

## Conference proceedings

# El decrecimiento y la sostenibilidad analizados desde la perspectiva de la termodinámica de los procesos irreversibles

Joan García-González

ECOCONCERN

*Joangarmovi@moviments.net*

**2nd Conference  
on Economic  
Degrowth  
For Ecological Sustainability  
and Social Equity**

**BARCELONA  
26th-29th March 2010**





## Resumen / Abstract

---

La termodinámica de los procesos irreversibles ha ampliado las aportaciones de la termodinámica clásica en su aplicación en el establecimiento de una sociedad humana viable y perdurable. En la actualidad, nuestra sociedad tiene graves problemas de sostenibilidad. Para resolverlo, se plantean correcciones de decrecimiento para poder consolidarla de un modo sostenible dentro de unos estados estacionarios de carácter no estático, pues forman parte de un proceso evolutivo. Éste sigue los puntos bifurcativos que emergen cuando los sistemas con características de estructuras disipativas, sufren fluctuaciones desestabilizadoras en sus estados estacionarios metaestables. En estas circunstancias, caben unas acciones de planificación en las que debe superarse el clásico criterio del equilibrio por el del estado estacionario, y el principio de homeostasis, por el de resiliencia. Aparte de las herramientas aportadas por la termodinámica de los procesos irreversibles y otras contribuciones tecnocientíficas, también cabe observar que toda elaboración de sostenibilidad y de decrecimiento sólo será posible, a su vez, dentro de un marco de valores éticos y estéticos.

## Palabras clave / Keywords

---

Termodinámica procesos irreversibles, decrecimiento, sostenibilidad, estacionario

## 1 Introduction

---

En los últimos tiempos, ha surgido la necesidad de reducir el creciente sistema de producción y consumo en las sociedades industrializadas, ya que tales actuaciones están conduciendo a un colapso irremediable.

Para resolver tal situación, se han elaborado propuestas de cómo organizarnos en una sociedad estable. En un principio, estas propuestas se estructuraron alrededor del paradigma del ecodesarrollo, y finalmente se polarizó en torno al principio del desarrollo sostenible. A pesar de que autores como H. Daly han precisado una diferenciación entre los conceptos crecimiento y desarrollo, este último, al ser manipulado y tergiversado, a menudo sólo ha servido para mantener la fe ciega en el modelo económico basado en el principio del crecimiento ilimitado.

Para resolver los problemas generados por este sistema económico, no basta con detenernos y organizarnos a partir de ahora de un modo viable y perdurable, sino que es necesario realizar una marcha atrás con medidas de decrecimiento para corregir las actuaciones insostenibles realizadas, pues hace tiempo que se ha superado la capacidad de carga de los sistemas físicos en los que estamos instalados, y las previsibles soluciones tecnooptimistas que a veces se han esgrimido, no han resuelto los problemas.

El presente trabajo es un estudio de los temas del decrecimiento y de la sostenibilidad desde la perspectiva de la termodinámica. Esta disciplina, al investigar los procesos energéticos, nos facilita establecer con rigor los modos de estructurar tanto el decrecimiento como la sostenibilidad en nuestra sociedad. Esta relación entre la economía y la termodinámica ya ha sido objeto de investigación y, modernamente, gracias a las nuevas aportaciones de la termodinámica de los procesos irreversibles (Proops, 1983, Prigogine, 1955) nos ha facilitado el modelo de los estados estacionarios, para organizarnos en unas aceptables previsiones de futuro para la humanidad, siempre teniendo en cuenta que al estar ubicados en el planeta Tierra conlleva unas limitaciones físicas y temporales. En el primer congreso del decrecimiento (Paris 2008) ya se estableció una conexión entre decrecimiento y estados estacionarios.

Tanto desde la perspectiva de organizarnos sosteniblemente, como en las correcciones del decrecimiento, se deberá tener presente que siempre estaremos situados en un contexto evolutivo. Es decir, las propuestas presentadas no han de suponer el estancamiento en un estado estacionario idílico pasado o futuro. Dentro de los elementos evolutivos caben diversas interpretaciones -la darwinista clásica sólo nos ofrece el mecanismo del azar y la necesidad-, pero en otros modelos que aquí analizaremos, veremos como aparecen otras perspectivas donde quizás deban incorporarse acciones de planificación propias de una noosfera que supere el seguir sólo rutas contingentes, como las que se han dado en la biosfera, según un modelo evolutivo guiado por el relojero ciego.

Utilizaremos los elementos de la termodinámica de los procesos irreversibles, tanto en condiciones lineales como en las no lineales, pues a diferencia de la termodinámica clásica, que sólo estudia la estabilidad de los sistemas en condiciones de equilibrio, esta nueva formulación de la termodinámica nos permite estudiar los sistemas más o menos alejados de las condiciones de equilibrio, tanto en estados estacionarios metaestables como en sus saltos evolutivos en los puntos bifurcativos. Los sistemas económicos, al igual que los organismos vivos, son abiertos, es decir, intercambian energía y materia con el entorno y, por su carácter de estructuras disipativas, nos permiten establecer estados de estabilidad llamados estacionarios que en modo alguno conllevan criterios estáticos, pues están siempre abiertos a procesos de creciente complejidad vía rutas evolutivas. Cuando por la aparición de fluctuaciones se pueden romper situaciones de metaestabilidad, y a través de procesos bifurcativos abrirse a nuevas formulaciones de estabilidad, observamos que se da además un claro proceso evolutivo hacia complejidades crecientes.

En estas situaciones, introduciremos una específica interpretación de los principios de la resiliencia, frente a los de homeostasis, propios de las situaciones de equilibrio en general y, en concreto, en sus

tradicionales aplicaciones en economía. Todo ello, a su vez, estará abierto a situaciones evolutivas que nos facilitarán estudios de prospectivas. En este contexto, cabe analizar cómo la tecnosfera puede desarrollar todos los potenciales de la antroposfera y, de este modo, superar los supuestos de la biosfera sin oponerse a los condicionantes de ésta. Finalmente, aun cuando estas contribuciones de la termodinámica son claves para la solución de los temas del decrecimiento y la sostenibilidad, también hay otros elementos a tener en cuenta. Aquí citaremos a título de ejemplos algunas de estas contribuciones, como las que se dan desde la perspectiva de la ética y de la estética.

## **2 Termodinámica y economía, un breve recordatorio de los desencuentros entre ambas disciplinas**

---

Toda investigación científica en sistemas en los que intervienen procesos energéticos es tributaria de un análisis termodinámico. El estudio de la economía no es ninguna excepción. Si bien es lógico que en las primeras formulaciones de la economía moderna, autores como A. Smith y Malthus no manejaron estos criterios, pues fueron anteriores al establecimiento de la termodinámica, no existe en principio la misma justificación para soslayar las formulaciones termodinámicas en autores posteriores como Ricardo o el mismo K. Marx. Ninguno de ellos incorporó a sus teorías económicas los principios termodinámicos que simultáneamente la ciencia física ya iba estableciendo, máxime cuando algunos tuvieron acceso a propuestas de utilización de la termodinámica.

Si bien a los anteriores autores se les puede otorgar el beneficio de que no estuvieran actualizados con los elementos de una rama moderna de la ciencia que se estaba abriendo paso por aquel entonces, no puede darse el mismo descargo en posteriores investigadores, de modo que sólo hasta hace poco se ha corregido tal olvido y se han empezado a incorporar en los estudios de economía criterios termodinámicos. Si bien existieron algunas voces pioneras que como las de Podolinsky, W. Ostwald, F. Soddy entre otros, que ya recomendaron la necesidad de resituar las formulaciones termodinámicas dentro del campo de la economía, sólo después de las contribuciones de Georgecu Rogen se concretiza la incorporación de los criterios termodinámicos en la economía. No obstante, tales aportaciones sufrieron dificultades incompresibles de reconocimiento académico. Finalmente, a finales del siglo XX ya se establece una línea de investigación permanente que las recoge dentro del ámbito de la Economía Ecológica, donde no sólo se incorporan los principios termodinámicos en el estudio de la economía, sino que además se resitúa ésta también dentro del marco olvidado de la ecología.

## **3 Breve presentación de las aportaciones de la termodinámica al estudio de decrecimiento y la sostenibilidad**

---

La termodinámica clásica, a pesar de la limitación de investigar sólo los estados en equilibrio, ha facilitado el estudio de los flujos energéticos y de materiales, tanto en los sistemas inertes como en los organismos vivos. En estos últimos, en una primera aproximación, parecía que era difícil interpretar sus procesos de complejidad creciente dentro del marco entrópico.

Más recientemente, la termodinámica de los procesos irreversibles en sistemas no lineales y lejos de las condiciones de equilibrio, nos ha facilitado valiosas herramientas para abordar plenamente el estudio de los organismos vivos y, por extensión, también nuestros sistemas socioeconómicos. Aquí, presentamos de un modo resumido sus aportaciones generales ya conocidas en la bibliografía, para luego incorporar unas reflexiones para enlazar los procesos bifurcativos con propuestas evolutivas modernas y, en concreto, la ubicación de los procesos del decrecimiento en la sostenibilidad.

Esta nueva formulación termodinámica nos recuerda que los organismos vivos así como la biosfera en

general, al operar como estructuras disipativas, logran mantener su complejo entramado de vida gracias a degradar permanentemente la radiación electromagnética recibida del Sol. En lugar de la previsible evolución hacia el mayor grado de desorden, esta aportación energética solar nos facilita no sólo organizarnos de un modo sostenible sino, a su vez, avanzar por la senda de un mayor orden y complejidad creciente pasando por unos estados “estacionarios” metaestables. Aquí recogemos este último calificativo empleado en termodinámica que, por cierto, también era utilizado por los padres de la economía, como A. Smith, Ricardo y en especial por J.S. Mill. En cambio, en la actualidad, desde el campo de la economía más bien se suele emplear el calificativo de estado “estable” en lugar de “estacionario”. Utilizamos el calificativo de estacionarios en plural porque pueden darse, vía procesos bifurcativos, distintos estados estacionarios sucesivos o contrapuestos, a partir de las situaciones de fluctuaciones desestabilizadoras originadas por perturbaciones de distinta naturaleza. En los sistemas socioeconómicos, estos elementos de cambio suelen estar ligados a innovaciones tecnológicas y cambios de estilos de vida. Estas últimas actuaciones son cruciales, pues si sólo operan las acciones tecnológicas, éstas pueden correr el peligro de verse contrarrestadas por el llamado efecto rebote, con lo cual se puede llegar no sólo a destruir los logros alcanzados con las tecnoinnovaciones sino incluso retroceder desde la perspectiva de la sostenibilidad.

En el planeta Tierra, en el período abiótico, la materia inerte ha evolucionado según los criterios termodinámicos hacia estados de máximos valores entrópicos; es decir, a situaciones de equilibrio químico que sólo quedaban afectadas por variables como la temperatura o la presión en base al principio de Chatelier.

Una vez surgida la vida, parecía que la biosfera dejaba de cumplir la degradación entrópica, pues en los seres vivos, se daba la formación de estructuras cada vez más complejas -aunque temporales- en aparente contradicción con los principios entrópicos. Los organismos vivos se estabilizan en sistemas de estados estacionarios donde se dan disminuciones entrópicas locales, sólo gracias a exportar a su entorno la entropía que ellos generan; no obstante, según la formulación del segundo principio de la termodinámica, de un modo global la biosfera y su entorno en conjunto se orientan hacia valores de entropía crecientes.

La termodinámica de los procesos irreversibles muy alejados de la situación de equilibrio, nos facilita una buena explicación, no sólo del funcionamiento de la biosfera y de sus procesos evolutivos, sino que si se aplican en la antroposfera nos suministra las bases para organizar la sociedad humana de un modo sostenible. Pues la sociedad humana opera según los mismos mecanismos de funcionamiento que el resto de la biosfera, que degradan la energía y evoluciona hacia órdenes de complejidad creciente.

Toda sostenibilidad debe situarse dentro de unos límites temporales; así, la mayoría de las especies que han existido ya se han extinguido. Por la misma razón, cabe esperar lo mismo para la especie humana. Desde una perspectiva muy lejana, está el fin de nuestro astro solar dentro de unos cuatro mil quinientos millones de años, al consumir todo su combustible nuclear. Enfrente de esta última eventualidad, a la humanidad sólo le quedaría el recurso de escapar de nuestro sistema solar gracias a unas previsible proezas de nuestra tecnosfera. Fuera de esta situación, que más bien situaríamos en una perspectiva de ciencia ficción y dejando aparte otros finales como los ligados a la desestabilización de la órbita sideral del planeta Tierra o a movimientos de su corteza terrestre, cuando hablamos de situaciones estables y perdurables de la humanidad, siempre nos situamos en una temporalidad más reducida: décadas o siglos, y a lo máximo milenios. Así, cuando desde el campo socioeconómico se habla de estados estables, es obvio que siempre lleva implícitas unas acotaciones temporales. Si esto se tiene presente, a nuestro entender, se superarían algunas de las controversias bizantinas como las críticas que Georgescu Rogen 1975 hace de los sistemas estacionarios en contraposición, por ejemplo, a las formulaciones de H. Daly 1980 en el campo de la economía ecológica donde los criterios estacionarios no tienen el carácter de eternos, sino simplemente estables en un determinado intervalo de tiempo. En realidad, esto coincide literalmente con las palabras de Georgescu Rogen 1975: “En un medio ambiente finito ni el crecimiento puede existir por siempre ni tampoco un estado con crecimiento cero. Y ni siquiera un estado en decadencia (“decrecimiento”) que no se dirija a la aniquilación” o como más adelante vuelve a insistir que “Hay

razones simples contra la creencia de que la humanidad puede vivir en un estado estacionario perpetuo”.

En el área de las ciencias naturales estos estados estables reciben la denominación de estacionarios. En ellos, todos los seres vivos y, por extensión, la propia sociedad humana, se comportan como ya se ha comentado como un sistema disipativo; es decir, que se mantiene temporalmente estable gracias a captar aportaciones permanentes de energía, mayoritariamente en forma de radiación electromagnética procedente del Sol, sin considerar otras aportaciones como las gravitatorias siderales (mareas debidas a la Luna) o geotérmicas del interior de nuestro planeta Tierra. Este suministro energético no sólo nos ofrece energía para mantener todas nuestras necesidades endosomáticas, sino que también nos aporta energía para nuestras actividades exosomáticas y, en especial, facilita el trasiego de materia dentro de los ciclos biogeoquímicos de los que formamos parte.

Resumiendo, es posible considerar nuestro planeta con todos sus componentes y actividades como un gran “tio vivo” movido mayoritariamente por la energía procedente del Sol. En último término, todo se reduce a unos fotones que recibimos y que finalmente son remitidos al espacio en forma degradada, vía un mayor número de fotones, pero de menor valor energético (mayor longitud de onda), para así cumplir el principio de la conservación de la energía y el del aumento entrópico en toda transformación energética. Aquí nos permitimos introducir la reflexión de que la eventual posibilidad de disponer de energía por mecanismos de fusión nuclear, máximo si fuera empleada en gran extensión, nos conduciría a un nuevo problema: el de cómo eliminar finalmente hacia el exterior del planeta esta nueva aportación energética y así no desequilibrar su balance térmico.

Por todo lo que acabamos de exponer, queda de manifiesto que el decrecimiento nos ha de conducir a unos estados estacionarios, pues si bien está clara su idoneidad para corregir la superación de la capacidad de carga de nuestros sistemas medio ambientales también debe tener un límite, al ser imposible una sociedad en decrecimiento permanente, que indefectiblemente nos situaría por debajo de unos mínimos vitales. Hemos dicho estacionarios y no estacionario en singular, porque siempre estaremos inmersos en un mundo en evolución en el cual, tanto por diferentes avatares internos de auto organización o como externos, con la ayuda de mecanismos de resiliencia en los saltos evolutivos en los puntos bifurcativos, se desembocará en estabilizarnos en diferentes estados estacionarios. Éstos, como ahora expondremos, se caracterizan por ser cumplidores de unas especiales condiciones de generación de entropía cuando sufren pequeñas perturbaciones que no los alejen de formulaciones de linealidad.

Prigogine estableció que en todo sistema estacionario, cuando se dan unas condiciones simplificadas de formulación matemática que corresponden a unos regímenes físicos lineales, como se dan en las condiciones cercanas de equilibrios metaestables, se demuestra que se cumple la minimización de producción entrópica. La formulación de la minimización de la producción entrópica se investigan con ayuda de las funciones Lyapunov que definen a su vez las pautas para valorar las situaciones de estabilidad en el estudio de pequeñas perturbaciones que se pueden generar en torno a estos estados estacionarios. Para otras situaciones alejadas de las condiciones de equilibrio, también se presentan distintas opciones de estabilizarnos en atractores que nos conducen a situaciones estacionarias donde pueden generarse estados creativos de complejidad creciente. Así es cómo en la práctica ha operado siempre la biosfera, pero ahora cabe preguntarnos si también dentro de la tecnosfera debemos abrirnos a nuevos modelos evolutivos y en concreto de si estos estados evolutivos han de ser tributarios de criterios como los del “imperativo tecnológico”, donde todo lo tecnológicamente previsible siempre se ha de aplicar o cabe que orientemos nuestra evolución según una planificación elegida, no sólo en función de criterios físicos, sino también de otros valores como pueden ser los estéticos y éticos.

Para dilucidar las previsible inestabilidades de los estados estacionarios y sus deseables alternativas evolutivas, existe el enfoque un tanto pesimista de Georgescu Rogen 1975: “Un mundo estacionario puede quedar momentáneamente enlazado con el entorno cambiante a través de un sistema de regeneración equilibrador análogo a los de un sistema viviente durante una fase de su vida. Pero como recuerda Bormann (7.707) el milagro no puede durar para siempre: más pronto o más tarde el sistema equilibrador

se rompe. En este momento el estado estacionario entra en una crisis que echará por tierra su pretendido propósito y naturaleza”. Otro enfoque, hasta no llegar a un final incompatible con la vida, sería elaborar nuevas propuestas sostenibles en nuevos estados estacionarios que permitan la supervivencia dentro de unos límites como, por ejemplo, los que ofrece nuestro sistema solar. Aquí aparece un elemento clave: ¿cómo establecer los criterios que nos orienten hacia los nuevos estados estacionarios en qué situarnos? Esto abre el debate en torno a cómo establecer el tipo de futuro que deseamos. Por ejemplo, se originó la controversia entre Comte y J.S. Mill, en la cual, el primero optaba por llegar a eliminar toda la fauna y flora salvaje en aras de dejar más espacio a la agricultura y los animales domésticos, dentro de un singular criterio de progreso, probablemente obnubilado por los avances tecnológicos que parecía debían superar y dominar la naturaleza en todos los órdenes, mientras que el segundo, optaba por una sociedad respetuosa con la biodiversidad, no sólo por razones estéticas sino también por lo que se ha conformado como valores ambientales.

En lugar de dejar al azar la elección de una determinada ruta de puntos bifurcativos, cabe la opción de escoger una planificación, que podrá dar mejores o peores resultados desde la perspectiva de la sostenibilidad. Así por ejemplo, cuando los esquimales y los colonos noruegos de Groenlandia eligieron cada uno de ellos una planificación de estilos de vida distintos, les condujo a la pervivencia de los primeros y al colapso de los segundos, al cambiar las condiciones climáticas de aquel país.

La opción del decrecimiento plantea una ineludible reducción de nuestra actividad productiva, lastrada por el enorme consumo energético insostenible en los últimos años. Para analizar esto con más detalle, pasamos a estudiar el papel que juega la energía tanto en la biosfera como en la tecnosfera con la ayuda de la termodinámica.

## **4 Energía y decrecimiento**

---

Para situar el decrecimiento dentro de una perspectiva energética, interesa recordar, como ya hemos expuesto, que el planeta Tierra es un sistema que opera mayoritariamente gracias a las aportaciones energéticas que recibe del Sol. En menor cuantía, hay las aportaciones energéticas térmicas que se reciben del interior del planeta y las contribuciones de energía gravitatoria que, por ejemplo, son responsables del movimiento de las mareas. El Sol es un reactor nuclear de fusión que irradia a todo el espacio de su entorno, ingentes cantidades de energía. Una minúscula parte de esta energía es interceptada y recogida por el planeta Tierra; según distintos autores esto representa alrededor de 3000 a 8000 veces la energía que utiliza la humanidad en todos sus consumos energéticos. De ahí se deduce que potencialmente estemos sobrados de disponibilidades energéticas; ahora sólo nos falta analizar cómo podemos apropiarnos de esta energía, tanto desde el punto de vista técnico como de su viabilidad económica.

Para fijar nuestros requerimientos energéticos y establecer la necesidad de decrecimiento o no, podemos observar cuáles son las necesidades energéticas básicas de todo organismo vivo. Para un ser humano, éstas son las metabólicas endosomáticas de alrededor de unos 10000 KJ/día (2400 Kcal/día) y están cubiertas por las aportaciones en forma de energía química presente en los alimentos. Éstos, en su base, proceden de unos vegetales que han transformado la energía radiante en energía química a través de los procesos de fotosíntesis que, por cierto, operan con un rendimiento muy bajo.

El consumo energético de la especie humana, a diferencia del resto de los seres vivos que forman parte de la biosfera, no se limita a estos requerimientos básicos, sino más bien se caracteriza por un creciente uso de energía exosomática. Ya en el paleolítico, con el descubrimiento del fuego, se amplió el consumo energético. Los recursos de biomasa fundamentalmente en forma de leña, fueron suficientes para cubrir las primeras necesidades energéticas exosomáticas. Cuando las necesidades energéticas en forma de alimentos y de leña no podían ser resueltas con los recursos de sus entornos, se veían obligados a emigrar



a otros territorios y/o establecer sistemas de control demográficos un tanto drásticos en forma de infanticidios y/o senilicidios. Con la agricultura itinerante se multiplica por diez la disponibilidad de recursos energéticos alimentarios. A continuación, al pasar a formar sistemas estables de agricultura, de nuevo se multiplicaron por diez las disponibilidades. En este período histórico aparece la utilización de nuevas fuentes energéticas, como las aportadas en forma de trabajo por los esclavos y los animales domésticos. Simultáneamente, aparecen otras formas energéticas como el viento utilizado en molinos, la navegación a vela, y la energía de las corrientes de agua de los ríos también utilizada en los molinos.

La Revolución Industrial marcó un salto significativo en el uso de nuevas aportaciones energéticas con la utilización de combustibles fósiles. Las disponibilidades energéticas, desde entonces, han estado desigualmente repartidas entre los seres humanos que pueblan este planeta, por hallarse las energías fósiles localizadas en determinadas zonas geográficas. A su vez, el consumo es muy dispar según los distintos países y clases sociales. Véase, por ejemplo, la gran diferencia de consumo energético entre un habitante de EE.UU. y un habitante de Etiopía.

Las primeras máquinas de vapor, a pesar de que inicialmente tenían un rendimiento muy bajo, ya aportaban una energía equivalente a 200 hombres, y de este modo se abrió un gran potencial de aplicaciones. Pero, por una parte, aunque el rendimiento de las máquinas térmicas ha ido aumentando, hay que recordar que el segundo principio de la termodinámica establece un límite. Y por otra parte, un exponencial consumo energético nos abre a una demanda creciente de productos energéticos, difícil de sostener. La madera como fuente energética fue superada primero por el carbón mineral y posteriormente por el petróleo, el gas natural y en mucha menor cuantía lo ha sido por la energía de fisión nuclear, a pesar de las grandes promesas que se propagaron en torno a la energía nuclear, previsiblemente tan barata como para no medirla con un contador.

Estos combustibles fósiles han sido utilizados como si fueran de naturaleza ilimitada. Ahora nos encontramos con dificultades crecientes de aprovisionamiento, y ya el debate se centra en saber si hemos o no superado “el pico del petróleo”. También tenemos el grave problema de ver cómo salimos del callejón sin salida de las elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por los combustibles fósiles, en su acción sobre el cambio climático.

Frente a esta situación se hace evidente la necesidad de reducir nuestro actual consumo energético y paralelamente también el de los bienes materiales que están estrechamente relacionados productivamente con el recurso energético. Una de las soluciones es abrirnos a las disponibilidades de las energías renovables, tal como está ocurriendo en distintos países. En España, por ejemplo, Green Peace ha elaborado el informe “Renovables 100% Un sistema eléctrico renovable para España peninsular y su viabilidad económica” valorando que se puede establecer un techo máximo de 15798 TWh/año que equivale a 56,42 veces la demanda peninsular eléctrica proyectada para el año 2050. Respecto al consumo general energético correspondería a 10,36 veces su demanda. Otros organismos han elaborado estudios donde se llega a conclusiones esperanzadoras como la de Green Peace. Estas previsiones generales deben completarse con otros estudios más detallados, por ejemplo analizarlos con las Tasas de Retorno Energético, el Análisis de Ciclo de Vida, la previsión de recursos materiales a utilizar y el programa económico de su implantación. En la actualidad, estos estudios dan resultados favorables y por ellos, los planes de implantación de las distintas energías renovables es una realidad creciente. En otros países que no tienen tanta insolación como España, por ejemplo Islandia, tienen, en cambio, grandes recursos geotérmicos e hidráulicos. Como puede verse, la naturaleza de los recursos de energías alternativas es variable según cada país que, a diferencia de los combustibles fósiles, están bastante bien distribuidos. Así, otro ejemplo, es Gran Bretaña con sus disponibilidades energéticas renovables en el campo eólico y las corrientes marinas.

En un ámbito de estudio planetario publicado en Jacobson Z. y Mark A. Delicchi 2010 plantean que está confirmado que “las tecnologías eólica, hidráulica y solar pueden proveer la totalidad de la energía que el planeta necesita; se podría prescindir de los combustibles fósiles” y que “como obstáculos importantes

sólo se alzan la escasez de ciertos materiales singulares y la falta de voluntad política”. Respecto a la limitación que presentan ciertos recursos minerales, creemos que no es caer en un tecnooptimismo el prever productos substitutorios.

En conclusión, aun cuando las energías renovables dan una alternativa a nuestras necesidades energéticas, no hemos de olvidar que también tienen unos límites tanto materiales como teóricos termodinámicos respecto a la necesidad de su disipación. Por ello, en los países industrializados, en sus estrategias de sostenibilidad energética, no sólo plantean las energías renovables, sino también reducciones en el consumo energético. Ya Jevons, respecto al consumo de carbón, alertó del efecto rebote, donde mejoras en la eficiencia energética pueden contrarrestarse por una ampliación del consumo energético, lo que debe ser evitado mediante políticas de decrecimiento.

## **5 El decrecimiento y los estados estacionarios dentro del marco evolucionista vía procesos bifurcativos**

---

Las pautas evolutivas vienen establecidas por la secuencia de los puntos bifurcativos discontinuos por donde se ha transitado. Al confrontar estos nuevos modelos evolutivos, tanto con el darwinismo clásico como con su versión oficial moderna del neodarwinismo, nos encontramos con algunas dificultades, tanto por la preeminencia de sus criterios microevolutivos, como por el manejo de los criterios de la selección natural centrada en la competitividad. Pero ya hay nuevas formulaciones evolutivas donde desaparecen los mecanismos gradualistas frente a interpretaciones macroevolucionistas, en cierto modo en paralelo con las rutas bifurcativas.

Para analizar con detalle esta situación, vamos a presentar una breve recopilación de los criterios evolucionistas existentes que nos servirán, no sólo para resolver de modo operativo las situaciones bifurcativas, sino que nos va permitir revisar también, como se han usado los principios evolucionistas clásicos, tanto en el campo de la biología, como en el área socioeconómica. Se puede observar cómo la aplicación del darwinismo clásico y aun en mayor medida los supuestos del darwinismo social han sido unas de las causas por las que ahora nos vemos abocados a la necesidad de emprender correcciones de decrecimiento, pues el azar y la necesidad no han resultado ser la lámpara de Aladino para resolver todas las situaciones en que se ve situada la humanidad, fuera de que un grave colapso sea una previsión a tener seriamente en cuenta.

Si bien el llamado darwinismo dentro de los procesos evolutivos, configura un entramado general en la biología y por extensión también se ha aplicado en otras áreas con relativo éxito, sus principios básicos no siempre, en contra de la opinión general, han logrado consolidarse con todo rigor científico; véanse, por ejemplo, no sólo las críticas de C. Popper sino también las múltiples alternativas dentro de sus propias filas. Así, una de las más significativas es la aportada desde la paleontología, donde se ha formulado la teoría evolucionista de los equilibrios punteados (interrumpidos) de Niles Eldredge y Stephen Jay Gould. Aquí aparece una clara confrontación con las tesis gradualistas, pues la evolución pasaría, según esta nueva tesis, por amplios períodos de estasis, y por procesos de cambios evolutivos rápidos en lugar del microevolucionismo gradual del darwinismo. Desde el campo de la microbiología nos encontramos otra vez con nuevas aportaciones en la misma línea, como son los trabajos de Lynn Margulis y sus tesis de simbiogénesis donde frente a la microevolución ofrece contrastados macrocambios substanciales en la marcha evolutiva. Esta autora, en su crítica a las tesis oficialistas, llega a decir que se consideraba darwinista pero no neodarwinista, pues Darwin era mucho menos radical que algunos de sus seguidores al prever otras vías en el proceso evolutivo.

Parecidas tesis se encuentran a su vez en las teorías de la evolución modular, donde también de nuevo se superan las propuestas gradualistas por fenómenos de reutilización y recombinación de unidades ya funcionales. En una aportación más radical, tenemos las formulaciones del orden emergente vía dinámica

del caos determinista tal como defiende S. Kauffman, donde se interpretan los fenómenos de autoorganización, como una propiedad autoemergente de la propia materia. Finalmente, en una aproximación que introduce un giro de 180 grados tenemos las teorías estructuralistas de G. Webster i B. Goodwin. En ellas, la marcha evolutiva sigue unos pasos establecidos dentro de unos campos morfogenéticos, donde se manejarán formas preestablecidas por condicionantes físicos. Aquí, el simple motor de gradualismo competitivo se elimina casi del todo; en cierto modo, se puede reencontrar esta línea en las antiguas aportaciones de inicio del siglo XX de D'Arcy Thompson, y los Bauplans establecidos por fuerzas físicas que predeterminan el espacio evolutivo. Desde mi punto de vista, la macroevolución se ha consolidado como criterio básico evolutivo y la microevolución sólo aporta el ajuste fino.

Junto a todo esto, también en la actualidad, nos encontramos aún con nuevas formulaciones ultradarwistas, tal como aparecen en la tesis del gen egoísta, donde el gradualismo competitivo llega, después de situarlo a nivel de los genes, a vincularlo con los "memes" (unidades de imitación en la evolución cultural) en ámbitos como por ejemplo, el área socioeconómica. También hay que reconocer que dentro de las filas de la ortodoxia de la Nueva Síntesis aparecen grietas por donde poder acomodar algunas tesis macroevoluciones.

En la línea estructuralista, podríamos resituar muy cómodamente las aportaciones termodinámicas aquí presentadas, donde a través de unos mismos atractores, tendríamos una vía generadora de estructuras evolutivas de complejidad creciente a través de la generación de orden en las condiciones de caos, en torno a las situaciones bifurcativas generadas por las estructuras disipativas.

También el criterio básico de la selección natural centrado en la lucha competitiva por la vida, eje central del darwinismo en biología, y por extensión también en otras áreas como las socioeconómicas con su principio de la economía de mercado, han sido cuestionados por otros principios tales como los criterios de altruismo, protección, y asistencia que ya fueron recogidos por el propio Darwin, por ejemplo en el libro "El origen del hombre". Ahora, se hace más urgente que nunca su aplicación, frente a los criterios puros y duros de un persistente darwinismo social. Pues si bien una población establecida en un amplio territorio puede, en cierta medida, despreocuparse temporalmente de su entorno y de su prójimo actual y por venir, es en todo el planeta donde debemos comportarnos según la metáfora de operar en las condiciones de una tripulación dentro de una nave del espacio, en la que sólo se puede sobrevivir con un ajustado programa de cooperación y ayuda mutua. Además de cumplir el elemental principio de ajustarnos a la capacidad de carga en base a los recursos energéticos renovables y dentro de unos mecanismos perfectos de ciclos cerrados en el uso de los materiales.

Algunos de estos criterios ya fueron objeto de debate en el Siglo XIX entre H. Spencer i Piotr Kropotkin. Este último, destacado geógrafo y anarquista, reivindicaba el papel de la cooperación social y la ayuda mutua dentro de las hipótesis darwinistas, pues a diferencia de los estudios basados en casos situados en zonas tropicales, donde se encuentran elementos de competitividad, la biosfera, en las zonas templadas y árticas, opera también con estrategias evolutivas centradas en la cooperatividad. También se dan aportaciones en esta misma línea de cooperación, en las investigaciones elaboradas con la herramienta de la Teoría de los Juegos y el Dilema del Prisionero. Dentro de este campo tenemos los trabajos de R. Axelrod donde cuestiona los criterios del individualismo y nos recuerda el gran olvido de la cooperación dentro de los paradigmas evolutivos. Además nos hace observar, cómo la cooperación basada en la reciprocidad establecida en una población, la protege de la invasión de estrategias no cooperativas. Estas observaciones se pueden reencontrar también dentro de un amplio abanico de hechos históricos que avalan tales tesis. Por todo esto, nos encontramos, como podemos ver, con muchos elementos teóricos y prácticos avalados para establecer un programa evolutivo sostenible, donde el gradualismo competitivo ya no es la norma exclusiva y principal de los procesos evolutivos, sino más bien una actuación para establecer ajustes finos.

Así como en el campo físico y, en concreto, en la termodinámica se nos abren unas perspectivas evolutivas discontinuas, ahora también podemos establecer en el campo socioeconómico un paralelismo con los

modelos discontinuos aquí presentados. Y así, de modo parecido a como opera el modelo morfogénico en biología, proponemos que podría establecerse en el área cultural la existencia de un campo "sociogénico" de donde emergerían las formas evolutivas discontinuas culturales, y por donde se desarrollaría la evolución de la sociedad humana y sus estrategias de sostenibilidad. En el estudio de la historia de la humanidad, podemos observar que, en realidad, ha cursado una evolución vía situaciones escalonadas, en lugar de un magma de continuidades y además se han repetido los mismos o muy parecidos modelos, elaborados en diferentes circunstancias geográficas aisladas y no interrelacionadas. En cierto modo, es una aplicación de los criterios de los estados estacionarios termodinámicos y los procesos bifurcativos en el ámbito social, donde frente a unas determinadas circunstancias los sistemas evolucionan de forma parecida de entre una disponibilidad de atractores previstos. Por ejemplo, el descubrimiento de la escritura, de los sistemas agrarios u organizaciones sociales y/o estructuras religiosas, se reencuentran los mismos modelos operativos, y los procesos evolutivos se repiten en condiciones geográficas e históricas distintas.

La relación entre estado estacionario y proceso evolutivo se reencuentra, por ejemplo, en el desarrollo de los seres vivos en sus distintas etapas, donde después de un crecimiento se entra en la fase adulta y se alcanza un estancamiento estacionario propio de un fase estable y siempre cumpliendo las condiciones físicas de estructura disipativa, y luego, indudablemente, entrar en el envejecimiento y la muerte, y con ello alcanzar el punto de verdadero equilibrio termodinámico, si bien con la reproducción se ofrece una alternativa para facilitar la pervivencia, no del individuo aunque sí de la especie.

En el caso de un ecosistema, que ha de regenerarse después de una catástrofe, éste presenta un esquema de sucesión que desemboca en el estado estacionario de la climax, A su vez, tal como expuso Ramon Margalef, al aplicarla a los seres humanos: "el hombre tiende a usar y malbaratar tan rápidamente como puede los recursos de que dispone. Solamente la presión de la necesidad, la competencia, le mueven a usar los recursos de modo más prudente y eficiente. Pero el régimen de explotación imprevisora reaparece tan pronto como se descubre algún recurso o con la posibilidad de fuentes de energía externa: la carrera se reemprende y precisamente con una etapa inicial de máxima potencia, independiente de la eficiencia" Así también, en un cultivo celular es en una segunda etapa después de la fase de embriogénesis y desarrollo inicial, cuando se puede valorar el entrar en un estado estacionario caracterizado por un mínimo valor de producción de entropía, tal como ha investigado Luria y J. Wagensberg. Aquí también aparece el fenómeno del aumento de la complejidad inherente de los procesos evolutivos comentados.

Para investigar los procesos evolutivos desencadenados por una perturbación, que puede ser en nuestro caso la acción premeditada de una actuación de decrecimiento, interesará ver cómo se sitúan los criterios de homeostasis y de resiliencia. Siempre con la perspectiva de cómo alejarnos de situaciones de colapso y/o extinción.

## **6 Equilibrio versus estado estacionario. Homeostasis versus resiliencia**

---

La aplicación del principio de equilibrio ha sido muy empleado en el análisis de todas las actividades humanas: así, en términos generales, ya fue utilizado por los filósofos griegos y también en las culturas orientales. En el campo del estudio de los sistemas económicos modernos que aquí analizamos no ha sido ninguna excepción. Dentro de un orden cronológico lo tenemos también en los mercantilistas cuando hablaban del "balance comercial", y en los fisiócratas en el mantenimiento de una armonía con los elementos de la naturaleza, para finalmente manejarlo de forma omnipresente en las formulaciones de la economía clásica a partir de A. Smith. Así encontramos de nuevo el interés por mantener un equilibrio de fuerzas dentro del paradigma del crecimiento y en los mecanismos para lograrlo. También apareció la opción de llegar a un estado estacionario que, junto con Ricardo, la interpretaron como algo muy negativo. Sólo J.S. Mill aceptó un equilibrio dentro del contexto estacionario como un elemento de progreso. Posteriormente, los economistas neoclásicos persisten con el mismo interés en el concepto de equilibrio

general, y en la misma línea el mismo Keynes elaboró actuaciones para recuperarlo. Como puede verse, el concepto de equilibrio es un “leit motiv” en los modelos propuestos en las escuelas económicas. Todo ello se basaba no sólo en razones especulativas, sino por la asimilación del modelo newtoniano de equilibrio de las fuerzas físicas tal como se dan en la estática y en la dinámica.

Con el principio de Chatelier se establece el modo de recuperar las condiciones del equilibrio cuando intervienen determinadas perturbaciones que nos alejan de él. En cierto modo ya en A. Smith y en Malthus se manejaban mecanismos para recuperar las condiciones de un equilibrio dinámico, y con ello aparece como criterio central de la economía de mercado.

Por no manejar los criterios termodinámicos donde se establecen con precisión las condiciones del verdadero estado de equilibrio, mínimo valor de energía libre o máximo desorden entrópico, no se pueden hacer concordar las condiciones conservativas del modelo newtoniano manejadas en los supuestos anteriores, con las disipativas, propias tanto de los sistemas biológicos como el que presentan las estructuras sociales humanas, donde la estabilidad no se da en base a verdaderos estados de equilibrio (el verdadero equilibrio termodinámico es en realidad un estado estacionario de orden cero), sino en base a estructurarse en los estados metaestables, en los que sí es verdad que para pequeñas perturbaciones el sistema puede regresar al estado estacionario de partida en que se encontraba según el principio de Chatelier; no obstante, cuando se superan ciertos valores, ya no se opera con esta opción recuperadora del equilibrio, sino que el sistema evoluciona hacia otro estado estacionario, en donde pueden darse sistemas de complejidad creciente o no. El decrecimiento, visto desde esta perspectiva, podría ser tildado de conservador si pretendiera simplemente recuperar una posición de “equilibrio” anterior, y no estar abierto a que nuevas situaciones propiciadas por las fluctuaciones en los estados bifurcativos emergieran dentro de una marcha evolutiva. Pero no hay que olvidar que en tales situaciones también pueden desencadenarse fenómenos de extinción o de caída en estados de menor complejidad. Reacuérdesse cómo la Edad Media vino a ser una involución de un estado de organización más complejo, como era el Imperio Romano. Aquí se hace válido el dicho de que los beduinos no son los hijos del desierto, sino los padres del desierto, pues en estos lugares florecieron antaño exuberantes civilizaciones que al descuidar su sostenibilidad y al no haber introducido medidas correctoras de decrecimiento, se hundieron en un colapso local generalizado.

Otro elemento a revisar es el manejo del principio de la homeostasis, presente tanto en el entorno del verdadero equilibrio termodinámico, como también en un estado estacionario, donde hay una recuperación del estado original después de una perturbación en unas condiciones de minimización de producción entrópica, pero no válido en las condiciones alejadas del equilibrio o en estados estacionarios que no cumplan las condiciones de linealidad. Quizás sería interesante manejar el criterio de la resiliencia, que si bien se utiliza en distintas aplicaciones según criterios no siempre concordantes, -por ejemplo, en ingeniería para medir la resistencia de los materiales al choque o percusión, y en psicología, para valorar la capacidad de recuperación frente a una perturbación, y volver a las condiciones de partida-, su utilización en el decrecimiento representaría una actuación sobre el sistema, que no precisamente debería dar una recuperación a un anterior estado de equilibrio, sino a un estado estacionario sostenible, ya sea anterior o posterior, dentro de un proceso evolutivo.

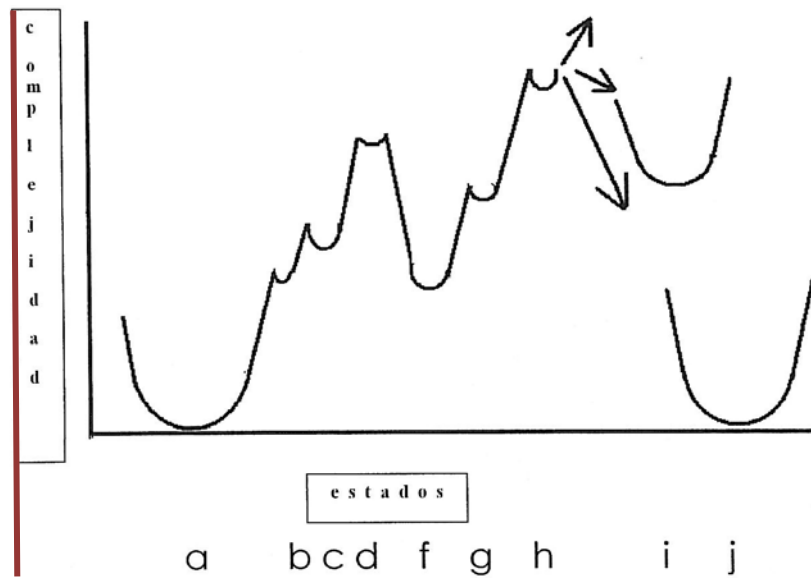
La homeostasis la circunscribiríamos a la acción recuperadora de una perturbación en un estado de verdadero equilibrio, o de una perturbación que no destruyendo las condiciones de linealidad no nos aleja del estado metaestable de una específica situación estacionaria. Por otra parte, la resiliencia se emplearía para explicar la acción recuperadora frente a una perturbación al sistema, cuando éste se encuentre en un estado estacionario muy alejado de una situación de estabilidad, donde las fluctuaciones nos alejan, vía procesos bifurcativos, de situaciones de estabilidad, y así en lugar de unas recuperaciones a unos estados iniciales, nos proyectan a unas nuevas situaciones estacionarias creadas en los procesos evolutivos. En el caso analizado de las políticas de decrecimiento, interesa, entre otras cosas, que esta recuperación se sitúe en un estado que no supere la capacidad de carga del sistema en lo material y, en lo social, que sea solidario tanto intrageneracional como intergeneracionalmente.



## 7 Conclusiones

La **Fig. 1** resume cómo se suceden los estados estacionarios en una dinámica evolutiva. En el planeta Tierra, antes de que apareciera la vida, la materia inerte se conformaba a través de reacciones químicas que tendían a alcanzar una situación de equilibrio verdadero, afectado por variables como la temperatura y la presión (**a**). Posteriormente, bajo unas determinadas condiciones, la materia inerte con recursos energéticos como los geotérmicos, los meteorológicos y en especial la radiación solar, llegó finalmente a conformar una biosfera (**b**) donde prosiguió la marcha evolutiva de los seres vivos en una complejidad creciente, vía procesos bifurcativos.

**Fig. 1** Estados estacionarios en una dinámica evolutiva



Con la aparición del ser humano, la escalada evolutiva ha ido alcanzando grados de complejidad enormemente crecientes (**b-c-d**) en especial al desarrollarse cada vez más la tecnosfera. Algunas veces, en determinados lugares, cuando se sobrepasaba la capacidad de carga disponible, se producían desestabilizaciones más o menos severas (**f**). Pero de forma global, la humanidad siempre ha ido alcanzando, cada vez más, cotas de complejidad creciente.

En la actualidad, nos encontramos en una nueva situación bifurcativa que en lugar de representar una desestabilización creativa, como siempre hasta ahora se había producido en la marcha evolutiva, que podría condicionar nuestra existencia (**h**), pues nuestro modelo actual de producción y consumo se hace insostenible. Quizás por un tiempo, una parte cada vez más pequeña de la humanidad podría continuar con el sistema actual, pero todo apunta a que pueda producirse un colapso total, con el peligro de que aparezcan formas de gobierno autoritarias con graves repercusiones sociales, como ya ha ocurrido en el curso de la historia.

Frente a este panorama, se propone establecer políticas de decrecimiento ordenado, para que no tengamos que sufrir un decrecimiento caótico. Con esto lograríamos afianzarnos en unos estados estacionarios (**i**) no estáticos, pues siempre estaremos vinculados a procesos evolutivos generadores de formas de vida cambiantes aunque estables, es decir manteniendo los criterios de sostenibilidad. En este nuevo estado estacionario, si bien en lo material se darán reducciones en los sistemas de consumo, en modo alguno ha de significar una sociedad con menor calidad de vida. Todo esto está abierto a un amplio futuro para la humanidad, pues estos procesos evolutivos aun están muy lejos de llevarnos al final último que nos espera, el de recuperar nuestra fase primigenia inorgánica, cuando nuestro planeta no ofrezca las condiciones necesarias para la pervivencia de la biosfera (**j**).

Tanto en los procesos de decrecimiento como en nuestra organización en estados estacionarios

sostenibles, la termodinámica de los estados de no equilibrio nos resitúa en nuestra naturaleza de estructuras disipativas, dentro del contexto finito de nuestro mundo material y los límites energéticos aportados por la radiación solar.

Las bases teóricas que se presentan en este trabajo suministran las reglas físicas para organizar la viabilidad y pervivencia de la especie humana; pero ahora, para llevarlo a término sólo nos falta el coraje social de romper con intereses creados, egoísmos, inercias, y ciertos dogmas que, por desgracia, aún imperan en la mente de mucha gente. En especial, se deberá sustituir el principio de homeostasis por el de resiliencia, y a la vez establecer una nueva visión basada en valores éticos y estéticos. Por ello, nuestra generación tiene el reto de emprender sin demora actuaciones de decrecimiento y de estabilización dentro de unos estados estacionarios, si queremos asegurar nuestra pervivencia en esta nave espacial que llamamos planeta Tierra.



## Referencias

---

Axelrod, R., 1984, The evolution of cooperation, Penguin Books

Daly, H. E., 1980, Economía, ecología, y ética. Ensayo hacia una economía en estado estacionario, Fondo de cultura económica, S.A. de C.V.

Georgescu-Rogen, N., 1971, The Entropy Law and the Economic Procces, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Georgescu-Rogen, N., 1975, Southem Economic Journal 41 (3)

Jacobson, Z. y Mark, A. Investigación y Ciencia (Scientific American) enero 2010.

Lurié, D. y Wagenberg, J., 1979, Investigación y Ciencia, Marzo: 102-113

Mill, J. S., 1996, John Stuart Mill – A selection of this Works, Ed John M. Robson . The Macmillan Company of Canada Limited

Prigogine, I., 1955, Introducción a la termodinámica de los procesos irreversibles, Selecciones Científicas 1974.

Prigogine, I y Stengers, I., 1979, La nueva alianza, Metamorfosis de la ciencia, Alianza Editorial SA

Proops, J., 1983, Organisation and dissipation in economic systems, J. Social Biol. Struct. 6, 353-366.

Smith, A., 1776, An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations, Oxford Clarendon Press



[www.degrowth.eu](http://www.degrowth.eu)