2022-02-06/las-potencias-luchan-por-conquistar-el-espacio-para-controlar-la-tierra.html>
- Samaniego, Juan F. (2022). El día en que la captura de carbono acabó con los sueños verdes de Copenhague. *La Marea*. <https://www.climatica.lamarea.com/captura-carbono-copenhague/>
- Santiago Muíño, Emilio (2018). De nuevo estamos todos en peligro: El petróleo como eslabón más débil de la cadena neoliberal. En: Emilio Santiago Muíño, Yayo Herrero, Jorge Riechmann (coauts.). *Petróleo*. Barcelona: Arcadia/Macba, 15-75.
- Shammas, Victor L. y Holen, Tomas B. (2019). One giant leap for capitalistkind: Private enterprise in outer space. *Palgrave Communications*, 5, 10. <https://doi.org/10.1057/s41599-019-0218-9>
- Silk, Joseph (2005). *On the Shores of the Unknown. A Short History of the Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smil, Vaclav (1999). *Energías. Una guía ilustrada de la biosfera y la civilización*. Barcelona: Crítica, 2001.
- Smil, Vaclav (2010). *Energy Transitions. History, Requirements, Prospects*. Santa Barbara: Praeger.

- Smil, Vaclav (2013). *Making the Modern World. Materials and Dematerialization*. Chichester: Wiley.
- Smil, Vaclav (2019). *Growth. From Microorganisms to Megacities*. Cambridge: MIT Press.
- Sonter, Laura J., et al. (2020). Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. *Nature Communications*, 11, 4174. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17928-5>
- Steffen, Will, et al. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 1-18. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Steffen, Will, et al. (2018). Trajectories of the Earth system in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Steigerwald, Bill y Jones, Nancy (2018). Mars terraforming not possible using present-day technology. *NASA*. <https://www.nasa.gov/press-release/goddard/2018/mars-terraforming>
- Taibo, Carlos (2021). *Decrecimiento. Una propuesta razonada*. Madrid: Alianza.
- Torres, Émile P. (2021). The dangerous ideas of 'longtermism' and 'existential risk'. *Current Affairs*. <https://www.currentaffairs.org/2021/07/the-dangerous-ideas-of-longtermism-and-existential-risk>
- Tucker, Ian (2019). Martin Rees: 'Climate change is a doddle compared with terraforming Mars'. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/science/2019/aug/18/martin-rees-astronomer-royal-interview-brexiteer>
- Turiel, Antonio (2020). *Petrocalipsis. La crisis energética y cómo (no) la vamos a solucionar*. Madrid: Alfabeto.
- Turiel, Antonio (2022). *Sin energía. Pequeña guía para el Gran Descenso*. Madrid: Alfabeto.
- Valero, Alicia y Valero, Antonio (2009). La valoración exergética, una forma de medir la disponibilidad de recursos minerales: El agotamiento de la 'gran mina Tierra'. *Ecologista*, 63, 18-21.
- Valero, Alicia; Valero, Antonio y Calvo, Giomar (2021). *Thanatia. Límites materiales de la transición energética*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Valero, Alicia, et al. (2018). Global material requirements for the energy transition: An exergy flow analysis of decarbonisation pathways. *Energy*, 159, 1175-1184. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.149>
- Watari, Takuma, et al. (2021). Major metals demand, supply, and environmental impacts to 2100: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105107. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105107>
- World Bank (2014). Fossil fuel energy consumption (% of total). Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS>
- Wohlforth, Charles y Hendrix, Amanda (2016). *Beyond Earth. Our Path to a New Home in the Planets*. New York: Pantheon.
- York, Richard y Bell, Shannon Elizabeth (2019). Energy transitions or additions? Why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy. *Energy Research & Social Science*, 51, 40-43. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.01.008>
- Zamora Bonilla, Jesús (2021). *Contra apocalípticos: Ecologismo, animalismo, posthumanismo*. Barcelona: Shackleton.