
Hacia una “Economía de Klein” socialmente inclusiva

Rediseñando una Economía Circular Exponencial

Jesús Linares
VP de Sostenibilidad y Economía Circular de ICLF

“La mejor forma de predecir el futuro es construyéndolo”
Peter Drucker

Resumen

Nuestro gravísimo estado actual de **emergencia climática** requiere una actuación decidida por parte de los gobiernos, las instituciones, los ciudadanos y las empresas. En este artículo se esquematizan las claves del problema y los pasos que debemos acometer para darle solución. A tal fin se analizan conceptos estratégicos como el escenario **A1T**, la **economía circular (EC)** o la **biomímesis**. Asimismo, la innovación en forma de **tecnologías exponenciales (TE)** inherentes a la **cuarta revolución industrial** son herramientas clave para acelerar el proceso. Pero, ¿cómo enlazar el escenario **A1T** con la **EC** y las **TE** para cumplir la urgente agenda del **Acuerdo del Clima de París** de una forma que sea **socialmente inclusiva**? El autor explora esta fusión en este artículo seminal a través de una interesante analogía topológica: la **economía de Klein**.

El problema

¡El futuro ya no es lo que era!

Paul Valery

Hace doce años solía empezar mis conferencias diciendo “*El cambio climático es la principal amenaza a la que se enfrenta la humanidad en este comienzo del tercer milenio*”. Hoy ya no es una amenaza, es una **realidad acuciante**. Hemos entrado ya en un estado de **emergencia climática** que debemos combatir urgentemente antes de que ponga en peligro la continuidad de la vida en la tierra tal y como la conocemos. Desde el año 2006 he analizado el problema del cambio climático desde diversas perspectivas [Linares06, Linares07a, Linares07b, Linares12], con libros [Linares08], informes técnicos [Linares19a] y hasta con una novela autobiográfica de divulgación científica [Linares19b] Quizás lo mas importante fue ser de los primeros, a mi conocimiento, en alertar de que España es uno de los países mas afectados de Europa debido, entre otros factores, a su frágil clima de transición [Linares09] Es buen momento por tanto, una década mas tarde, para “*conectar los puntos*”. A ello dedico el presente capítulo.

El cambio climático es sólo la punta del iceberg de un problema mucho mayor sumergido en la **sociología de la ceguera** [Linares19a] en donde nuestra economía lineal ha estado inmersa en los últimos 200 años ¿Evidencias? Todas. En el 2019, por tercer año consecutivo los fenómenos meteorológicos extremos (**FME**) inducidos por el cambio climático han vuelto a ser el principal riesgo percibido para la humanidad como se señala en el informe “**Global Risk Report**” del **Foro Económico Mundial** [WEF19] Sin embargo nuestros políticos ha decidido mirar hacia otro lado. No hay peor ciego que el que no quiere ver. De hecho es preocupante que se este debilitando la respuesta colectiva necesaria para afrontar esta **crisis global emergente** mientras que se fortalecen sin embargo las políticas nacionalistas populistas.

Estamos en una verdadera emergencia climática. Hemos ignorado a la naturaleza, tratándola como nuestro vertedero, externalizando el impacto ambiental de nuestros productos en un flagrante fallo de mercado. Ahora la naturaleza nos esta pasando factura por ello ¿Seremos capaces de virar el rumbo de este **Planeta Titanic** [Linares19b] antes de colisionar contra el iceberg de nuestra inconsciencia? Virar el rumbo supone cambiar tanto el modelo de producción como el modelo de consumo, y por tanto, necesariamente, supone cambiar nuestros hábitos de vida.

El problema no puede ser minimizado. Sencillamente, nos estamos cargando el planeta. El efecto térmico del calentamiento global es equivalente al de tirar 400.000 bombas como la de **Hiroshima al día**. [Linares19a]. Teniendo en cuenta que la atmósfera es una finísima capa que contiene el 80% de su peso tan solo en los 12 primeros kilómetros es fácil entender la magnitud del problema ¡El hombre ha entrado como un **elefante en una cacharrería** en el sistema climático!, y sacar a un elefante de una cacharrería no es tarea sencilla. El hombre afecta tanto al medio que, según **Crutzen** [Crutzen00], nuestra era geológica actual del periodo Cuaternario ya no es el apacible **Holoceno**, sino el **Antropoceno**

Nos estamos cargando el planeta ¡El hombre ha entrado como un elefante en una cacharrería en el sistema climático!

La naturaleza tiene un medio lento, pero seguro, de enterrar el CO₂ de la atmósfera en el subsuelo: la génesis de petróleo. En el carbonífero, hace unos 300 millones de años, cuando los continentes estaban aglutinados en un supercontinente llamado **Pangea**, existía muchísimo carbono en la biosfera. La formación del petróleo es un proceso lento, dura millones de años, pero logra fijar una gran cantidad de carbono en el subsuelo. Millones de años más tarde surge una extraña especie, el **hombre pirómano**. Y es que el hombre, desde la revolución industrial, se ha convertido en un gran pirómano. Casi un **80%** de nuestras emisiones de dióxido de carbono provienen del consumo y de la transformación de los combustibles fósiles en energía. Un pozo de petróleo es por tanto una máquina del tiempo, una mano invisible que toma cantidades ingentes de CO₂ que provienen de otra era geológica y lo vierte en la actualidad en un ciclo de carbono totalmente distinto. El hombre, “*el listo de la clase*”, no juega limpio con la naturaleza.

Y es que tratamos a la naturaleza como nuestro vertedero. Usamos en los supermercados bolsas de plásticos que usamos tan solo 12 minutos, pero que luego quedarán más de 400 años en los mares. Nuestro consumo compulsivo de plástico es tal que en el 2050 habrá más toneladas de este material que de peces en los océanos [Ellen16]. Para entonces la **acuicultura** (crianza de especies acuáticas) tomará el relevo a la pesca tradicional. De hecho, en cada uno de los vórtices de los océanos hay un mar de plástico. El más grande de ellos es el “**Great Pacific Garbage Patch**” en el pacífico norte ¡Es una isla de basura del tamaño de 7 veces la superficie de España! Es decir, más que una isla de basura es ¡un **continente de basura**! Este plástico tiene un gran impacto en la vida marina. Las partículas de plástico flotante se asemejan al zooplancton, por lo cual puede ser consumido accidentalmente por las medusas, inyectándolos en la cadena trófica [Moore2001]. Mucho de los microplásticos acaban así en el estómago de animales y aves marinas. De hecho se estima que hoy el **90%** de las aves marinas del mundo tienen fragmentos de plástico en el estómago [wwf18] ¿Debe Europa prohibir inmediatamente las bolsas de plásticos de un solo uso? Aunque Europa prohibiera estos plásticos, esto solo reduciría un 10% el problema. De hecho, tan solo estos cinco países: China, Indonesia, Filipinas, Vietnam y Sri Lanka, acumulan el **83%** de los residuos de plástico mal gestionados que podrían acabar en los océanos. El papel de Europa no debe limitarse a el de prohibir sus plásticos, debe liderar la investigación en nuevos plásticos biodegradables, o **bioplásticos**, que solucionen el problema no solo en Europa, sino en el resto del mundo. Ahora bien, lo renovable no siempre es lo sostenible. Estos bioplásticos deben no depender de cultivos (para no consumir suelo fértil y agua) y ser biodegradables en el medio natural. Europa debe financiar estas líneas de investigación y desarrollar leyes para que estos productos bajen de precio gracias a economía de escala. Este es el papel de liderazgo que debe asumir Europa.

El hombre no solo impacta en el clima sino en la biosfera en general. Según un reciente informe científico [Ceballos15], el ritmo de extinción de especies de vertebrados causado por el hombre es ya más de 100 veces superior al natural. Estamos entrando en la **sexta extinción masiva** que ha vivido la vida en la Tierra desde su nacimiento hace 4.500 millones de años. Esta vez, nosotros somos el meteorito, somos **el hombre meteorito**.

Esta vez la causa de la extinción masiva somos nosotros ¡Somos el hombre meteorito!

No estamos jugando limpio con la naturaleza, y ni siquiera queremos reconocerlo. Pude ser testigo de ello. En diciembre del 2018 asistía como observador internacional de la **ONU** a la Cumbre anual del Clima en **Katowice**, Polonia. Se le había solicitado al Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (**IPCC**, por sus siglas en inglés) de la **ONU** y la Organización Meteorológica Mundial (**WMO**) un informe especial sobre los impactos de superar un incremento de temperaturas de **1.5°C** sobre los niveles preindustriales, dado que el objetivo del **Acuerdo de Paris** es limitar esta subida a 1.5°C-2°C. El informe, llamado **SR15** [IPCC18, IPCC], no podía ser mas contundente. Solo tenemos 11 años, hasta el 2030, para actuar de forma decidida antes de que los efectos del cambio climático sean ya irreversibles. Los impactos son intensos, múltiples y variados como se puede leer en el informe **SR15** o en [Linares09] ¿Cual fue la posición de la cumbre de Polonia al respecto? Presionada por **Trump**, se limitó a un simple “*tomamos nota*” que evitaba tener que asumir las conclusiones científicas del informe. Coincido con **Al Gore** en que el **Acuerdo de Paris** representó el “*certificado de defunción*” de la economía fósil. La bola de nieve comenzó a rodar colina abajo, pero ¿está rodando lo suficientemente rápido? En vista de lo que pasó en la Cumbre de Polonia no deberíamos confiarnos sino todo lo contrario ¡No existe un minuto que perder! Los próximos años son los mas determinantes de nuestra historia. Nos estamos jugando el planeta, y hay poderosas fuerzas que pretenden frenar y poner palos en la rueda de la necesaria transición ecológica.

Solo tenemos 11 años antes de que los efectos del cambio climático sean ya irreversibles

Según el **SR15** las actividades humanas ya han causado un incremento de temperatura de 1.0°C sobre los niveles preindustriales. Si seguimos como hasta ahora alcanzaremos los 1.5°C entre 2030 y 2052. Para evitarlo debemos descarbonizar la economía totalmente para el 2050. Esto significa que para entonces debemos alcanzar la neutralidad en carbono, es decir, dejar de emitir mas CO₂ del que se elimina de la atmósfera. Para ello, las emisiones de CO₂ deben caer ya un 45% de aquí al 2030 ¡Solo 11 años! Vamos lento y tarde ¿Cómo conseguir cumplir este reto tan importante, urgente y ambicioso?

La economía circular

*“La basura es un invento humano.
La naturaleza no genera residuos”*
Paul Connett

La economía circular (EC) es la rueda de timón que puede virar el rumbo. La única forma de reconciliarnos con la naturaleza es imitarla, es decir, buscar la inspiración en la **biomímesis**. En la naturaleza no existe los deshechos. Sólo existen recursos que se transfieren en distintos ciclos acoplados. Todo se metaboliza; este es el secreto de la sostenibilidad. Debemos por consiguiente rediseñar la economía (lo que es el objetivo de la “**ecología industrial**”) para que los ciclos de producción estén acoplados a ciclos biológicos regenerativos. De esta forma, los residuos en vez de quitar valor, lo aportan. Por tanto la economía circular trata de sistemas “*de la cuna a la cuna*” [Mcdonough05], mientras que la antigua economía lineal nos condenaba a sistemas “*de la cuna a la tumba*”. El problema es que, a estas alturas, la tumba se ha hecho mas grande que la cuna.

“La tumba se ha hecho mas grande que la cuna”



Figura 1. *Esquema simplificado de economía circular*

Implícita en la Figura 1 hay una espiral interesante. El reciclado es la manifestación de un fracaso. El retorno es mucho mas eficiente. Todos recordamos esos envases retornables por los que obteníamos algún beneficio económico, y que son propios de los países del norte de Europa. Una vez recogidos son mucho mas fácil de reintegrar en la rueda de producción ya que se vuelven a destinar para el mismo uso. Si no es así, reciclar es complicado, pues hay que descomponer los productos usados en sus materias primas constituyentes. Reciclar es difícil, sobre todo si no se han diseñado inicialmente los productos para optimizar el proceso. Por esto la ecología industrial basada en el diseño es tan importante.

El Laberinto del Minotauro

*“Se tú mismo el cambio
que quieras ver en el mundo”*
Gandhi

Articulemos las piezas del engranaje de la construcción de una salida al “*laberinto del Minotauro*” del Cambio Climático.

La primera pieza esencial de este puzzle es la demografía. Si no se estabiliza estaríamos condenados a una **catástrofe malthusiana** imposible de hacer sostenible. No hay solución cuando la población crece de forma geométrica y los recursos disponibles de forma aritmética [Malthus15]. El hecho es que hoy el mundo tiene el doble de la población que tenía cuando nació. La levadura es una especie de hongos que crece de forma exponencial hasta que acaba sucumbiendo frente a sus propios residuos tóxicos
¿Somos el hombre levadura?

Afortunadamente la buena (¡e indispensable!) noticia es que ya los demógrafos predicen un plateau de estabilización sobre 10-11 Gigapersonas (**Gp**), es decir, 11.000 millones de personas para la población mundial de final de siglo. Una de las claves son las ciudades. Los niños en un contexto agrícola son brazos, mientras que en un contexto urbano son bocas que alimentar y necesidades que satisfacer. Cuando la población rural emigra a ciudades automáticamente comienza a tener menos niños. Hace poco el número de personas que viven en el mundo en ciudades ha superado a las que viven en el campo. A fecha de 2017 la población mundial urbana ya superaba el **54%** (75% en Europa y 82% en **EEUU**) según datos del **Banco Mundial** [Bancomundial19]. Paradójicamente a los que preconizan una vuelta al campo como solución, son las ciudades las que nos salvarán de la **catástrofe malthusiana**. Si prescindimos de la tecnología y volvemos al campo, la **biocapacidad** de carga del planeta estaría limitada a unos 500 millones de personas. A la fecha hay 7.716 millones de personas en el planeta tierra [Worldometer19] ¿Qué hacemos con las restantes? Afortunadamente no tendremos que tomar una opción tan radical como la de prescindir de la tecnología. Al contrario, si admitimos la saturación de la población a 11 Gp, la cuestión es ahora como diseñar tecnologías verdes y como estructurar el sistema de producción y consumo para diseñar un sistema económico sostenible para todos.

*¿Somos el hombre levadura que crece exponencialmente hasta acabar sucumbiendo a
nuestros propios residuos tóxicos?*

Esto nos conduce a la segunda pieza del rompecabezas. Dado que vamos a ser 11Gp, ¿a cuanta tarta cabemos cada persona? Para analizar esta cuestión de manera cuantitativa debemos hablar de la **Huella Ecológica** [Linares19a] La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana en relación a la capacidad de una región determinada de producir y regenerar estos recursos. Se mide en hectáreas por habitante, pues representa la superficie de terreno equivalente que es necesaria por habitante y año para satisfacer su demanda. La huella ecológica es un indicador clave para la sostenibilidad pues mide el impacto de un determinado forma de vida en comparación con la **biocapacidad** del planeta para sustentarla. Desde un punto de vista

global se ha estimado la biocapacidad del planeta en 2,1 Ha por habitante con datos de 2005 [Footprint19] El consumo medio en este mismo año era de 2,7 Ha, así que necesitaríamos 1,3 planetas tierra para sostenerlo. Hoy ya hemos subido a 1,7 planetas tierra, y ¡solo tenemos un planeta! Actuamos como si siguiéramos teniendo recursos ilimitados. Pero no, **no hay un planeta B**. Si un extraterrestre viniera a visitarnos se quedaría asombrado de cómo gestionamos los recursos del planeta. El resto de las especies vive en equilibrio ecológico. Nosotros simplemente ignoramos este equilibrio. Si todo el mundo consumiera como un ciudadano norteamericano necesitaríamos más de 4 planetas tierra [WWF18] En España nuestra huella ecológica es 2,6 veces mayor que nuestra biocapacidad [Footprint08] O dicho de otra forma, se necesitan casi 3 españas para mantener nuestro nivel de vida y población actuales. Un resultado muy interesante de este estudio es que “*pese a lo que suele pensarse, el consumo de energía indirecta mediante la adquisición y uso de bienes de consumo es el gran factor responsable de la huella energética [...] es decir, depende del consumidor final*” [footprint08] Recordemos que la energía directa es la energía final que alimenta a nuestros productos (coches, electrodomésticos, etc), mientras que la energía indirecta se refiere a toda la cadena de costos energéticos que se extiende desde por toda la cadena de producción y suministro. Usamos mucho más energía indirecta de lo que somos conscientes. Por esto es tan importante para la economía circular analizar la huella ecológica y de carbono durante todo el ciclo de vida de los productos.

Se necesitan casi 3 españas para mantener nuestro nivel de vida y población actuales

Si nos quedamos sin este de momento **no hay un planeta B**, aunque si un plan B. Para verlo, sigamos construyendo el **puzzle de la sostenibilidad**. Sabemos que la emisión de CO₂ a la atmosfera produce el 60% del efecto en el calentamiento global [Linares19a], y que la energía es la pieza más importante de este rompecabezas. Ahora querido lector, te planteo un dilema. Imagínate de estudiante en un piso de Sevilla. Es principio de Julio y te estas preparando con tu compañero un examen final (¡de ciencias medioambientales!) Tu compañero se fija en el aire acondicionado y te dice

-Esto es un horno pero vamos a apagarlo pues estamos calentando al planeta.

Dudas y dices

-Para ser coherente deberíamos apagarlo todo e irnos a vivir al campo como antes de la revolución industrial.

Afortunadamente, este dilema de extremos tiene una tercera solución. Para entenderla retrotraigámonos al año 2000 cuando el propio **IPCC** estudió distintos escenarios de futuro bajo distintas políticas para predecir las emisiones derivadas de ellas para el año 2100 [TARIPCC]. Descubrieron después de correr por ordenador docenas de familias de modelos que los dos parámetros clave para etiquetar un determinado escenario era si esta orientado a la economía (escenarios tipo A) o al medio ambiente (escenarios tipo B) En segundo lugar, si el escenario esta globalizado (escenarios tipo 1) o regionalizado (escenarios tipo 2) Las cuatro posibilidades se muestran en la Figura 2. Las dos opciones de los estudiantes sevillanos son **A1F1** (el escenario actual, globalizado, que prima la economía y es intensivo en recursos fósiles) y **B2** (escenario no globalizado y no globalizado, por ejemplo un decrecimiento rural) corresponden a los extremos de la diagonal del cuadrado. La gran noticia es que en la **IPCC** descubrieron que el modelo **A1T** (globalizado, orientado a la economía, pero bajo una transición a las energías

renovables) emite casi lo mismo que **B2**. En otras palabras, existe un escenario, el **A1T**, cuyo efecto es similar al escenario **B2**, pero sin tener que renunciar drásticamente al crecimiento económico. Ahora bien, este escenario precisa una evolución del modelo energético, una transición hacia energías limpias. La clave para ello es conseguir un abaratamiento del 50% por década de la energía solar fotovoltaica, lo que puede conseguir una sustitución masiva de los combustibles fósiles por energía solar.

Extrañamente este plan **A1T** es conocido básicamente por los expertos cuando realmente debería ocupar grandes titulares. Sería muy difícil convencer a los chinos de adoptar un modelo **B2**, pero es factible convencerlos de adoptar el plan **A1T**. La razón es que los escenarios A predicen un mundo mucho mas rico que los escenarios B. De hecho, el escenario **A1T** predice un mundo con un 50% mas de ingresos per cápita que el escenario **B** mas cercano para el caso de los países desarrollados, y un 75% mas en el caso de los países en desarrollo. Por el contrario, no hacer nada y seguir con nuestro escenario **A1F1** es lo mas caro, como demuestra el **Informe Stern** [STERN06]. Si no hacemos nada el mundo se expondría a una pérdida permanente de al menos el 5% del PIB global, pudiendo alcanzar el 20%.

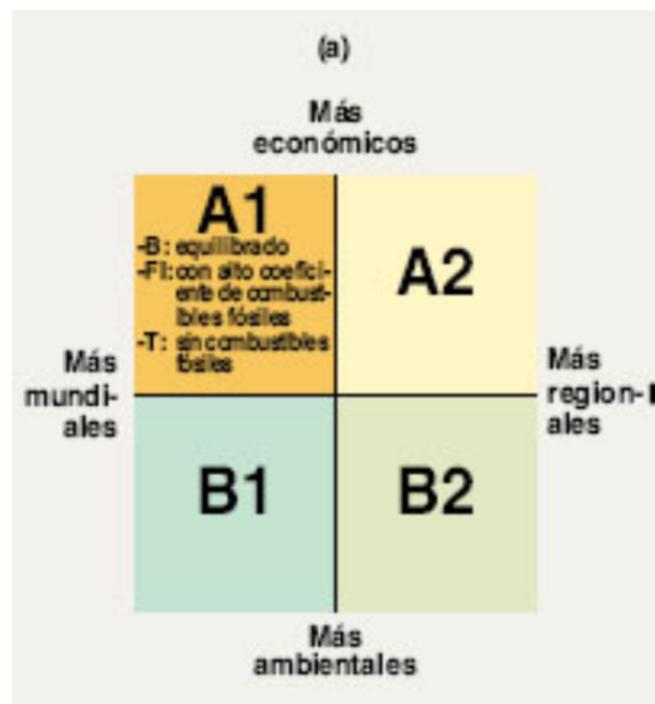


Figura 2. Tabla de escenarios del IPCC

Tenemos por tanto un plan llamado **A1T** [Linares19a] para la transición energética. Esta basado en un triángulo con 3 vértices clave: ahorro, eficiencia y energías limpias. Dicho con un ejemplo. Si tienes un electrodoméstico, no es necesario que lo apagues sino que:

- Lo uses solo cuando haga falta (ahorro)
- Sea de alto rendimiento, por ejemplo tipo A (eficiencia energética)

- Lo alimentos con electricidad proveniente de fuentes renovables (energías limpias)

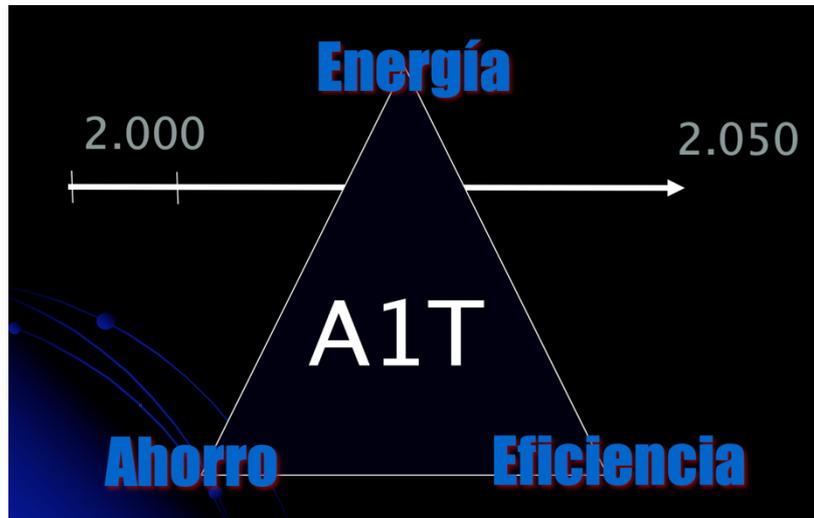


Figura 3. *Los tres vértices del modelo A1T*

Necesitamos por tanto una nueva forma de relacionarnos con la energía, a través del ahorro, la eficiencia y fuentes energéticas 100% renovable. Un excelente compendio de políticas recomendadas para hacer realidad esta transición ecológica están expuestas en el informe “*Escenario, políticas y directrices para la transición energética*” de la **Fundación Renovables** [FER19]

Dentro de la energías renovables, la fotovoltaica es la joya de la corona. El sol es la energía mejor distribuida que existe, pues llega a casi todos los tejados y no pasa factura por ello. La segunda gran ventaja es su fiabilidad. Un panel fotovoltaico es la única forma estática que conoce el hombre de generar electricidad (no tiene partes móviles, es prácticamente una “piedra” que al ser iluminada produce electricidad) Por eso hay paneles en satélites funcionando durante décadas sin que nadie haya tenido que subir a arreglarlos. Por si fuera poco, su precio ha caído exponencialmente, de hecho mas del **80%** en los últimos 10 años. En España ya hemos pasado el punto de paridad de red (“**grid parity**”) a partir del cual la energía solar fotovoltaica es mas barata que la convencional. No hacen falta subvenciones, sino voluntad política y facilidad administrativa para propiciar una auténtica revolución renovable en España. Por supuesto que necesitamos invertir en infraestructura eléctrica (redes inteligentes, puntos de carga, etc), pero para ello solo necesitamos recordar que España tenemos abundantes recursos renovables (sol, viento, biomasa,..) y poco petróleo. De hecho, gastamos un total de 37.340 millones de euros en importar hidrocarburos en el conjunto de 2017 lo que afecta enormemente a nuestra **balanza de pagos** [Mineco18].

La energías renovables es la parte del león en la solución del problema. Ahora bien la segunda pieza para salir del laberinto del minotauro es también de extrema importancia. Se trata de la economía circular (**EC**) tratada en el apartado anterior. Para ello hace falta tecnología, pero no cualquier tecnología. La tecnología puede servir para acelerar tanto

la economía circular como para expandir la lineal. Una muestra de tecnología al servicio de un mal diseño es la **obsolescencia programada** del modelo actual de innovación rápida. Por ejemplo, este fenómeno provoca que el ciclo de rendimiento (“*performance cycle*”) de nuestros móviles sea mucho menor que su ciclo de vida útil (“*life cycle*”), generando una gran cantidad de residuos. No solo necesitamos tecnología, sino tecnologías limpias “**clean-tech**” (CT)

La tecnología puede servir para acelerar tanto la economía circular como para expandir la lineal

Afortunadamente, estamos en los albores de la cuarta revolución industrial que tiene como motor el desarrollo de las tecnologías exponenciales, como puede aprender en la [Singularity University](#) (SU) creada en Silicon Valley por **Google** y la **NASA** para familiarizar a la sociedad con este tipo de tecnologías [Diamandis13]. Las tecnologías exponenciales son las que, amparadas en la ley de Moore y su corolario, la ley de los rendimientos acelerados de **Ray Kurzweil** [Kurzweil05], desarrollan un fuerte crecimiento exponencial. Déjame exponerte un ejemplo, querido lector, de la potencia de la exponencialidad. Si damos 30 pasos lineales, de un metro cada uno, al final habremos recorrido 30 metros. En cambio, si los pasos son exponenciales (1 metro, 2,4,8,16,..) al final de los 30 pasos habremos dado 25 veces la vuelta al mundo ¡Podéis ir a la luna y volver! Simplemente la exponencialidad es explosiva. Esta propiedad es altamente recomendable dada la urgencia que necesitamos para la descarbonización de la economía. Por consiguiente, las tecnologías limpias exponenciales (**ECT**) aplicadas a la economía circular **EC** merecen especial atención. Llamaremos **EC/ECT** a este nuevo rumbo.

La cuarta revolución industrial

*“Technology is a resource-liberating mechanism.
It can make the once scarce the now abundant.”*
Peter Diamandis

La cuarta revolución industrial sacudirá los cimientos de nuestra economía a través de poderosas fuerzas disruptivas que afectan directamente a la **EC**. Si no las tenemos en cuenta, corremos el riesgo de diseñar una **EC** de un mundo obsoleto.

Por otro lado, el nuevo mundo exponencial que se puede atisbar desde la **SU** supone una redefinición profunda de todo el sistema de relaciones económicas, políticas y sociales. Estamos ante una gran mutación del crecimiento económico que derribará principios fundamentales que creíamos firmemente establecidos debido a la conjunción de tres grandes revoluciones tecnológicas sectoriales: la genética, la nanotecnología y la robótica (**GNR**, por sus siglas en inglés) Esto provocará una serie de grandes transformaciones económicas. Por ejemplo, provocarán probablemente el fin del dinero físico, las tiendas presenciales, o los volantes en los automóviles [Aller17, Kurzweil05]. Además, la revolución de la digitalización y de la automatización provocará el fin del trabajo tal y como lo conocemos, y por tanto profundas transformaciones sociales y políticas.

Topología

¡Un topólogo es una persona incapaz de distinguir una taza de un donut!

Chiste matemático

Matemáticamente, las transformaciones geométricas son muy distintas a las topológicas. Si quieres saber cuanto tiempo tardas en viajar de un punto a otro conviene atender a las primeras; si quieres salir de un laberinto a la segunda. De hecho, el plano del metro de Madrid no te da información geométrica, que te es en buena medida irrelevante, sino información topológica, que es la que te permite llegar a tu destino. Dicho de otra forma, los actuales mapa de metro son una gran aplicación práctica de la topología. Hasta 1931 el mapa del metro de la ciudad de Londres era geográfico [Sorando], es decir una reproducción a escala de la realidad. Pero a ti pasajero no te importan los detalles geométricos, sino tan solo saber cual es el orden de las estaciones de cada línea y donde hay conexiones entre ellas. Es decir, te interesa un mapa topológico ¡para ver como salir del laberinto del metro!



Figura 4. Extracto del mapa topológico del metro de Londres

La topología nos proporciona una hermosa, abstracta y poderosa analogía pues es la ciencia que considera a los objetos no desde el punto de vista cuantitativo, como lo hace la economía lineal, sino desde el punto de vista de las cualidades especiales que se mantienen cuando se dobla y se retuerce el espacio que lo configura sin que el objeto inmerso en él se rompa.

Como hemos visto, la estructura de la **economía circular** es radicalmente diferente de nuestro modelo de **economía lineal** actual. No se puede cambiar de una a otra con parches o retoques parciales; es una transformación substancial. Implica rediseñar el modelo, adquirir otro tipo de estabilidad. Dicho de otra forma, implica un cambio de topología.

De hecho la topología atiende fundamentalmente a la conectividad de los objetos, al igual que la economía circular.

Pasar de la economía lineal a la circular implica un cambio de topología

Las tecnologías exponenciales y la economía de Moebius

“En época de crisis, la imaginación es mas importante que el intelecto”.

Albert Einstein.

Si le añadimos a la economía circular la transformación de la revolución de las tecnologías exponenciales, el sistema adquiere una estructura topológica todavía mas compleja. Para representar esta estructura consideremos la siguiente analogía. Si realizamos un cambio de topología sobre el círculo, podemos generar una “**cinta de Moebius**” [Miller10]. Partamos de una cinta de muñeca. Tiene dos bordes y dos caras una interna pegada a la muñeca y otra externa. Cortémosla con una tijera paralela a nuestro brazo, rotemos una cara 180° y volvámosla a pegar. Acabamos de construir una cinta de **Moebius**, es decir, una superficie no orientable que no tiene dos caras sino una. De esta manera en la cinta de **Moebius**, como se puede apreciar en la Figura 5, el plano interno y externo son el mismo. Una sola hormiga que recorriera de forma continua por la superficie de una cinta de **Moebius** acabará recorriendo las dos caras de la muñequera con la que estaba formada. Vemos que la conectividad entre la muñequera y la cinta de **Moebius** es totalmente distinta, por lo que no son topológicamente equivalentes. Podemos usar esta analogía para definir la nueva “**Economía de Moebius**” (EM) como la necesaria para estabilizar la unión de estos dos nuevos escenarios disruptivos; la economía circular y las tecnologías exponenciales. En el anterior esquema los dos modelos habitaban en las dos caras disjuntas de la “cinta” de la **EC**. En el nuevo esquema los dos modelos están integrados de forma continua en la misma economía: la economía de **Moebius**.



Figura 5. *La cinta de Moebius*

La economía de Klein

*La imaginación es la única arma
en la guerra contra la realidad.*
Alicia en el País de las Maravillas.
Lewis Carroll

Una cinta de muñeca normal puede extenderse para construir un cilindro y sobre él una botella. Si hacemos lo mismo tomando como plantilla inicial la cinta de **Moebius** generamos una **botella de Klein** [Miller10], representada en la Figura 6. Una cinta normal tiene dos bordes y dos planos. Una cinta de **Moebius** tienen dos bordes y un solo plano. Una botella de **Klein** no tiene ningún borde y un solo plano. En la botella de **Klein** no existe dentro y fuera, no tiene interior ni exterior. Sus fronteras no separan, sino que unen. Podemos intentar llenar de líquido una botella de **Klein**, pero no pararemos hasta llenar el universo.

La nueva dimensión que usamos para generar una economía de **Klein** a partir de una economía de **Moebius** es la **inclusión social**. En el corazón del diseño de la economía circular (**EC**) late como parámetro fundamental la **sostenibilidad**. En el de la economía de **Moebius**(**EM**) las **clean-tech exponenciales** y en el caso de la economía de **Klein** (**EK**) la inclusión social.

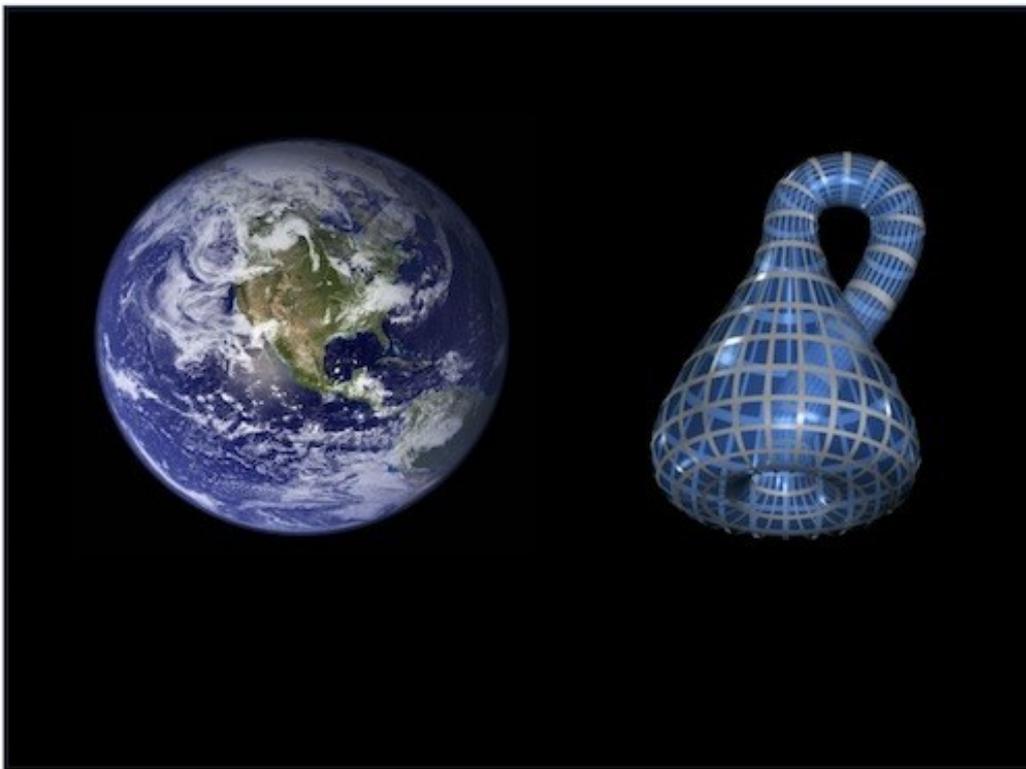


Figura 6. *La economía sostenible de Klein para un mundo inclusivo sin fronteras*

Estamos ante la confluencia de 3 grandes revoluciones: la sostenible, la digital y la 4ª Revolución Industrial. Su “colisión” conlleva por su propia naturaleza el riesgo de generar amplias **brechas sociales** si no son bien gestionadas. Estas revoluciones simultáneas solo se consolidarán si se produce al mismo tiempo una **revolución social** que las estabilice. En definitiva, el mundo avanza no solo a una enorme transformación económica, sino también social y política. Solo podremos instaurar un nuevo diseño sostenible si afrontamos todos estos ámbitos de manera integral. Para ello, como exponemos en este artículo, hacen falta no sólo una, sino dos cambios de topología.

Estamos ante la confluencia de 3 grandes revoluciones: la sostenible, la digital y la 4ª Revolución Industrial

Espero que este artículo te haya ayudado a visualizar un mundo dominado por las fuerzas de las tecnologías limpias exponenciales. Un mundo organizado en ciclos regenerativos sostenibles, pero sobre todo, un mundo socialmente inclusivo. Un mundo cuyas fronteras no separen sino que unan. Este es el mundo de la **economía de Klein**.

Conclusión

¡Ojalá vivas en tiempo interesantes!
Antigua maldición china

Vivimos en tiempos interesantes. El cambio de modelo es imperativo. Nos estamos jugando la continuidad de la vida en la tierra tal y como la conocemos. Hasta los niños han salido a la calle, alentados por la joven sueca **Greta Thunberg**, para preguntar a sus mayores *¿pero qué estáis haciendo?* Afortunadamente existe solución y un plan, pero debemos actuar rápido. Formas parte de la generación bisagra que tiene que protagonizar este cambio. Si optas por mirar a otro lado quizá algún día tus nietos te preguntaran porque no hiciste nada. No obstante, la sostenibilidad y la economía “carbón free” no es solo un compromiso ético con las generaciones futuras sino la única manera de evitar el colapso del sistema.

A veces las crisis entrañan una gran oportunidad. Este es también el caso. En la **SU** cifran la oportunidad económica asociada a la descarbonización de la economía de aquí al 2050 en una ventana de entre 80 y 240 trillones de dólares. Todo un reto para nuestros emprendedores prestos a desarrollar tecnologías limpias. **España** está en una envidiable posición estratégica para liderar este cambio. Forma ahora parte del grupo de ambición climática, posee abundante recursos renovables, un cierto tejido industrial en el sector, y puede actuar como enclave de unión entre América Latina y Europa. Siento como español que estamos viviendo un momento histórico ilusionante. De nuestra convicción como país y nuestra fortaleza dependerá el que vayamos por delante señalando el horizonte, o quedemos relegados una vez más al pelotón de cola. Suelo decir que *“basta reunir dos españoles para encontrar tres opiniones distintas”*. Sin embargo ahora debemos unirnos para encarar juntos el futuro. Desarrollar nuevas tecnologías es relativamente fácil. Ahora bien, cambiar los comportamientos humanos, cambiar las instituciones, desafiar la tradición y al poder es donde se encuentra el verdadero reto. No obstante, esta vez, siento a un país decidido a afrontar por él mismo su destino. Es nuestro momento.

Por otro lado, nuestro papel como europeos es doblemente importante. **Europa** debe liderar este proceso a nivel mundial, sobre todo en el desarrollo de I+D+i, que permita que las soluciones sostenibles sean también las mas baratas. Definitivamente, el mundo necesita mas Europa. Tenemos la misión histórica de reforzar y construir una Europa que hable con una sola voz ante el mundo, que plantee soluciones colectivas a problemas globales, que hable en nombre del planeta.

Tuve el honor de compartir escenario con Obama el año pasado en Madrid [Obama18]. Quedé impresionado cuando nos advertía que el problema del cambio climático no es un problema tecnológico; es ante todo un problema moral, un problema de valores. Creo sinceramente que tan ineficiente es la ciencia sin conciencia, como la conciencia sin ciencia. Solo del abrazo mutuo entre las dos saldrá una transición ecológica que permita construir un nuevo mundo. Este es el objetivo del **Congreso Mundial “Refundar el Planeta”** que la fundación *Inspirando a Líderes Comprometidos (ICLF)* está preparando en Ginebra para el 2020 [HAC20]. Tenemos que redefinir al capitalismo para superar la falla de mercado de la insostenibilidad del sistema, e integrar en el mismo los **Objetivos del Desarrollo Sostenible [ODS]**. La **economía de Klein** puede inspirarnos en el empeño.

Bibliografía

Nota: este artículo ha sido publicado como capítulo del libro **Eureka Valores** (Última Línea, 2019), Fernando Navarro y Gonzalo Sichar (coords) ISBN: 9788416159871.

[Aller17] Marta García Aller, *El fin del mundo tal y como lo conocemos. Las grandes innovaciones que van a cambiar tu vida* (2017, Planeta)

[Bancomundial19] <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS> Ver también <https://population.un.org/wpp/>

[Ceballos15] G. Ceballos et al, Science Advances, Vol 1, nº 5 2015. <https://advances.sciencemag.org/content/1/5/e1400253>

[Crutzen00] Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). «The 'Anthropocene'». *Global Change Newsletter* **41**: 17-18.

[Diamandis13] P. H. Diamandis y A. Kotler, *Abundancia*, (Antoni Bosch, 2013)

[Ellen16] *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics* (Ellen MacArthur Foundation, 2016) <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>

[FER19] “*Escenario, políticas y directrices para la transición energética*”. Fundación Energías Renovables 2019) <https://fundacionrenovables.org/documento/escenario-politicas-y-directrices-para-la-transicion-energetica/>

[Footprint08] *Análisis de la Huella Ecológica de España*, Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino (2008)

[Footprint19] <https://data.footprintnetwork.org/#/>

[ICLF] <https://www.foundationicl.org/proyectos/>

[IPCC18] <https://www.ipcc.ch/sr15/>

[IPCC] Un listado exhaustivo de informes del IPCC puede ser encontrado en la siguiente dirección URL <https://www.ipcc.ch/reports/>

[Kurzweil05] Ray Kurzweil, *The Singularity is Near* (Duckworth, 2005)

[Linares 06] Jesús Martínez Linares. *Rentabilidad de seguidores solares: cálculo del gasto crítico de mantenimiento*, Energética XXI, número 58, pgs. 34-36 (Septiembre 2006). ISSN: 1577-7855.

[Linares 07a] Jesús Martínez Linares. *Cambio climático y economía solar: una apuesta de futuro*. ATENEO: revista cultural del Ateneo de Cádiz, número 7, pg. 77-84 (2007). ISSN: 1579-6868.

[Linares 07b] Jesús Martínez-Linares. “*Modelos energéticos: escenarios para el cambio climático*”. Libro *Clima y Sostenibilidad*. Editores Leoncio García Barrón y Arturo Sousa Martín. Sevilla, Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y Ciencias de Sevilla y Huelva. 2008. Pg. 37-48. ISBN: 978-84-612-1596-6.

[Linares08] Jesús Martínez Linares, “*Cambio Climático, una realidad acuciante*” (VIPREN, 2008)

[Linares09] Jesús Martínez Linares *et al*, “*La Crisis del Clima: evidencias del Cambio Climático en España*” Informe Greenpeace, 2009. (76 páginas) <http://www.greenpeace.org/espana/reports>

[Linares12] Jesús Martínez Linares, “*Tiempos interesantes*”, Boletín Virtual de Sostenibilidad Ambiental Local. Publicación de la Federación Andaluza de Municipios y Provincias (FAMP) pg. 5 (Nº 4 , Marzo 2012). www.famp.es.

[Linares19a] Primer Informe Linares, “*Cambio Climático y Energías Renovables: hacia una economía carbón free*” (Fundación ICLF, 2019) <https://www.foundationicl.org/climate-change-forum/>

[Linares19b] Jesús M. Linares, *Planeta Titanic* (2019)

[Malthus15] Thomas Malthus, “*An essay on the principle of population*”, (Penguin, Classics, 2015)

[McDonough05] “*Cradle to Cradle, rediseñando la forma en que hacemos las cosas de la cuna a la cuna*”. William McDonough y Michael Braungart (McGraw Hill, 2005)

[Miller10] Frederic P Miller, Agnes F Vandomeand, John McBrewster, *Klein Bottel*(@lphascript, 2010)

[Mineco18] <https://www.elmundo.es/economia/2018/02/21/5a8c7db1e5fdeadb608b463f.html>

[Moore2001] Moore, Charles; Moore, S. L.; Leecaster, M. K.; Weisberg, S. B. (4), "A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre" (PDF), Marine Pollution Bulletin 42 (12): 1297–1300, 2001-12-01, doi:10.1016/S0025-326X(01)00114-X

[Obama18] I Cumbre de Economía Circular e Innovación. Madrid, 2018.

[ODS] Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[Sorando] http://matematicasentumundo.es/CURIOSIDADES/mapas_Metro.htm

[STERN06] Nicholas Stern, “Informe Stern” (2006) <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/6096084.stm>

[TARIPCC] “*Third Assesment Report*” (IPC, 2001) <https://www.ipcc.ch/report/ar3/syr/>

[Worldometer19] <https://www.worldometers.info/es/>

[WEF19] “*The Global Risks Report 2019*”. World Economic Forum.
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf

[WWF18] 'Informe Planeta Vivo 2018' WWF.
https://www.wwf.es/nuestro_trabajo_/informe_planeta_vivo/