



La Física del Capitalismo

Erald Kolasi

La gente tiende a pensar en el capitalismo en términos económicos. Karl Marx sostenía que el capitalismo es un sistema político y económico que transforma la productividad del trabajo humano en grandes beneficios y ganancias para quienes poseen los medios de producción.¹ Sus defensores sostienen que el capitalismo es un sistema económico que promueve el libre mercado y la libertad individual.² Y tanto sus opositores como sus defensores suelen medir el impacto del capitalismo en términos de riqueza e ingresos, salarios y precios, y oferta y demanda.

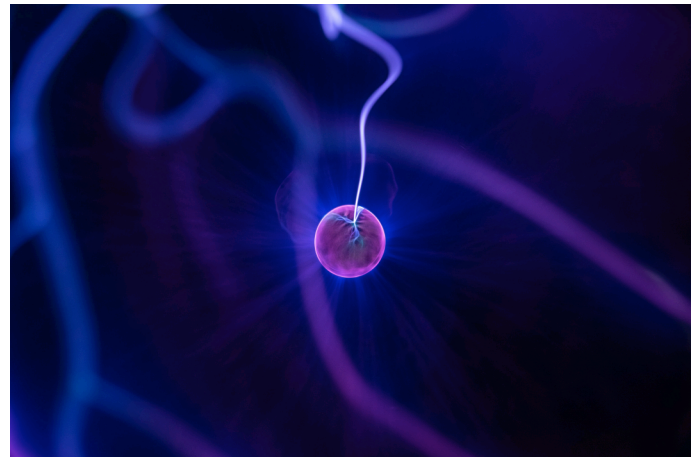


Photo by [Zoltan Tasi](#) on [Unsplash](#)

Sin embargo, las economías humanas son sistemas biofísicos complejos que interactúan con el mundo natural en general, y ninguno de ellos puede ser examinado completamente al margen de sus condiciones materiales subyacentes. Explorando algunos conceptos fundamentales de la física, podemos comprender mejor el funcionamiento de todos los sistemas económicos, incluidas las formas en que las actividades de alto consumo energético del capitalismo están cambiando la humanidad y el planeta.

Este artículo explicará cómo las características fundamentales de nuestra existencia natural y económica dependen de los principios de la termodinámica, que estudia las relaciones entre cantidades como la energía, el trabajo y el calor.³ Una comprensión firme de cómo funciona el capitalismo a nivel físico puede ayudarnos a entender por qué nuestro próximo sistema económico debería ser más ecológico, priorizando la estabilidad a largo plazo y la compatibilidad con la ecosfera global que sostiene a la humanidad.

¹ ↪ Karl Marx, *Capital*, vol. 1 (London: Penguin, 1976), 929–30.

² ↪ Edward W. Younkins, *Capitalism and Commerce* (New York: Lexington, 2002), 57.

³ ↪ Peter Atkins, *Four Laws That Drive the Universe* (Oxford: Oxford University Press, 2007), preface.

Para entenderlo, hay que echar un vistazo a algunos conceptos centrales de la física. Entre ellos se encuentran la energía, la entropía, la disipación y las diversas reglas de la naturaleza que los unen. Las características centrales de nuestra existencia natural, como organismos vivos y como seres humanos, surgen de las interacciones colectivas descritas por estas realidades físicas centrales. Aunque estos conceptos pueden ser difíciles de definir sin hacer referencia a modelos y teorías específicas, sus características generales pueden esbozarse y analizarse para revelar la poderosa intersección entre la física y la economía.

El intercambio de energía entre distintos sistemas influye de forma decisiva en el orden, la fase y la estabilidad de la materia física. La energía puede definirse como cualquier propiedad física conservada que puede producir movimiento, como el trabajo o el calor, cuando se intercambia entre diferentes sistemas.⁴ La energía cinética y la energía potencial son dos de las formas más importantes de conservación de la energía. La suma de estas dos cantidades se conoce como energía mecánica.⁵ Un camión que va a toda velocidad por la autopista tiene una buena cantidad de energía cinética, es decir, energía asociada al movimiento. Una roca que se tambalea al borde de un acantilado tiene una gran energía potencial, o energía asociada a la posición. Si se le da un ligero empujón, su energía potencial se transforma en energía cinética bajo la influencia de la gravedad, y sale disparada. Cuando los sistemas físicos interactúan, la energía se convierte en muchas formas diferentes, pero su cantidad total siempre permanece constante. La conservación de la energía implica que la producción total de todos los flujos y transformaciones de energía debe ser igual a la entrada total.

Los flujos de energía entre los distintos sistemas representan el motor del cosmos, y se producen en todas partes, con tanta frecuencia que apenas nos damos cuenta. El calor fluye naturalmente de las regiones más cálidas a las más frías, de ahí que nuestro café se enfríe por la mañana. Las partículas se desplazan de las zonas de alta presión a las de baja presión, y de ahí que el viento comience a aullar. El agua viaja de regiones de alta energía potencial a regiones de baja energía potencial, haciendo que los ríos fluyan. Las cargas eléctricas viajan de regiones de alta tensión a regiones de baja tensión, y así se desencadenan corrientes a través de los conductores. El flujo de energía a través de los sistemas físicos es una de las características más comunes de la naturaleza y, como muestran estos ejemplos, los flujos de energía requieren gradientes—diferencias de temperatura, presión, densidad u otros factores—. Sin estos gradientes, la naturaleza nunca produciría flujos netos, todos los sistemas físicos permanecerían en equilibrio y el mundo sería inerte y muy aburrido. Los flujos de energía también son importantes porque pueden generar trabajo mecánico, que es cualquier desplazamiento macroscópico en respuesta a una fuerza.⁶ Levantar un peso y dar una patada a una pelota son ejemplos de trabajo mecánico sobre otro sistema. Un importante resultado de la física clásica equipara la cantidad de trabajo con el cambio en la energía mecánica de un sistema físico, revelando una relación útil entre estas dos variables.⁷

Aunque los flujos de energía pueden producir trabajo, rara vez lo hacen de forma eficiente. Los grandes sistemas macroscópicos, como los camiones o los planetas, pierden o ganan habitualmente energía mecánica a través de sus interacciones con el mundo exterior. El actor principal de este gran drama es la disipación, definida como cualquier proceso que reduce parcialmente o elimina por completo la energía mecánica disponible de un sistema físico, convirtiéndola en calor u otros productos.⁸ Al interactuar con el entorno externo, los sistemas físicos suelen perder

⁴ ↪ Robert L. Lehrman, "Energy Is Not the Ability to Do Work," *Physics Teacher* 11, no. 1 (1973): 15–18.

⁵ ↪ Larry Kirkpatrick y Gregory E. Francis, *Physics: A Conceptual Worldview* (Boston: Cengage, 2009), 124

⁶ ↪ Atkins, *Four Laws That Drive the Universe*, 23.

⁷ ↪ Debora M. Katz, *Physics for Scientists and Engineers*, vol. 1 (Boston: Cengage, 2016), 264.

⁸ ↪ William Thomson, "On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy," in *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 3 (Edinburgh: Neill and Company, 1857), 139–42.

energía mecánica con el tiempo a través de la fricción, la difusión, la turbulencia, las vibraciones, las colisiones y otros efectos disipadores similares, que impiden que cualquier fuente de energía se convierta por completo en trabajo

La disipación está estrechamente relacionada con la entropía, uno de los conceptos más importantes de la termodinámica... La entropía tiene una profunda conexión con la disipación a través de una de las leyes más importantes de la termodinámica, que establece que los flujos de calor nunca pueden convertirse totalmente en trabajo.

mecánico. Un ejemplo sencillo de disipación es el calor que se produce cuando nos frotamos rápidamente las manos. En el mundo natural, los flujos de energía macroscópicos suelen ir acompañados de pérdidas disipadoras de uno u otro tipo. Los sistemas físicos que pueden disipar energía son capaces de interacciones ricas y complejas, lo que hace que la disipación sea una característica central del orden natural. Es difícil imaginar

un mundo sin disipación y sin las interacciones que la hacen posible. Si la fricción desapareciera de repente del mundo, la gente resbalaría y se deslizaría por todas partes. Nuestros coches serían inútiles, al igual que la idea misma de transporte, porque las ruedas y otros dispositivos mecánicos carecerían de tracción con el suelo y otras superficies. No podríamos tomarnos de la mano ni acunar a nuestros bebés. Nuestros cuerpos se deteriorarían rápidamente y perderían su estructura interna. El mundo sería extraño e irreconocible.

La disipación está estrechamente relacionada con la entropía, uno de los conceptos más importantes de la termodinámica. Mientras que la energía mide el movimiento producido por los sistemas físicos, la entropía rastrea la forma en que se distribuye la energía en el mundo natural. La entropía tiene varias definiciones estándar en física, todas ellas esencialmente equivalentes. Una definición popular de la termodinámica clásica afirma que la entropía es la cantidad de energía térmica por unidad de temperatura que no está disponible para el trabajo mecánico durante un proceso termodinámico.⁹ Otra definición importante procede de la física estadística, que estudia cómo las partes microscópicas de la naturaleza pueden unirse para producir grandes resultados macroscópicos. En esta versión estadística, la entropía es una medida de las distintas formas en que los estados microscópicos de un sistema mayor pueden reorganizarse sin cambiar ese sistema.¹⁰ Para un ejemplo concreto, pensemos en un gas típico y en un sólido típico en equilibrio. La energía se distribuye de forma muy diferente en estas dos fases de la materia. El gas tiene una entropía mayor que el sólido, porque las partículas del primero tienen muchas más configuraciones energéticas posibles que los sitios atómicos fijos de los sólidos y los cristales, que sólo tienen una pequeña gama de configuraciones energéticas que preservarán su orden fundamental.¹¹ Hay que subrayar que el concepto de entropía no se aplica a una configuración específica de la materia macroscópica, sino que se aplica como una limitación del número de configuraciones posibles que puede tener un sistema macroscópico en equilibrio.

La entropía tiene una profunda conexión con la disipación a través de una de las leyes más importantes de la termodinámica, que establece que los flujos de calor nunca pueden convertirse totalmente en trabajo.¹² Las interacciones disipadoras garantizan que los sistemas físicos siempre pierden algo de energía en forma de calor en cualquier proceso termodinámico natural, en el que están presentes la fricción y otros efectos similares. Ejemplos del mundo real de estas pérdidas termodinámicas son las emisiones de los motores de los coches, las corrientes eléctricas que encuentran resistencia y las capas de fluidos que interactúan y experimentan viscosidad. En termodinámica, estos fenómenos suelen considerarse irreversibles. La producción continua de energía térmica a partir de fenómenos

⁹ ↪ Douglas C. Giancoli, *Physics for Scientists and Engineers* (London: Pearson, 2008), 545.

¹⁰ ↪ John M. Seddon y Julian D. Gale, *Thermodynamics and Statistical Mechanics* (London: Royal Society of Chemistry, 2001), 60–65.

¹¹ ↪ Seddon y Gale, *Thermodynamics and Statistical Mechanics*, 65.

¹² ↪ Atkins, *Four Laws That Drive the Universe*, 53.

irreversibles agota gradualmente el caudal de energía mecánica que los sistemas físicos pueden aprovechar. Según la definición de entropía, el agotamiento de la energía mecánica útil implica generalmente que la entropía aumenta. Formalmente, la consecuencia más importante de cualquier proceso irreversible es el aumento de la entropía combinada de un sistema físico y su entorno. Para un sistema aislado, la entropía sigue aumentando hasta que alcanza algún valor máximo, momento en el que el sistema se asienta en el equilibrio. Para aclarar este último concepto, imaginemos un gas rojo y un gas azul separados por un tabique dentro de un recipiente sellado. Si se retira el tabique, los dos gases se mezclan. El resultado sería un gas de aspecto púrpura, y esa configuración de equilibrio representaría el estado de máxima entropía. También podemos relacionar la disipación con el concepto de entropía en la física estadística. La proliferación de energía térmica a través de los sistemas físicos cambia el movimiento de sus moléculas en algo más aleatorio y disperso, aumentando el número de micro estados que pueden representar las propiedades macroscópicas del sistema. En un sentido amplio, la entropía puede considerarse como la tendencia de la naturaleza a reconfigurar los estados de energía en distribuciones que disipen la energía mecánica.

La descripción tradicional de la entropía que acabamos de exponer se aplica en el régimen de la termodinámica del equilibrio. Pero en el mundo real, los sistemas físicos rara vez existen a temperaturas fijas, en estados perfectos de

Todos los organismos vivos consumen energía de un entorno externo, la utilizan para alimentar los procesos e interacciones bioquímicas vitales y, a continuación, disipan la mayor parte de la energía consumida al entorno.

equilibrio o en total aislamiento del resto del universo. El campo de la termodinámica de no equilibrio examina las propiedades de los sistemas termodinámicos que operan suficientemente lejos del equilibrio, como los organismos vivos o las bombas que explotan. Los sistemas en desequilibrio son la savia del universo; hacen que el mundo sea dinámico e

imprevisible. La termodinámica moderna sigue siendo un trabajo en curso, pero se ha utilizado para estudiar con éxito un amplio espectro de fenómenos, como los flujos de calor, los gases cuánticos que interactúan, las estructuras disipadoras e incluso el clima global.¹³ No existe un significado universalmente aceptado de la entropía en condiciones de no equilibrio, pero los físicos han ofrecido varias propuestas.¹⁴ Todas ellas incluyen el tiempo al analizar las interacciones termodinámicas, lo que permite determinar no sólo si la entropía sube o baja, sino también la rapidez o lentitud con que los sistemas físicos pueden cambiar en su camino hacia el equilibrio. Los principios de la termodinámica moderna son, por tanto, esenciales para ayudarnos a entender el comportamiento de los sistemas del mundo real, incluida la propia vida.

El objetivo físico central de todas las formas de vida es evitar el equilibrio termodinámico con el resto de su entorno mediante la disipación continua de energía, como sugirió el físico Erwin Schrödinger en la década de 1940, cuando utilizó la termodinámica del no equilibrio para estudiar las características clave de la biología.¹⁵ Podemos llamar a este

¹³ ↪ Para las famosas relaciones recíprocas que describen los flujos de calor, véase Lars Onsager, "Reciprocal Relations in Irreversible Processes I," *Physical Review Journals* 37 (1931): 405–26. Fue principalmente por este trabajo por el que Onsager ganó el Premio Nobel de Química en 1968. Para un estudio de los gases cuánticos bosónicos en una trampa unidimensional, véase Miguel Ángel García-March et al., "Non-Equilibrium Thermodynamics of Harmonically Trapped Bosons," *New Journal of Physics* 18 (2016): 1030–35. Para una revisión exhaustiva de la termodinámica moderna y una explicación de las estructuras disipativas, que le valió a Ilya Prigogine su Premio Nobel, véase Dilip Kondepudi y Ilya Prigogine, *Modern Thermodynamics* (Hoboken: Wiley, 2014), 421–41. En 2009, Alex Kleidon escribió un importante estudio teórico y una revisión del sistema climático utilizando la termodinámica de no equilibrio. Véase Alex Kleidon, "Nonequilibrium Thermodynamics and Maximum Entropy Production in the Earth System," *Science of Nature* 96 (2009): 1–25.

¹⁴ ↪ Una idea notable del físico Phil Attard considera la entropía como el número de configuraciones de partículas asociadas a una transición física en un periodo determinado. Véase Phil Attard, "The Second Entropy: A General Theory for Non-Equilibrium Thermodynamics and Statistical Mechanics," *Physical Chemistry* 105 (2009): 63–173. Quizás el modelo más riguroso técnicamente de la entropía la imagina como un conjunto de dos funciones que describen los cambios que se producen entre una clase restringida de sistemas de no equilibrio. Véase Elliott H. Lieb and Jakob Yngvason, "The Entropy Concept for Non-Equilibrium States," *Proceedings of the Royal Society A* 469 (2013): 1–15. El físico Karo Michaelian ha proporcionado una definición intuitiva de la entropía, considerándola como el ritmo al que los sistemas físicos exploran los microestados energéticos disponibles ("Thermodynamic Dissipation theory for the origin of life," *Earth System Dynamics* (2011): 37–51).

¹⁵ ↪ Erwin Schrödinger, *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1945), 35–65.

Las relaciones termodinámicas entre la energía, la entropía y la disipación imponen igualmente poderosas restricciones al comportamiento y la evolución de los sistemas económicos. Las economías son sistemas dinámicos y emergentes que se ven obligados a funcionar de determinada manera por sus condiciones sociales y ecológicas subyacentes.

objetivo vital el imperativo entrópico. Todos los organismos vivos consumen energía de un entorno externo, la utilizan para alimentar los procesos e interacciones bioquímicas vitales y, a continuación, disipan la mayor parte de la energía consumida al entorno. La disipación de energía al entorno externo permite a los organismos conservar el orden y la estabilidad de sus propios sistemas bioquímicos. Las

funciones esenciales de la vida dependen críticamente de esta estabilidad entrópica, incluyendo funciones como la digestión, la respiración, la división celular y la síntesis de proteínas. Lo que hace única a la vida como sistema físico es la enorme variedad de métodos de disipación que ha desarrollado, incluyendo la producción de calor, la emisión de gases y la expulsión de residuos. Esta amplia capacidad de disipar energía es lo que ayuda a la vida a mantener el imperativo entrópico. De hecho, el físico Jeremy England ha argumentado que los sistemas físicos en un baño de calor inundado con grandes cantidades de energía pueden tender a disipar más energía.¹⁶ Esta "adaptación impulsada por la disipación" puede conducir a la aparición espontánea de orden, replicación y auto ensamblaje entre las unidades microscópicas de la materia, proporcionando una pista potencial sobre la propia dinámica del origen de la vida. Los organismos también utilizan la energía que consumen para realizar trabajos mecánicos, por ejemplo, caminando, corriendo, trepando o escribiendo en un teclado. Los organismos con acceso a muchas fuentes de energía pueden realizar más trabajo y disipar más energía, satisfaciendo las condiciones centrales de la vida.

La Física del Capitalismo

Las relaciones termodinámicas entre la energía, la entropía y la disipación imponen igualmente poderosas restricciones al comportamiento y la evolución de los sistemas económicos.¹⁷ Las economías son sistemas dinámicos y emergentes que se ven obligados a funcionar de determinada manera por sus condiciones sociales y ecológicas subyacentes. En este contexto, las economías son sistemas no equilibrados capaces de disipar rápidamente la energía hacia algún entorno externo. Todos los sistemas dinámicos adquieren fuerza a partir de algún depósito de energía, alcanzan su máxima intensidad al absorber un suministro regular de energía y luego se deshacen a partir de cambios internos y externos que interrumpen los flujos de energía vitales o hacen imposible seguir disipando más energía. Incluso pueden experimentar ondulaciones a largo plazo creciendo durante un tiempo, luego encogiéndose, volviendo a crecer, antes de colapsar finalmente. Las interacciones entre sistemas dinámicos

La gran mayoría de la energía consumida por todas las economías se desperdicia de forma rutinaria al medio ambiente a través de residuos, disipación y otros tipos de pérdidas de energía.

pueden producir resultados muy caóticos, pero las expansiones y contracciones de energía son las características principales de todos los sistemas dinámicos. La energía consumida por todos los sistemas económicos se convierte en trabajo mecánico y en los productos físicos

derivados de ese trabajo, o simplemente se desperdicia y se disipa en el medio ambiente. Podemos definir la eficiencia colectiva de un sistema económico como la fracción de toda la energía consumida que se destina a crear trabajo mecánico y energía eléctrica. Las economías que aumentan la cantidad de trabajo mecánico que generan pueden producir más bienes y servicios. Pero, por muy importante que sea, el trabajo mecánico representa una fracción relativamente pequeña del uso total de energía en cualquier economía; la gran mayoría de la energía consumida por

¹⁶ ↪ Natalie Wolchover, "A New Physics Theory of Life," *Quanta Magazine*, January 22, 2014.

¹⁷ ↪ Carsten Hermann-Pillath, "Energy, Growth, and Evolution: Towards a Naturalistic Ontology of Economics," *Ecological Economics* 119 (2015): 432–42.

todas las economías se desperdicia de forma rutinaria al medio ambiente a través de residuos, disipación y otros tipos de pérdidas de energía.

A lo largo de la historia, el crecimiento económico ha dependido en gran medida de que las personas consuman más energía de su entorno natural.¹⁸ Cuando los humanos eran cazadores y recolectores, el principal activo que realizaba

El capitalismo surgió y se extendió a través de la expansión colonial, las olas de industrialización, la proliferación de enfermedades epidémicas, las campañas genocidas contra las poblaciones indígenas y el descubrimiento de nuevas fuentes de energía.

trabajos mecánicos era el músculo humano.¹⁹ Nuestro modo de vida nómada duró unos 200.000 años, pero sufrió importantes alteraciones tras la Edad de Hielo. A lo largo de milenios, las cambiantes condiciones ecológicas en todo el mundo obligaron a numerosos grupos a adoptar estrategias de pastoreo y agricultura. Las

economías agrarias dependían en gran medida de las plantas cultivadas y los animales domesticados para ayudar a generar excedentes de alimentos y otros bienes y recursos. Estos modos de producción y consumo agrarios dominaron las sociedades humanas durante casi diez mil años, pero finalmente fueron sustituidos por un nuevo sistema económico. El capitalismo surgió y se extendió a través de la expansión colonial, las olas de industrialización, la proliferación de enfermedades epidémicas, las campañas genocidas contra las poblaciones indígenas y el descubrimiento de nuevas fuentes de energía.

Desde entonces, la economía mundial se ha convertido en un sistema interconectado de finanzas, ordenadores, fábricas, vehículos, máquinas y mucho más. La creación y el mantenimiento de este sistema requirió una importante

No hay duda de que la fantasía del crecimiento sin fin y los beneficios fáciles no puede continuar. Todos los sistemas dinámicos tienen que llegar a su fin.

transición ascendente en la tasa de producción de energía de nuestros entornos naturales. En nuestra época de nómadas, la tasa diaria de consumo de energía per cápita era de unas 5.000 kilocalorías.²⁰ En 1850, el consumo per cápita había aumentado a unas 80.000 kilocalorías diarias, y desde entonces se ha disparado a unas 250.000

kilocalorías en la actualidad.²¹ Desde el punto de vista de la física, la característica fundamental de todas las economías capitalistas es una tasa excesiva de consumo de energía enfocada a impulsar el crecimiento económico y los excedentes materiales. El despliegue colectivo de activos de capital puede generar niveles increíbles de trabajo mecánico, permitiendo a las personas producir más, viajar grandes distancias y levantar objetos pesados, entre otras tareas. El capitalismo es mucho más intensivo en energía que cualquier otro sistema económico anterior, y ha provocado consecuencias ecológicas sin precedentes que pueden amenazar su propia existencia. Sigue siendo incierto cuánto tiempo podrá la humanidad sostener las actividades intensivas en energía del capitalismo, pero no hay duda de que la fantasía del crecimiento sin fin y los beneficios fáciles no puede continuar. Todos los sistemas dinámicos tienen que llegar a su fin.

¹⁸ ↪ Numerosos estudios realizados en todo el mundo han revelado una poderosa relación entre el uso de la energía y el crecimiento económico. Para una revisión de la relación estadística entre el uso de la energía y el crecimiento del PIB en todo el mundo, véase Rögnvaldur Hannesson, "Energy and GDP growth," *International Journal of Energy Management* 3 (2009): 157–70. Para un importante estudio sobre la relación entre energía y renta en algunos países asiáticos, véase John Asafu-Adjaye, "The Relationship Between Energy Consumption, Energy Prices, and Economic Growth: Time Series Evidence from Asian Developing Countries," *Energy Economics* 22 (2000): 615–25. Para una visión general de las formas en que el uso de la energía ha marcado la historia de la humanidad, véase Vaclav Smil, *Energy and Civilisation* (Cambridge: MIT Press, 2017).

¹⁹ ↪ Vaclav Smil, *Energy in Nature and Society* (Cambridge: MIT Press, 2008), 147–49.

²⁰ ↪ Jerry H. Bentley, "Environmental Crises in World History," *Procedia – Social and Behavioural Sciences* 77 (2013): 108–15.

²¹ ↪ Bentley, 113.

Si no se producen cambios revolucionarios en nuestro sistema socioeconómico, esta crisis continuará y se intensificará. A medida que esto ocurra, la acumulación de problemas en el mundo natural amenazará la viabilidad a largo plazo de la civilización global.

A lo largo de los dos últimos siglos, las economías capitalistas ineficientes han descargado grandes cantidades de pérdidas de energía a su entorno natural en forma de residuos, productos químicos, contaminantes y gases de efecto invernadero. El efecto agregado de todos estos residuos y disipaciones ha sido fundamentalmente la alteración de los flujos críticos de energía en toda la ecosfera, desencadenando una importante crisis social

y ecológica en el mundo natural. Esta crisis socioecológica aún está en sus primeras fases, pero ya ha provocado calamidades como la deforestación, el calentamiento global, la acidificación de los océanos y pérdidas sustanciales de biodiversidad.²² Si no se producen cambios revolucionarios en nuestro sistema socioeconómico, esta crisis continuará y se intensificará. A medida que esto ocurra, la acumulación de problemas en el mundo natural amenazará la viabilidad a largo plazo de la civilización global. Los productos que disipamos al medio ambiente pueden ser inútiles para nosotros, pero a menudo sirven como depósitos de energía para otros sistemas dinámicos. Las pérdidas de energía tienen a menudo un efecto amplificador sobre la civilización humana, lo que significa que sus verdaderos costes son mucho mayores de lo que puede ser visible o superficialmente entendido. Pensemos en las condiciones insalubres de las ciudades a lo largo de gran parte de la historia de la humanidad. Las ciudades de las economías premodernas solían estar sucias, con la basura y los desechos saturando muchos espacios públicos. Sin embargo, estas pérdidas de energía eran una fuente crítica de alimento y nutrición para una gran variedad de otros organismos vivos, especialmente insectos y otros pequeños animales que podían sobrevivir en medio de la civilización humana. Cuando estas criaturas se convirtieron en huéspedes de enfermedades mortales, los residuos humanos contribuyeron a concentrar su número precisamente en los peores lugares: las zonas de alta densidad como las ciudades. Como consecuencia, las enfermedades epidémicas solían generar un número de muertos mucho mayor de lo que habrían sido en otras circunstancias, con la inimaginable carnicería de la Peste Negra como principal ejemplo.²³

Hoy nos enfrentamos a nuestras propias versiones de este antiguo problema, pero a una escala mucho mayor. Hay varios tipos de gases en la atmósfera, conocidos como gases de efecto invernadero, capaces de absorber la radiación térmica

El efecto invernadero es fundamental porque hace que la Tierra se caliente lo suficiente como para ser habitable... durante los dos últimos siglos, las naciones ricas han reforzado este proceso natural bombeando grandes cantidades de nuevos gases de efecto invernadero a la atmósfera... un efecto amplificado [que provoca] tormentas, inundaciones, sequías, ciclones, incendios forestales, insectos, virus, bacterias y floraciones de algas.

saliente.²⁴ Cuando estos gases de la atmósfera atrapan y emiten radiación hacia la superficie del planeta, un gran número de fotones excitan los electrones, átomos y moléculas de la superficie hasta estados de mayor energía, en un proceso denominado efecto invernadero. Estas excitaciones y fluctuaciones adicionales a nivel microscópico representan colectivamente el calor que experimentamos a nivel macroscópico. El efecto invernadero es fundamental porque hace que la Tierra se caliente lo suficiente como para ser habitable.²⁵ Sin

embargo, durante los dos últimos siglos, las naciones ricas e industrializadas han reforzado este proceso natural bombeando grandes cantidades de nuevos gases de efecto invernadero a la atmósfera, provocando a su vez un mayor calentamiento global. Este refuerzo artificial del efecto invernadero ya ha tenido profundas consecuencias para nuestra

²² ↪ Robert Falkner, "Climate Change, International Political Economy and Global Energy Policy," in Andreas Goldthau, Michael F. Keating, y Caroline Kuzemko, eds., *Handbook of the International Political Economy of Energy and Natural Resources* (Cheltenham: Elgar, 2018), 77-78.

²³ ↪ Edward Humes, *Garbology: Our Dirty Love Affair with Trash* (London: Penguin, 2013), 30.

²⁴ ↪ W. J. Maunder, *Dictionary of Global Climate Change*, (New York: Springer, 2012), 120.

²⁵ ↪ Maunder, *Dictionary of Global Climate Change*, 120.

especie y otras. Las excitaciones térmicas de un efecto invernadero amplificado actúan a menudo como un poderoso depósito de energía para otros sistemas dinámicos y fenómenos naturales, como tormentas, inundaciones, sequías, ciclones, incendios forestales, insectos, virus, bacterias y floraciones de algas.²⁶

Un planeta que se calienta también podría reforzar los mecanismos de retroalimentación positiva en el clima, capaces de inducir un calentamiento aún mayor, más allá del ya causado por nuestras emisiones de gases de efecto invernadero.

Estos argumentos ponen de manifiesto uno de los defectos más profundos de la teoría económica moderna: carece de fundamento científico. Las filosofías económicas ortodoxas, desde el monetarismo hasta la síntesis neoclásica, se centran en describir las características financieras transitorias del capitalismo, confundiéndolas con leyes de la naturaleza inmutables y universales.

Estos mecanismos, como el derretimiento del hielo marino y el descongelamiento del permafrost, permitirían al planeta absorber más energía solar mientras emite naturalmente grandes cantidades de gases de efecto invernadero.²⁷ El caos resultante haría inútil cualquier intento humano de mitigar el calentamiento global. Esto es precisamente lo que debería preocuparnos: el caos que estamos desatando en el planeta a través del sistema capitalista encontrará la forma de producir un nuevo tipo

de orden, que amenaza a la propia civilización humana. A medida que el capitalismo se expanda, la crisis ecológica se agravará. Los sistemas dinámicos de la naturaleza, que se intensifican, interactuarán cada vez más con nuestras civilizaciones y podrían perturbar gravemente los flujos energéticos vitales que sustentan la reproducción social y las actividades económicas. Las regiones con alta densidad de población sujetas a catástrofes naturales recurrentes son especialmente vulnerables. El ciclón Bhola mató a unas 500.000 personas cuando azotó Pakistán Oriental en 1970, desencadenando una serie de disturbios y protestas masivas que culminaron en una guerra civil y contribuyeron a la creación de un nuevo país, Bangladesh.²⁸ Numerosos estudios han llegado a la conclusión de que la peor sequía que ha sufrido Siria en casi mil años fue en parte responsable de las tensiones sociales y políticas que culminaron en la actual guerra civil.²⁹ El clima es un sistema dinámico resistente capaz de asimilar muchos cambios físicos diferentes, pero esta resistencia tiene sus límites, y la humanidad estará en graves problemas si sigue intentando transgredirlos.

Estos argumentos ponen de manifiesto uno de los defectos más profundos de la teoría económica moderna: carece de fundamento científico. Las filosofías económicas ortodoxas, desde el monetarismo hasta la síntesis neoclásica, se

Cualquier explicación científica de la economía debe partir de la constatación de que los flujos de energía y las condiciones ecológicas—y no ninguna "mano invisible" del mercado—dictan los parámetros macroscópicos a largo plazo de todas las economías.

centran en describir las características financieras transitorias del capitalismo, confundiéndolas con leyes de la naturaleza inmutables y universales. La economía capitalista se ha transformado en gran medida en una filosofía metafísica cuyo objetivo no es proporcionar un fundamento científico a la economía, sino producir una

sofisticada propaganda destinada a proteger la riqueza y el poder de una élite mundial. Cualquier explicación científica de la economía debe partir de la constatación de que los flujos de energía y las condiciones ecológicas—y no ninguna

²⁶ ↪ Uno de los principales trabajos que relaciona el cambio climático con los incendios forestales en Estados Unidos se publicó en 2016; véase John T. Abatzoglou and A. Park Williams, "Impact of Anthropogenic Climate Change on Wildfire across Western US Forests," *PNAS* 113 (2016): 11770–75. Para una guía completa de algunas investigaciones recientes sobre huracanes y cambio climático, véase Jennifer M. Collins and Kevin Walsh, eds., *Hurricanes and Climate Change*, vol. 3 (New York: Springer, 2017). Para una revisión del papel que juega el cambio climático en la propagación de enfermedades infecciosas, véase Xiaoxu Wu et al., "Impact of Climate Change on Human Infectious Diseases: Empirical Evidence and Human Adaption," *Environment International* 86 (2016): 14–23. Para conocer la relación entre el cambio climático y la proliferación de algas, véase Daniel Cressey, "Climate Change Is Making Algal Blooms Worse," *Nature*, April 25, 2017.

²⁷ ↪ Jonathan A. Newman et al., *Climate Change Biology* (Oxfordshire: CABI, 2011), 220–21.

²⁸ ↪ Alan H. Lockwood, *Heat Advisory: Protecting Health on a Warming Planet* (Cambridge: MIT Press, 2016), 103.

²⁹ ↪ Bruce E. Johansen, *Climate Change: An Encyclopedia of Science, Society, and Solutions* (Santa Barbara: ABC-CLIO, 2017), 19–20.

"mano invisible" del mercado—dictan los parámetros macroscópicos a largo plazo de todas las economías. Las aportaciones más importantes en este sentido proceden del campo de la economía ecológica, sobre todo de las obras fundamentales de los economistas Nicholas Georgescu-Roegen y Herman Daly, pero también del ecologista de sistemas Howard Odum.³⁰ El propio Marx incorporó las preocupaciones ecológicas a su pensamiento económico y político.³¹ Las aportaciones de estos y otros pensadores revelaron que las características económicas del mundo son propiedades emergentes conformadas por realidades físicas y condiciones ecológicas subyacentes, lo que hace que la comprensión de estas condiciones sea fundamental para cualquier entendimiento básico de la economía.

El pensamiento ecológico difiere de las escuelas ortodoxas de economía en aspectos fundamentales. Lo más importante es que la teoría ecológica sostiene que no podemos seguir tratando el despilfarro y las pérdidas disipadoras como "externalidades" y "costes de la actividad empresarial", dada la importancia que pueden tener estas pérdidas de energía en la configuración de la evolución dinámica de los sistemas económicos. Lo que los economistas convencionales llaman "externalidades" incluye los productos físicos que arrojamamos al medio ambiente, desde contaminantes y basura plástica hasta productos químicos tóxicos y gases de efecto invernadero. Las consecuencias de las pérdidas extremas de

las pérdidas de energía de nuestras economías modernas son tan grandes e intensas que están empezando a alterar fundamentalmente los flujos de energía de toda la ecosfera,... si los efectos asociados a nuestras pérdidas de energía llegan a ser lo suficientemente potentes como para destruir las funciones normales de nuestras civilizaciones, ninguna política económica ingeniosa nos salvará de la ira de la naturaleza.

energía pueden tener un efecto profundo en la evolución futura de los sistemas dinámicos. Como subrayan continuamente los científicos, las pérdidas de energía de nuestras economías modernas son tan grandes e intensas que están empezando a alterar fundamentalmente los flujos de energía de toda la ecosfera, desde el refuerzo del efecto invernadero hasta la química cambiante de los océanos. Algunas de estas nuevas concentraciones de energía actúan entonces como depósitos que alimentan la formación y el funcionamiento de otros sistemas dinámicos, que a menudo

perturban las actividades normales de la civilización. De ahí la razón fundamental por la que nuestras acciones económicas no pueden desvincularse del mundo natural: si los efectos asociados a nuestras pérdidas de energía llegan a ser lo suficientemente potentes como para destruir las funciones normales de nuestras civilizaciones, ninguna política económica ingeniosa nos salvará de la ira de la naturaleza.

La mayoría de los gobernantes de hoy creen que podemos gestionar cuidadosamente el capitalismo y evitar los peores efectos de la crisis ecológica. Una corriente popular de optimismo tecnológico sostiene que la innovación puede

La mayoría de los gobernantes de hoy creen que podemos gestionar cuidadosamente el capitalismo y evitar los peores efectos de la crisis ecológica. Una corriente popular de optimismo tecnológico sostiene que la innovación puede resolver los problemas ecológicos fundamentales.

resolver los problemas ecológicos fundamentales a los que se enfrenta la humanidad. Se han propuesto varias soluciones diferentes para arreglar nuestros males ecológicos, desde la adopción de fuentes de energía renovables hasta programas más extravagantes como el almacenamiento y secuestro de carbono. Todas estas ideas comparten la presunción de que el

³⁰ ↪ For one of the first major works attempting to ground economics in physics, see Nicholas Georgescu-Roegen, *The Entropy Law and the Economic Process* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971). Georgescu-Roegen's initial arguments have been refined and developed by subsequent generations of thinkers who recognise that economic activity is constrained by physical laws. Among them was Herman Daly, a leading exponent of the idea that economic growth will not last forever, whose works have had a profound influence on the ecological movement. For a succinct overview of his thought, see Herman E. Daly, *Beyond Growth* (Boston: Beacon, 1997). Perhaps the greatest ecological systems theorist was Howard Odum, who did a masterful job explaining the mechanisms that link human societies to their natural environments. For an explanation of his theories, see Howard Odum, *Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century* (New York: Columbia University Press, 2007).

³¹ ↪ John Bellamy Foster, *Marx's Ecology* (New York: Monthly Review Press, 2000), 9–10.

capitalismo en sí no tiene que cambiar, porque las soluciones tecnológicas siempre estarán disponibles para ofrecer más crecimiento económico y un medio ambiente más saludable. Desde Pekín hasta Silicon Valley, a los tecno-capitalistas

La razón última por la que esta estrategia fracasará a largo plazo es que la naturaleza impone límites físicos absolutos a la eficiencia que ningún grado de progreso tecnológico puede superar.

les gusta argumentar que el capitalismo puede seguir funcionando gracias a las ganancias en eficiencia energética.³² La razón última por la que esta estrategia fracasará a largo plazo es que la naturaleza impone límites físicos absolutos a la eficiencia que ningún grado de progreso tecnológico puede superar. La reciente ruptura de la Ley de Moore a causa de los efectos cuánticos es un ejemplo notable.³³ Otro

es la barrera de eficiencia que el ciclo de Carnot supone para todos los motores térmicos prácticos.³⁴

Pero nuestras preocupaciones más acuciantes tienen que ver con las relaciones subyacentes entre la innovación tecnológica y el crecimiento económico. La fe en las soluciones tecnológicas contribuye a fomentar una mayor innovación tecnológica y un mayor crecimiento económico, lo que aumenta las exigencias generales impuestas al mundo biofísico y la disipación asociada al sistema capitalista. Podemos examinar estas relaciones observando en primer lugar cómo responden las personas y los sistemas económicos a las ganancias de eficiencia. Para saber si el capitalismo puede aportar grandes mejoras de eficiencia, necesitamos desarrollar una teoría general que explique cómo cambia la eficiencia colectiva de nuestros sistemas económicos a lo largo del tiempo.

Cuando la eficiencia del combustible mejora, solemos recorrer más distancias en coche. Cuando la electricidad se abarata, solemos alimentar más aparatos. Incluso aquellos que se enorgullecen de ahorrar energía en casa mediante el

La gente suele tomar los ahorros en un área y cambiarlos por gastos en otra. Este fenómeno se conoce generalmente como la paradoja de Jevons, [que] afirma que los aumentos de la eficiencia energética suelen utilizarse para ampliar la acumulación y la producción, lo que conduce a un mayor consumo de los mismos recursos que las mejoras de la eficiencia debían conservar.

reciclaje, el compostaje y otras actividades, están más que contentos de subirse a un avión y volar por medio mundo para pasar unas vacaciones. La gente suele tomar los ahorros en un área y cambiarlos por gastos en otra. Lo que acabamos haciendo con las ganancias de eficiencia puede ser a veces tan importante como las propias ganancias. En los estudios ecológicos, este fenómeno se conoce generalmente como la paradoja de Jevons, que revela que los efectos previstos de las mejoras de eficiencia no

siempre se materializan.³⁵ Formulada por primera vez a mediados del siglo XIX por el economista británico William Stanley Jevons, la paradoja afirma que los aumentos de la eficiencia energética suelen utilizarse para ampliar la acumulación y la producción, lo que conduce a un mayor consumo de los mismos recursos que las mejoras de la eficiencia debían conservar. El aumento de la eficiencia conduce a un abaratamiento de los bienes y servicios, lo que fomenta una mayor demanda y un mayor gasto, lo que conduce a un mayor consumo de energía.³⁶ Jevons describió por primera vez este efecto en el contexto de la energía del carbón y las máquinas de vapor. Observó que las mejoras en la eficiencia de las máquinas de vapor habían fomentado un mayor consumo de carbón en Gran Bretaña, lo que implicaba que el aumento de la eficiencia energética no suponía realmente un ahorro de energía.

³² ↪ For a formal academic explanation of this view, see Lea Nicita, "Shifting the Boundary: The Role of Innovation," in Valentina Bosetti et al., eds., *Climate Change Mitigation, Technological Innovation, and Adaptation* (Cheltenham: Elgar, 2014), 32–39.

³³ ↪ Tom Simonite, "Moore's Law Is Dead. Now What?" *MIT Technology Review*, May 13, 2016.

³⁴ ↪ Atkins, *Four Laws That Drive the Universe*, 51–52.

³⁵ ↪ John Bellamy Foster, *Ecology Against Capitalism* (New York: Monthly Review Press, 2002), 94.

³⁶ ↪ Foster, *Ecology Against Capitalism*, 94.

Las variaciones de esta paradoja se conocen en economía como efecto rebote. La mayoría de los economistas aceptan que algunas versiones del efecto son reales, pero no se ponen de acuerdo sobre la magnitud y el alcance del problema. Algunos creen que los efectos de rebote son irrelevantes, argumentando que las mejoras en la eficiencia fomentan niveles más bajos de consumo de energía a largo plazo.³⁷ En una revisión exhaustiva de la literatura sobre el tema, el Centro de Investigación Energética del Reino Unido determinó que las versiones más extremas del efecto rebote probablemente ya no se aplican a las economías desarrolladas. Sin embargo, también argumentaron que todavía pueden producirse grandes efectos de rebote en nuestras economías. Llegaron a la siguiente conclusión "sería un error suponer que... los efectos de rebote son tan pequeños que pueden ignorarse. En algunas circunstancias (por ejemplo, en el caso de tecnologías energéticamente eficientes que mejoren significativamente la productividad de las industrias que hacen un uso intensivo de la energía) los efectos de rebote en toda la economía pueden superar el 50% y podrían aumentar el consumo de energía a largo plazo".³⁸ El hecho de que sean posibles efectos de rebote significativos en toda la economía debería hacernos reflexionar sobre la utilidad de las estrategias de eficiencia para combatir la crisis ecológica y el cambio climático. De hecho, todo este argumento oculta una incertidumbre más importante: el problema de si las mejoras de la eficiencia pueden llegar lo suficientemente rápido como para aliviar las peores consecuencias de la crisis ecológica, que aún están por llegar. Dada la mecánica y los incentivos del capitalismo, deberíamos tener cuidado con el actual enamoramiento del optimismo de la eficiencia.

Para aclarar estos argumentos, necesitamos una teoría que explique el papel de la eficiencia en el contexto más amplio del progreso tecnológico. El efecto rebote y la paradoja de Jevons se centran en comprender cómo se comportan las

La expansión de la producción mecánica facilitada por el progreso tecnológico suele conducir a sociedades más intensivas en energía en las que quienes controlan los medios de producción pueden generar mayores excedentes y beneficios.

personas y los sistemas económicos en respuesta a las ganancias de eficiencia. Sin embargo, es más fundamental la tarea de comprender la evolución general de las eficiencias colectivas durante largos periodos de tiempo. El tema dominante de la innovación tecnológica a lo largo de la historia ha sido el esfuerzo por trasladar la carga del uso

de la energía de los músculos humanos a otros sistemas físicos y biológicos, como los animales, las máquinas y los ordenadores. Consideremos los coches, las bicicletas, los aviones, los microondas, los lavavajillas, las aspiradoras y prácticamente todas las "maravillas" de la vida moderna: su objetivo central es aprovechar la energía y realizar tareas que normalmente requerirían el esfuerzo de los músculos humanos. Los robots y la inteligencia artificial se han puesto de moda recientemente, listos para lanzarse a realizar tareas serviles que no deseamos hacer. La expansión de la

La innovación tecnológica bajo el capitalismo ha aumentado la cantidad de trabajo mecánico colectivo que las economías pueden generar, y también ha disparado la tasa de consumo de energía. Pero no ha cambiado la eficiencia colectiva, lo que implica que las mayores tasas de crecimiento económico suelen ir acompañadas de mayores pérdidas de energía.

producción mecánica facilitada por el progreso tecnológico suele conducir a sociedades más intensivas en energía en las que quienes controlan los medios de producción pueden generar mayores excedentes y beneficios. La innovación tecnológica bajo el capitalismo, en particular, ha aumentado la cantidad de trabajo mecánico colectivo que las economías pueden generar, y también ha disparado la tasa de consumo de energía de nuestros entornos naturales. Pero no ha cambiado fundamentalmente la eficiencia colectiva, lo que implica que las

mayores tasas de crecimiento económico suelen ir acompañadas de mayores pérdidas de energía.

³⁷ ↪ Evan Mills, "Efficiency Lives—The Rebound Effect, Not So Much," ThinkProgress, September 13, 2010, <http://thinkprogress.org/>.

³⁸ ↪ Steven Sorrell, *The Rebound Effect* (London: UK Energy Research Centre, 2007), 92.

Los sistemas económicos suelen utilizar nuevas fuentes de energía para ampliar la producción, el consumo y la acumulación, no para mejorar fundamentalmente la eficiencia. Desde el cultivo de plantas y la domesticación de animales hasta la quema de combustibles fósiles y la invención de la electricidad, el dominio y el descubrimiento de nuevas fuentes de energía ha producido generalmente sociedades más intensivas en energía. Aunque cualquier sistema económico puede obtener ganancias de eficiencia, éstas son incidentales y secundarias con respecto al objetivo más amplio de la acumulación. La eficiencia global de un sistema económico es altamente inercial, cambiando a un ritmo glacial. Este mismo proceso se está produciendo ahora con las emisiones de gases de efecto invernadero, aunque la crisis ecológica va mucho más allá de este problema. Los dirigentes políticos y empresariales han esperado durante años que el progreso tecnológico permitiera, de alguna manera, aumentar las tasas de crecimiento económico y reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Las cosas no han ido según lo previsto. En 2017 se produjo un aumento sustancial de las emisiones nocivas a nivel mundial, desafiando incluso los modestos objetivos del Acuerdo de París.³⁹ Incluso antes de eso, las Naciones Unidas habían advertido de una brecha "inaceptable" entre las promesas de los gobiernos y las reducciones de emisiones necesarias para evitar algunas de las peores consecuencias del cambio climático.⁴⁰ Los desafíos de impulsar la eficiencia son más evidentes cuando vemos el capitalismo a escala global: aunque muchas naciones desarrolladas han logrado mejoras modestas pero medibles en sus eficiencias colectivas, estas ganancias han sido socavadas por las economías en desarrollo que aún están en proceso de industrialización.⁴¹ Evidentemente, los cambios sustanciales en la eficiencia colectiva de cualquier sistema económico rara vez se materializan en períodos cortos de tiempo. El crecimiento tecnológico bajo el régimen del capitalismo aportará algunos avances adicionales en materia de eficiencia, pero sin duda no serán suficientes para evitar las peores consecuencias de la crisis ecológica.

Una de las mejores maneras de entender la inercia de las eficiencias colectivas es comparar las eficiencias energéticas bajo el capitalismo con las de los días de trashumancia de la humanidad, hace más de diez mil años. Recordemos que

Los motores Tesla de Musk tienen una eficiencia operativa fenomenal, [pero] la electricidad necesaria para hacerlos funcionar suele proceder de fuentes mucho más ineficientes, como las centrales eléctricas de carbón. Si conduces un Tesla, las sucias fuentes de energía que lo alimentan significan que tu increíble producto tecnológico produce aproximadamente las mismas emisiones de carbono que un Honda Accord... Las economías capitalistas están interesadas en hacer crecer sus beneficios y niveles de producción y no en mejorar significativamente la eficiencia.

los músculos humanos realizaban la mayor parte del trabajo en las sociedades nómadas, y la eficiencia de nuestros músculos es de aproximadamente un 20%, quizás mucho más en circunstancias especiales.⁴² A modo de comparación, la mayoría de los motores de combustión de gasolina tienen una eficiencia de aproximadamente el 15%, las centrales eléctricas de carbón tienen una media global de alrededor del 30%, y la gran mayoría de los sistemas fotovoltaicos comerciales están en torno al 15-20%.⁴³ Todas estas cifras varían en función de un amplio abanico de condiciones físicas, pero en lo que respecta a la eficiencia, podemos concluir sin temor a equivocarnos que los activos dominantes del capitalismo difícilmente superan a los

³⁹ ↪ Jeff Tollefson, "World's Carbon Emissions Set to Spike by 2% in 2017," *Nature*, November 13, 2017.

⁴⁰ ↪ Fiona Harvey, "UN Warns of 'Unacceptable' Greenhouse Gas Emissions Gap," *Guardian*, October 31, 2017.

⁴¹ ↪ Nijavalli H. Ravindranath and Jayant A. Sathaye, *Climate Change and Developing Countries* (New York: Springer, 2006), 35.

⁴² ↪ Zhen-He He et al, "ATP Consumption and Efficiency of Human Single Muscle Fibers with Different Myosin Isoform Composition," *Biophysical Journal* 79 (2000): 945–61.

⁴³ ↪ On the efficiency of internal combustion engines, see Efstathios E. Stathis Michaelides, *Alternative Energy Sources*, (New York: Springer, 2012), 411. For coal-fired power plants, see R. Sandström, "Creep Strength of Austenitic Stainless Steels for Boiler Applications," in A. Shibli, ed., *Coal Power Plant Materials and Life Assessment* (Amsterdam: Elsevier, 2014), 128. On the efficiency of photovoltaic cells, see Friedrich Sick and Thomas Erge, *Photovoltaics in Buildings* (London: Earthscan, 1996), 14.

músculos humanos, incluso después de tres siglos de rápidos avances tecnológicos. El coste y la conveniencia son las principales razones por las que la innovación tecnológica funciona así, haciendo hincapié en el rendimiento mecánico y la escala de producción a expensas de la eficiencia. Las grandes ganancias de eficiencia son extremadamente difíciles

15.000 científicos de más de 180 naciones firmaron una carta en la que daban la voz de alarma sobre la crisis ecológica y lo que nos espera en el futuro. Su pronóstico era sombrío, y sus propuestas—intencionadamente o no—equivalían a un repudio total del capitalismo moderno.

de conseguir, tanto en términos físicos como económicos. De vez en cuando aparece un James Watt o un Elon Musk con un invento asombroso, pero esos productos no representan toda la economía. La máquina de vapor de Watt supuso una gran mejora con respecto a los modelos anteriores, pero su eficiencia térmica era de sólo un 5% en el mejor de los casos.⁴⁴ Y aunque los motores Tesla de Musk

tienen una eficiencia operativa fenomenal, la electricidad necesaria para hacerlos funcionar suele proceder de fuentes mucho más ineficientes, como las centrales eléctricas de carbón. Si conduces un Tesla en Ohio o Virginia Occidental, las sucias fuentes de energía que lo alimentan significan que tu increíble producto tecnológico produce aproximadamente las mismas emisiones de carbono que un Honda Accord.⁴⁵ La eficiencia colectiva de las economías capitalistas sigue siendo relativamente baja porque estas economías están interesadas en hacer crecer sus beneficios y niveles de producción, y no en realizar las enormes inversiones necesarias para mejorar significativamente la eficiencia.

En noviembre de 2017, un grupo de 15.000 científicos de más de 180 naciones firmaron una carta en la que daban la voz de alarma sobre la crisis ecológica y lo que nos espera en el futuro.⁴⁶ Su pronóstico era sombrío, y sus propuestas—intencionadamente o no—equivalían a un repudio total del capitalismo moderno. Entre sus muchas y útiles recomendaciones se encuentra un llamamiento a "revisar nuestra economía para reducir la desigualdad de la riqueza y

Los gobiernos y los movimientos populares de todo el mundo deberían desarrollar y aplicar medidas radicales que ayuden a que la humanidad pase del capitalismo al ecologismo... Para que la civilización humana sobreviva durante miles de años, y no sólo unos pocos siglos más, debemos reducir drásticamente nuestras ambiciones económicas y centrarnos en mejorar la calidad de vida de nuestras comunidades, incluida nuestra comunidad con la naturaleza. En lugar de intentar dominar el mundo natural, debemos cambiar de rumbo y coexistir con él.

garantizar que los precios, los impuestos y los sistemas de incentivos tengan en cuenta los costes reales que los patrones de consumo imponen a nuestro medio ambiente". Nuestro problema fundamental es fácil de enunciar: la civilización moderna consume demasiada energía. Y la solución a este problema es igualmente fácil de enunciar, pero muy difícil de poner en práctica: la humanidad debe reducir la tasa de consumo de energía que ha prevalecido en los tiempos modernos. La mejor manera de reducir esa tasa no es mediante delirios mesiánicos de progreso tecnológico, sino rompiendo

las estructuras e incentivos del capitalismo, con su afán de lucro y producción, y estableciendo un nuevo sistema económico que priorice un futuro compatible con nuestro mundo natural.

Los gobiernos y los movimientos populares de todo el mundo deberían desarrollar y aplicar medidas radicales que ayuden a que la humanidad pase del capitalismo al ecologismo. Estas medidas deberían incluir impuestos punitivos y topes a la riqueza extrema, la nacionalización parcial de las industrias que consumen mucha energía, la amplia redistribución de bienes y recursos económicos a los pueblos pobres y oprimidos, restricciones periódicas al uso de

⁴⁴ ↪ Robert T. Balmer, *Modern Engineering Thermodynamics* (Cambridge: Academic Press, 2011), 454.

⁴⁵ ↪ Will Oremus, "How Green Is a Tesla, Really?" *Slate*, September 9, 2013, <http://slate.com>.

⁴⁶ ↪ William J. Ripple et al., "World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice," *BioScience* 20, no. 10 (2017): 1–3.

bienes de capital y sistemas tecnológicos, grandes inversiones públicas en tecnologías de energía renovable más eficientes, fuertes reducciones de las horas de trabajo, y quizás incluso la adopción del veganismo masivo entre las naciones industrializadas que ya no dependen de los animales para la producción de alimentos. Las prioridades económicas del proyecto ecológico deberían centrarse en mejorar nuestra actual calidad de vida, no en tratar de generar altos niveles de crecimiento económico para aumentar los beneficios capitalistas. Para que la civilización humana sobreviva durante miles de años, y no sólo unos pocos siglos más, debemos reducir drásticamente nuestras ambiciones económicas y centrarnos en mejorar la calidad de vida de nuestras comunidades, incluida nuestra comunidad con la naturaleza. En lugar de intentar dominar el mundo natural, debemos cambiar de rumbo y coexistir con él.

Vínculos relacionados:

- La Alianza Global Jus Semper
- Monthly Review
- John Bellamy Foster y Alejandro Pedregal: [El Retorno de la Naturaleza y la Ecología de Marx](#)
- John Bellamy Foster: [La Crítica Abierta de Marx — Doscientos años después del nacimiento de Marx, la lucha no ha hecho más que empezar...](#)
- John Bellamy Foster: [La Larga Revolución Ecológica](#)
- John Bellamy Foster: [Marxismo y Ecología](#)
- John Bellamy Foster and Brett Clark: [La Expropiación de la Naturaleza](#)
- Álvaro J. de Regil Castilla: [Transitando a Geocracia — Paradigma de la Gente y el Planeta y No el Mercado — Primeros Pasos](#)
- Paul Burkett: [¿Un Punto de Inflexión Eco-Revolucionario? Calentamiento Global, las Dos Negaciones Climáticas y el Proletariado Ambiental](#)
- Ian Angus: [¿Cuándo Comenzó el Antropoceno... y por qué es importante?](#)

❖ **Acerca de Jus Semper:** La Alianza Global Jus Semper aspira a contribuir a alcanzar un ethos sostenible de justicia social en el mundo, donde todas las comunidades vivan en ámbitos verdaderamente democráticos que brinden el pleno disfrute de los derechos humanos y de normas de vida sostenibles conforme a la dignidad humana. Para ello, coadyuva a la liberalización de las instituciones democráticas de la sociedad que han sido secuestradas por los dueños del mercado. Con ese propósito, se dedica a la investigación y análisis para provocar la toma de conciencia y el pensamiento crítico que generen las ideas para la visión transformadora que dé forma al paradigma verdaderamente democrático y sostenible de la Gente y el Planeta y NO del mercado.

❖ **Acerca del autor:** Erald Kolasi es investigador asociado del Centro de Política de Ingresos y Prestaciones del Instituto Urbano. Desarrolla modelos informáticos y simulaciones diseñadas para estudiar los efectos de las políticas económicas y de jubilación propuestas. Sus áreas de investigación incluyen los sistemas de pensiones estatales y locales, la Seguridad Social y el presupuesto federal. Kolasi se licenció en física e historia en la Universidad de Virginia y obtuvo su máster y su doctorado en la Universidad George Mason, ambos en física.



❖ **Acerca de este trabajo:** Este artículo fue publicado originalmente en inglés por la revista Monthly Review en mayo de 2018. Este ensayo ha sido publicado bajo Creative Commons, CC-BY-NC-ND 4.0. Se puede reproducir el material para uso no comercial, acreditando al autor y proporcionando un enlace al editor original.

❖ **Cite este trabajo como:** Erald Kolasi: La Física del Capitalismo – La Alianza Global Jus Semper, Abril de 2021.

❖ **Etiquetas:** Capitalismo, Marx, Ecología marxista, Fractura metabólica, Economía política, Teoría del crecimiento económico, Física, Disipación de energía, Termodinámica, Paradoja de Jevons.

❖ La responsabilidad por las opiniones expresadas en los trabajos firmados descansa exclusivamente en su(s) autor(es), y su publicación no representa un respaldo por parte de La Alianza Global Jus Semper a dichas opiniones.



Bajo licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

© 2021. La Alianza Global Jus Semper
Portal en red: https://www.jussemper.org/Inicio/Index_castellano.html
Correo-e: informa@jussemper.org