

Tecnología y su impacto en la sociedad: estructura económica del futuro

Juan A. Zufiria

Académico de la Real Academia de Ingeniería

En las próximas páginas, quisiera compartir con vosotros una serie de reflexiones sobre el papel de la tecnología en el progreso de la sociedad y lo que podríamos esperar del futuro.

En cuanto al futuro no pretendo decir lo que va a pasar sino más bien entender como juegan las diferentes variables tecnológicas y sociales, y perfilar algunos posibles escenarios. Dejando encima de la mesa más bien preguntas que respuestas.

Hablando de variables, he reducido su número para entender mejor el impacto de algunos de los parámetros clave. Por ejemplo, no consideramos las fuerzas geopolíticas ni la forma de la pirámide demográfica o aspectos de natalidad. Me focalizaré en la tecnología y su impacto en la economía y la sociedad.

Comenzaré por una breve historia del papel de la tecnología en la historia de la humanidad, para pasar luego a hacer una fotografía de donde estamos hoy como sociedad y los retos que tenemos. Finalmente, intentaré analizar posibles escenarios de futuro que la evolución tecnológica podría dibujar para nosotros.

1. Donde comenzó - El pasado

Durante casi **trescientos mil años**, la especie humana —*Homo sapiens*— ha vivido en un mundo donde el progreso material apenas se movía. El producto interior bruto global (o la renta per capita), uno de los indicadores más fiables de nuestro desarrollo, ha permanecido prácticamente **estancado** durante toda nuestra historia.

Thomas Malthus decía que cualquier mejora solo sería temporal, ya que la población inevitablemente crecería hasta devorar la nueva prosperidad, que era imposible escaparse y el crecimiento sostenible era imposible. Es lo que se conoce como la Trampa Malthusiana. ¡Afortunadamente estaba equivocado! (*Daniel Susskind, Growth 2025*)

Y, sin embargo, en los **últimos tres siglos** hemos asistido a un fenómeno extraordinario: un crecimiento exponencial de la riqueza, de la productividad y de la capacidad humana para transformar su entorno. Nunca antes habíamos visto algo parecido. Como resultado de ello en 2021, una hora de trabajo en el grupo del G7 produjo, en media, 24 veces más bienes y servicios en comparación a 1870.

¿Por qué ocurre esto? Las explicaciones son diversas, pero hay una idea esencial que conviene destacar. A partir del Renacimiento, el ser humano empieza a dedicar tiempo —y energía intelectual— a **pensar de forma sistemática**, a observar, a experimentar, a construir lo que hoy llamamos ciencia.

Pero el verdadero salto no llega hasta el **siglo XVIII**, con la Revolución Industrial. Es entonces cuando el conocimiento científico deja de ser solo una forma de comprender el mundo y se convierte en una herramienta para **transformarlo**. La ciencia se hace tecnología, y la tecnología se convierte en bienestar, en productividad, en nuevas formas de vivir.

Este proceso tiene un motor muy claro: la **innovación**. Innovar es imaginar lo que no existe, convertir el conocimiento en soluciones, asumir riesgos y atreverse a introducir cambios que alteran nuestra vida cotidiana. La innovación ha sido, y sigue siendo, el gran impulso de nuestro progreso como humanidad.

Paul Romer decía que las ideas son la **materia oscura del crecimiento** (1980's). Hay una correlación perfecta entre las nuevas ideas y el progreso tecnológico. El **crecimiento sostenido** es posible y es el nuevo estado estacionario de la economía.

Si entramos en el **siglo XX**, después de la **II Guerra Mundial** se estructura la sociedad en el mundo occidental en base a lo que se ha llamado el **New Deal**, la base del **capitalismo democrático**. El mercado acepta al Estado y le delega la educación, la sanidad y los instrumentos de apoyo social (pensiones, paro, subsidios). Esto da lugar a un periodo de **progreso inclusivo** de unos 40 años y la configuración de lo que hoy llamamos la sociedad del bienestar.

En la última cuarta parte del pasado siglo, con la caída del comunismo y la aparición de la **escuela neoliberal de Chicago**, como diría un ingeniero, quitamos viscosidad a la economía (desregulación). Sin esa viscosidad entramos en el presente siglo para enfrentarnos a la **crisis del sistema financiero** que acaba con gran parte de la clase media del mundo.

Desde el punto de vista del ciudadano, todo ese progreso estaba basado en la expectativa (La crisis del Capitalismo Democrático, Martin Wolf, 2022) de que un individuo mejoraría su bienestar a lo largo de su vida y esperaría que la vida de sus hijos fuera aún mejor. Esa promesa, que era uno de los pilares de la sociedad del bienestar, ha colapsado. Creando una gran frustración en mucha gente.

Y llegamos a hoy....

2. Donde estamos hoy - La fotografía del presente

Hoy la sociedad mundial sufre tensiones de **asequibilidad** en todas las geografías y estas se manifiestan en diferentes formas.

En las economías avanzadas, los **costes de la vivienda** son el principal factor de falta de asequibilidad, mientras que en gran parte del mundo en desarrollo los **precios de los alimentos** son la mayor presión. En Estados Unidos, **los gastos sanitarios** a menudo rivalizan con la vivienda como la mayor carga. En Europa, los **precios de la energía** siguen siendo elevados tras el repunte posterior a Ucrania. Y en las ciudades de rápido crecimiento de Asia y África, los costes de transporte aprietan a las familias de clase media a medida que la urbanización avanza más rápido que la construcción de carreteras y transporte público (*Time Magazine, Jan 2026*).

Sentimos que se están rompiendo las costuras de la sociedad.

Pensando en la **sociedad occidental**, destacaría tres debilidades o factores que están en el origen de estas tensiones: desaceleración de los progresos en productividad, desigualdad y sostenibilidad.

La proyección del actual modelo **no lleva** a una sociedad inclusiva y sostenible —Todos lo sabemos—

Vamos a analizar un poco cada una de estas debilidades:

a) Desaceleración en el progreso de la productividad

Hay **numerosos indicadores** para **medir el progreso** de una sociedad. Una de las variables más relevantes es el **PIB por habitante**. Todos admitimos que el **PIB deja fuera** muchos aspectos de nuestra sociedad (mejora de la salud, compromiso con el clima, desigualdad, percepción del grado de felicidad, etc.), **pero** aun así el PIB/cápita es **todavía** uno de los **indicadores más relevantes del desempeño de la economía de un país**. Un mayor PIB per cápita implica un mejor nivel de vida y su mejora es el reflejo de una mayor **productividad**, resultado de **la innovación** y de la mejora de la eficiencia económica.

Como dice Paul Krugmann, Premio Nobel de Economía en 2008: *“la productividad no lo es todo, pero a largo plazo lo es casi todo”*. Preguntar como aumentar la productividad es lo mismo que preguntar como generar más ideas.

La clave de este progreso ha estado principalmente en la innovación tecnológica como resultado de estas nuevas ideas.

Según el **Global Innovation Outlook** (2022) hemos entrado en un periodo de desaceleración en la mejora de la productividad. El primer período de desaceleración de la productividad tuvo lugar aproximadamente en la década de 1970. La caída desde una tasa media de crecimiento anual del PIB/cápita del 3,8 % entre 1950 y 1973 hasta el 2,1 % entre 1976 y 2007 es visible casi en todos los casos, con la única excepción de la República de Corea. Una nueva caída hasta una tasa media de crecimiento anual del 1,2 % entre 2010 y 2021 puede observarse en casi todos los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), esta vez incluyendo a la República de Corea.

Una de las razones de esta ralentización podría tener su origen en la falta de nuevas tecnologías disruptivas (ideas) y en una menor adopción y/o beneficio de ellas por parte de la industria y la sociedad.

Esta falta de nuevas tecnologías podría tener su origen en el hecho de que las ideas son cada vez más difíciles de encontrar. El aumento de I+D es insuficiente para mantener el ritmo que necesitamos para sostener el ritmo de progreso que hemos disfrutado en el pasado. Todos hablamos de la ley de Moore- cada 18 meses duplicamos, y muy poco de la ley de Eroom (la inversa)- que dice que para mantener el ritmo de descubrimiento también tenemos que multiplicar los esfuerzos (el número de científicos que trabajan en ello).

Además, a lo largo del tiempo es necesario más aprendizaje (conocimiento) para alcanzar el punto en el que los científicos puedan empujar la frontera.

Hay un artículo muy bueno de *Nicholas Bloom et al. del 2017 del National Bureau of Economics Research* titulado: *¿Son las ideas más difíciles de encontrar?* Estudia los parámetros de la ley de Moore. Ellos concluyen que para mantener la ley de Moore hemos necesitado multiplicar por 20 el número de investigadores en las últimas décadas.

Por el contrario, puede que no exista tal limitación sobre la investigación y que el descenso de la productividad investigadora se deba a **cambios en las instituciones que la sustentan**.

Se han propuesto varios factores posibles en este sentido.

- Arora et al. (2019), por ejemplo, analizan **la retirada del sector privado de la ciencia básica**.
- Cui, Wu y Evans (2022) estudian el impacto del **envejecimiento en la fuerza laboral científica**.
- **El riesgo en la ciencia está disminuyendo**. NIH- se financian proyectos continuistas y a científicos muy consolidados (Abundancia, Klein&Thompson, 2025).
- Mientras tanto, Bhattacharya y Packalen (2020) atribuyen el problema a **la creciente importancia de las citas como medida de la producción científica**. Como resultado hay una obsesión por publicar, haciendo el ejercicio evolutivo y reduciendo la creación de ciencia y tecnologías disruptivas (M. Park, et al., 2022).

No obstante, esta no es una lista exhaustiva de las explicaciones planteadas.

La pregunta ahora es si podemos **recuperar el ritmo pasado** y cuáles son las tecnologías que nos pueden llevar a ello. Y este será el foco de la última parte de este ejercicio.

La respuesta creo que es sí. **Soy optimista**, Daniel Susskind propone, caminos hacia una mayor generación de ideas e innovación, como son:

- una mayor inversión en I+D,
- un mayor número personas preparadas y trabajando en el mundo de las ideas (educación y acceso). El talento está distribuido uniformemente en la sociedad, pero las oportunidades no lo están),
- más tecnología en la investigación (lo estamos viendo ya con la IA-AlphaFold),
- una gestión modificada de las patentes (limitaciones de acceso al conocimiento), por ejemplo, liberando las patentes que no se utilizan,

Y, sobre todo, ***elegir la dirección del crecimiento***. Daron Acemoglu ha introducido el concepto de ***“Cambio Tecnológico Direccionado”***. El cambio tecnológico no tiene una dirección predefinida o aleatoria, sino que además puede y debe ser direccionado deliberadamente hacia un fin particular.

Tenemos que dirigir las tecnologías de tal forma que el crecimiento económico refleje nuestras **preocupaciones como ciudadanos** más que nuestros intereses superficiales como consumidores.

b) Desigualdad

Curiosamente estos últimos decenios han traído una mayor igualdad **a nivel mundial**. El coeficiente de Gini (que mide el reparto de la riqueza entre los ciudadanos del mundo) a nivel mundial ha mejorado (Joe Hasell, *Our World in Data*). El coeficiente se mueve en base a **dos componentes**: cambios entre países y cambios dentro de los países.

Debido a una reducción de las diferencias entre las sociedades o países que han sido significativos por los movimientos de globalización, el coeficiente ha mejorado (se ha reducido).

Pero el coeficiente ha aumentado dentro de las sociedades (países) más significativas, aunque se reduce a nivel mundial- estamos creando una micro fragmentación (desigualdad dentro de las sociedades).

Además, la demografía juega en contra. Nacemos donde no se vive bien. Esto crea una presión migratoria. Pensemos que la sociedad occidental está diseñada con libertad de movimiento de capitales y productos, pero no de personas. Esto provoca grandes tensiones migratorias de personas buscando una mejor vida. Los bienes son producidos por el trabajo y el capital. Para ver cómo una globalización asimétrica puede afectar al poder de negociación, **imaginemos**, por un momento, cómo sería el mundo si hubiera libre circulación de mano de obra, pero no de capital. Los países competirían para atraer trabajadores. Prometerían buenos colegios y un buen medio ambiente, así como menos impuestos a los trabajadores. Ello podría financiarse con unos elevados impuestos sobre el capital. (Joseph Stiglitz, *El precio de la desigualdad*, 2015).

Si nos preguntamos cuales han sido las razones de esa desigualdad, tenemos muchas teorías. Voy a volar un poco sobre algunas de ellas.

1.- Si observamos la evolución **de la productividad y los salarios** en el pasado siglo, vemos que hasta la década de los 1970's las dos variables evolucionan a la vez creando progreso en todas las clases sociales, a partir de ahí hay un desacoplamiento entre las mejoras de productividad y los salarios (*Economic Policy Institute*). Curiosamente los progresos en productividad provinieron principalmente de la aplicación en la sociedad civil de los avances tecnológicos conseguidos por el esfuerzo militar durante la Segunda Guerra Mundial (*"Relatedness", The infinite Alphabet Hidalgo 2025*)

2.- Cambios tecnológicos que crean **sesgos en conocimientos** y segmentan la sociedad entre los preparados y los no preparados. Esta teoría fue muy apoyada en el periodo de 1975 a 1995, y explica una gran parte del fenómeno, pero no es capaz de explicar la concentración de ingresos y riqueza en la punta de la pirámide.

3.- Lazonick & Mazucatto achacan esta concentración a una **mala implementación de la ecuación de la innovación**. El retorno no fluye a los que asumen el riesgo, y no hay suficiente redistribución. Todo esto es debido a que la innovación es colectiva, acumulativa e incierta. Estos atributos hacen que los beneficios no fluyan a los que asumen el riesgo salvo que se tomen acciones determinantes para evitarlo.

4.- Finalmente, en la última década se ha hablado mucho de la hiper-concentración de riqueza, no en ingresos, principalmente en los dueños de las plataformas de redes sociales e IA. 10 personas concentran el 0.52% de la riqueza global. Aunque este factor no es el relevante para nuestro análisis que se centra en el coeficiente de Gini de los ingresos.

Es evidente que necesitamos **un mejor equilibrio entre desigualdad y eficiencia**. Durante el siglo pasado los economistas debatieron mucho sobre este equilibrio. En la teoría económica clásica del siglo pasado, en un extremo tenemos a John Rawls que da prioridad a la igualdad en su reconocido estudio sobre "La justicia social", pero todos sabemos que una sociedad totalmente igualitaria no funciona, y en el otro extremo tenemos a Milton Friedman que da todo el poder a la eficiencia y deja el mercado en total libertad. **Arthur Okun** (*Equality and Efficiency, 1997*) habla de la necesidad de este equilibrio y la necesidad de cierta desigualdad para que la sociedad funcione. Ya dentro de este siglo, Joseph Stiglitz explica que un alto nivel de desigualdad no solo es injusto, sino que es **económicamente ineficiente** y perjudica el crecimiento, la estabilidad y la productividad. A partir de un Gini $\approx 0,40$ la economía empieza a perder eficiencia, y por encima de 0,45–0,50 la pérdida es severa (FMI, OCD, Banco Mundial). Aunque no en Europa, pero si en muchos lugares del mundo estamos en territorio de ineficiencia.

Martin Wolf en su libro “La crisis de capitalismo democrático”, dice que, en vez de unir los valores del capitalismo y la democracia para generar más progreso, tendemos a enfrentarnos. En vez de buscar un balance, lo que hacemos es crear polarización.

La reducción del ritmo de progreso de la productividad, unido a la desigualdad creada durante las últimas décadas han dado lugar a la mayoría de las tensiones que hoy vivimos en la sociedad occidental. **Progresamos menos y repartimos peor.**

c) **Sostenibilidad**

Entramos ahora en la tercera dimensión del juego. Según las Naciones Unidas, una sociedad sostenible es aquella que satisface sus necesidades sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.

Hoy un antiguo proverbio keniano dice: *“Trata bien la Tierra: no fue dada a ti por tus padres, sino prestada a ti por tus hijos”.*

Los economistas están descubriendo que las ecuaciones que han usado para simular el progreso económico son incompletas. Como hacemos todos matemáticos, cuando un término es pequeño lo eliminamos de la ecuación, y se nos olvida volverlo a incluir cuando empieza a ser relevante.

Todo el progreso ha estado basado en la relación trabajo y capital, y **nunca se ha reconocido el uso de los recursos de planeta y no se le ha retribuido al planeta.** Los economistas a veces hablan de recursos naturales, pero en ninguno de los numerosos modelos económicos existentes hay una variable que represente la perpetua contribución de la Naturaleza.

El modelo económico actual viola la segunda ley de la termodinámica (Nicolas Georgescu-Roegen). Desde un punto de vista puramente físico, **el proceso económico es entrópico**, no crea ni consume materia o energía, sino que solamente transforma baja entropía en alta entropía. Según la segunda ley de la termodinámica, toda transformación de energía implica pérdida de **energía útil**. El sistema económico, sin embargo, actúa como si los recursos fueran **infinitos y reciclables sin coste**. Alguien tiene que pagar por la fiesta, y ese es el planeta (se come el exceso de entropía creado).

La relación entre el dinero y la entropía data ya del siglo XIX. G. Helm en 1887 ya dijo que: *“El dinero constituye el equivalente económico de la baja entropía”* (G.Helm, 1887).

Creo que fue el premio Nobel de Química de 1921, Soddy quien fue en realidad el precursor de lo que hoy se llama **Economía Ecológica**. Él decía que el dinero no puede crecer de forma infinita si los recursos físicos son finitos.

Esto lo podemos ver con una simple extrapolación del uso de los recursos físicos que hacemos hoy. Miremos a la masa antropogénica anual, la que sacamos de la tierra cada año para alimentar nuestra economía. Esta masa es de 100 mil millones de toneladas (*Global Material Use-Global Material Flows Database, ONU*). A un crecimiento del 3% anual de la economía del mundo, consumiríamos toda la tierra en 867 años. O sea, nos comeríamos el planeta. Tendremos casas, pero no suelo donde ponerlas.

Por otro lado, podemos mirar también al, ya famoso, tema de la emisión de gases de efecto invernadero, que está llevándonos hacia un planeta más caliente. Estos gases son producidos en un 60% por la industria, la movilidad, la electrificación y el calentamiento de los espacios que provienen del consumo de energía. Un 24% de ellos vienen de la agricultura y ganadería, en gran medida fuentes de nuestra alimentación. Aunque hemos sido capaces de desacoplar el crecimiento económico con la emisión de estos gases en muchos lugares del mundo, todavía estamos muy lejos de revertir la situación. Necesitamos una transición rápida.

Creo que somos la primera generación que puede satisfacer las necesidades de todos los habitantes de la tierra y a la vez dejar el entorno en una mejor situación de la que nos encontramos. Y tenemos la obligación moral de hacerlo (Hannah Ritchie).

Tenemos la tecnología para poder hacerlo, sólo tenemos que querer hacerlo y organizarnos para ello. Hablaré más sobre este tema adelante.

3. Hacia donde vamos - Los posibles caminos del futuro

Mirando hacia el futuro una mente ingenieril, podríamos decir que tenemos unas **condiciones iniciales**, que es donde hoy estamos. Tenemos unas fuerzas externas que en general son tecnológicas (o al menos son en las que me voy a focalizar), y ahora queremos ver hacia donde evolucionaremos con las ecuaciones que describen la evolución.

Mirando a esas fuerzas tecnológicas y a pesar de esa disminución en el progreso de la productividad, tenemos que decir que estamos rodeados de tecnologías muy prometedoras. No ha habido un momento en toda la historia en el que **la distancia entre lo que somos capaces de imaginar y hacer haya sido tan corta**. Por lo tanto, tenemos que ser necesariamente optimistas.

Como he mencionado antes, nos corresponde a nosotros dirección de ese futuro tecnológico.

Si pensamos en el futuro, hay tres tecnologías clave que pueden tener un efecto diferencial en el progreso y la configuración de la sociedad, que son: la Inteligencia Artificial, la Energía de Fusión y la Biotecnología (Biología sintética). Las tecnologías siempre amplían el ámbito de lo posible y creo estas tres tecnologías pueden permitirnos

recuperar e incluso acelerar el ritmo de progreso de la productividad. Abriendo nuevas avenidas de bienestar.

Pero también hay que reconocer que su potencial puede **tensionar o incluso fracturar la sociedad**. Y este es el punto en el que me quiero focalizar.

Soy consciente de que estos días se ha hablado mucho de otras tecnologías muy importantes como *Edge Computing*, Ciberseguridad y Tecnologías Cuánticas (de esto me encantaría pasar el resto del tiempo hablando de ellas), pero considero que su impacto transformacional en la sociedad es menor. En otras palabras, van a generar progreso, pero no van a producir ondas de choque que sacudan la sociedad.

Pasemos a analizarlas un poco.

a) Inteligencia Artificial

Empezando por la IA, vemos que es el resultado de la combinación de cuatro elementos: Datos, Algoritmos, Capacidad de cómputo y energía. No voy a entrar aquí en los detalles de los componentes, salvo en uno de ellos que es el de la energía, que desarrollaré en unos minutos.

Prefiero **enfocarme** en su impacto desde el punto de vista de **productividad**. Aunque vemos mucha actividad y entusiasmo alrededor de la IA, hay que reconocer que estamos en el principio y todavía no tenemos medidas suficientes para evaluar su impacto económico. Cuando escuchamos a los expertos, vemos una gran dispersión de predicciones. Desde **Daniel Suskind**, autor de *"A World Without Work"*, hasta el economista y premio Nobel **Daron Acemoglu** —quien estima que la IA solo afectará al 20% de los empleos y que las ganancias de productividad serán de apenas 60 puntos básicos en un periodo de diez años, es decir, prácticamente nada. Las organizaciones de todo el mundo están explorando esta realidad con numerosos casos de uso en todas las industrias y ámbitos de la sociedad, y debo señalar que a día de hoy están encontrando ciertas dificultades para escalar esos efectos (*Mckinsey Report, 2025*) y generar resultados claramente materialmente tangibles.

Esta **diversidad de opiniones y la falta de medidas fehacientes** de lo que está ocurriendo, hace que el **nivel de riesgo sea grande**, y todo el mundo vea la focalización en aprender rápido como el mejor camino hacia la mitigación/protección del riesgo.

Mirando al empleo, la tecnología ha sido el verdadero motor del desarrollo al reducir los costes de fabricación, en muchos casos reemplazando puestos de trabajo. Hoy en día el 80% de la fabricación de un coche está hecha con robots. Pero este desplazamiento de puestos de trabajo no ha sido un problema, ya que esta fuerza ha sido menor que la demanda de nuevos puestos de trabajo en otras partes de la economía y por lo tanto hemos tenido **siempre un neto positivo** de creación de puestos de trabajo, aunque los equilibrios creación/destrucción han podido tardar más o menos en balancearse. Pero ahora el escenario podría cambiar.

Antes de empezar a hablar del impacto en el total del empleo he de decir que muchos autores creen que **la perspectiva más perniciosa** que la inteligencia artificial y la robótica plantean para el mercado laboral es que podrían **erosionar de forma sustancial el valor de los conocimientos específicos humanos**. Gran parte del valor del trabajo en las economías industrializadas proviene de la **escasez de los conocimientos específicos**, más que de la escasez de trabajadores en sí misma. Las herramientas, como la IA, suelen aumentar el valor de las capacidades de un determinado trabajador. Pero esto, en muchos casos, **reducirá los ingresos** y las perspectivas de empleo de los trabajadores cuyas habilidades expertas se vuelvan menos escasas.

Estamos viendo publicados muchos informes sobre el impacto en el empleo total en España y con una gran diversidad de opiniones. Por ejemplo, un análisis publicado por *Randstad Research* recoge, por contra, que el desembarco de la IA provocará una pérdida de cerca de 400.000 empleos en España en los próximos diez años. Un estudio reciente del Instituto Universitario Valenciano de Investigación en Inteligencia Artificial (VRAIN) de la Universitat Politècnica de València revela que entre el 18% y el 22% de los empleos en España están expuestos a la inteligencia artificial.

Oxford Economics concluye que hay pocos indicios, más allá de pruebas anecdóticas, de que la inteligencia artificial (IA) esté provocando pérdidas masivas de empleo.

La variable clave a determinar es **la escala de tiempo**. Sabemos que, aunque la redistribución del trabajo ha sucedido siempre en el pasado creándose al final más puestos de trabajo en la sociedad, no todos los pasos ocurran a la vez. Los nuevos puestos podrían tardar años o incluso décadas en aparecer, con **importantes impactos adversos sobre los trabajadores** —desempleo, pérdida de salarios y creciente desigualdad— durante ese periodo.

Además, esta vez podríamos estar en un escenario diferente, ya que no estamos eliminando puestos de trabajo en la base de la pirámide laboral, sino en el segmento de los **White Collar** que tienen salarios altos, y son el sustento del consumo y los impuestos. Además, los nuevos puestos de trabajo que fuéramos a crear podrían también ser reemplazados por la IA (esto es nuevo). El shock económico podría ser mayor.

Parece que el desempleo tecnológico podría ser un reto extraordinario, pero en realidad **el mayor reto, y ocurrirá antes, es la desigualdad**.

Todos los mecanismos que tenemos en la sociedad están contruidos bajo la norma de que el empleo es la norma y el desempleo es una excepción temporal. Si rompemos esa lógica tendremos que construir nuevas normas para gestionar el futuro.

Impacto de la IA en el reto energético

Hay otra dimensión de la IA, que es el de la energía.

Es bien conocido que todo este movimiento de **la IA**, está creando una **gran tensión en el mundo de la energía**.

Cada enero, Davos se transforma. Hace seis años el tema principal era el clima; este año la IA lo ha eclipsado todo. Pero entre bastidores surgió otra **preocupación compartida** por tecnológicas, inversores y desarrolladores: la IA necesitará cantidades masivas de electricidad para escalar, lo que convierte a las empresas energéticas en socios estratégicos.

Aunque suele verse como un problema climático —más energía implica más emisiones— también representa una oportunidad. Las enormes inversiones en IA están impulsando inversiones igualmente grandes en energía, muchas de ellas en tecnologías limpias capaces de descarbonizar la red. Empresas como *Bloom Energy*, *Schneider Electric*, *Johnson Controls* o *Constellation Energy* están viviendo un auge bursátil gracias a esta demanda.

Los desarrolladores de centros de datos, a menudo criticados por aumentar las emisiones, se han convertido en motores clave de demanda de energía limpia, especialmente en EE. UU. Aun así, una parte importante del nuevo consumo eléctrico estadounidense se cubrirá con gas, y algunos estados usan la expansión de centros de datos para justificar mantener el carbón.

No debemos **menospreciar** la **contestación social** a este tema. La revista *TIME Magazine* (Feb 2026) ha hecho referencia a que los activistas han paralizado proyectos de centros de datos por valor de 98.000 millones de dólares sólo en el segundo trimestre de 2025, según investigadores de *Data Center Watch*.

A pesar de estos desafíos, el impacto global podría ser positivo: si las inversiones actuales abaratan y consolidan la energía limpia, el boom de la IA podría acelerar la descarbonización mundial, incluso si a corto plazo aumenta las emisiones.

Esto me lleva inevitablemente a hablar de la energía de fusión como solución fundamental a esta demanda y los retos energéticos del mundo.

b) Energía de Fusión

La historia ha demostrado que el progreso en el nivel de vida de una sociedad está ligado al consumo energético por habitante. Nos hemos podido desacoplar estas dos variables. Lo que necesitamos ahora es desacoplar el consumo energético de la emisión de gases de efecto invernadero. Este es y ha sido el gran motor de la evolución de las energías renovables.

Desde mi humilde perspectiva, las renovables son simplemente un paso intermedio hacia la solución que utiliza la naturaleza, que es la energía de fusión. Estamos hablando de construir una pequeña estrella en la tierra. Algo que suena bonito, pero no es evidente.

Necesitamos simular las condiciones de temperatura y presión que se dan en el sol y aquí no tenemos la gravedad para ayudarnos. Resolver este problema requiere de nuevos materiales y mucha ingeniería. Estamos hablando de manejar un plasma a más

de 100 millones de grados de temperatura. Hemos demostrado que es posible (*NIF National Ignition Facility*) y sabemos hacerlo.

Llevamos varias décadas hablando de la fusión y siempre la vemos a 20 años vista, un **“moving target”** al que nunca llegas, por eso no la estamos considerado en los planes energéticos actuales y no hablamos suficiente de ella.

Pero esto está cambiando muy de prisa, y ahora vemos que puede estar más cerca. El mero hecho mirar a las inversiones privadas que están llegando nos hace indicar que nos estamos acercando, y mucho, a que todo esto sea real.

La *Fusion Industry Association* realiza una encuesta todos los años sobre donde dónde estamos. Los resultados de la encuesta de este año confirman que probablemente llegará a comercializarse en la década de 2030. De las 45 empresas que respondieron, la gran mayoría —35— prevé operar una planta piloto comercialmente viable, capaz de generar energía neta, entre 2030 y 2035. Cinco empresas apuntan a estar comercialmente preparadas antes de 2030, mientras que otras cinco esperan alcanzar esa etapa más tarde, entre 2036 y 2040. Estos calendarios para las plantas piloto representan un avance significativo hacia plantas comerciales que suministrarán electricidad a los clientes, con 28 empresas que esperan conectarse a la red entre 2030 y 2035, y solo unas pocas proyectando entregas más allá de 2040.

En concreto *Helium* ha firmado ya un contrato de suministro de energía con *Microsoft* para el 2028.

Para mí lo más importante no es la fecha exacta sino saber que es flexible y la podemos adelantar si reconocemos el valor de esta alternativa tecnológica e invertimos adecuadamente. Todas las inversiones que realicemos hoy en esta tecnología, aunque sean contaminantes, son bien venidas por el valor del retorno (Consumir mucho ahora para adelantar la transición a la energía de fusión).

Es una fuente limpia, muy densa (necesita poco espacio), prácticamente ilimitada y controlable. Todo aquello que nos gusta, y la sociedad no lo sabe.

Es necesario poner este tema en la agenda del mundo, y muy especialmente de Europa, ya que es el único camino que podría llevarnos a una independencia energética.

c) Biotecnología

Hay dos formas de existencia en el mundo, una inmaterial que persiste en el tiempo que tiene su origen en el *Big Bang* y otra, que comenzó hace unos 4.000 mil millones de años, destinada a morir (Antonio Damasio, 2025). Con la biotecnología intentamos entender cómo funcionan los seres vivos y cambiar sus propiedades con una visión ingenieril.

La biotecnología tiene impacto principalmente en tres actividades económicas: Agricultura, Industria y Sanidad/Farmacía. Pero el impacto más importante es el que puede producir en nosotros mismos.

La revolución industrial aumentó la capacidad de nuestros músculos, las TICs la capacidad de nuestras neuronas, y la Biotecnología **nos cambiará a nosotros mismos**.

Representa una nueva forma de fabricar materiales o seres vivos con propiedades diferentes.

Los economistas siempre se han sentido atraídos por los sistemas vivos porque se comportan como **motores auto-productores de organización**. A diferencia de la materia inerte, la vida puede construir y mantener su propia estructura convirtiendo energía externa en trabajo interno (**sistema autopoietico**). También genera nuevo “capital biológico” reparándose a sí misma, creciendo y reproduciéndose. Estas características hacen de los organismos vivos el ejemplo más notable de **producción autónoma** que conocemos. No necesitas trabajadores: consumes energía del exterior, exportas entropía y creas capital.

La biología es la ciencia que estudia los organismos vivos y los principios que gobiernan la vida. La biotecnología utiliza este conocimiento biológico para desarrollar productos y procesos útiles, desde medicamentos hasta cultivos mejorados. **La biología sintética** va un paso más allá al aplicar principios de ingeniería para rediseñar organismos existentes o crear nuevos sistemas biológicos que no existen en la naturaleza.

No ha sido hasta la segunda mitad del siglo XX cuando realmente hemos empezado a comprender muchos de los componentes fundamentales de la vida que nos están permitiendo abrir el camino hacia la biología sintética.

Además, estamos en un momento en el que la tecnología trasciende a la biología en muchos frentes. Hemos de darnos cuenta de que la biología es **evolutiva**, mientras la tecnología es **transformadora**. Dada una funcionalidad la evolución biológica aumenta la eficiencia, pero no cambia el diseño como lo puede hacer la tecnología. Hablemos por ejemplo de un concepto curioso y sencillo de entender como el de los **respirocitos** que ideó Robert A. Freitas Jr (*Robert A. Freitas Jr. publica “A Mechanical Artificial Red Cell: The Respirocyte” (1996)*). Son glóbulos rojos artificiales diseñados con prestaciones muy superiores a los que tenemos. Hoy no somos capaces de resolver todos los problemas de ingeniería que implica construirlos, pero sabemos que cuando lo consigamos podremos sustituir nuestros glóbulos rojos por respirocitos, que son mucho más eficientes y solo necesitaremos respirar una vez cada dos horas (bucear sin tanques).

Todos somos conscientes de las implicaciones éticas que conlleva cambiarnos a nosotros mismos, pero las oportunidades que se abren son inmensas y estamos sólo en el comienzo. No sé cuánto carbono será reemplazado por silicio en nosotros mismos.

Los escenarios del futuro para la sociedad

Las tres tecnologías que he descrito nos pueden permitir construir un futuro muy prometedor. Recuperar ese ritmo de progreso que hemos perdidos y crear un

crecimiento que sea inclusivo y sostenible. Pero el camino no es fácil y tiene **muchos riesgos**.

Cuando miramos al impacto en la sociedad de estas tecnologías, vemos que por un lado la fusión resuelve en gran medida reto climático y podemos pensar en una energía infinita. Obviamente tenemos que resolver todavía mucho retos técnicos, económicos y sociales, pero el camino es claro y no tiene mucho debate, ni riesgos. En cuanto a la IA y la Biotecnología:

- **La IA domina el impacto macroeconómico:** su efecto sobre productividad es mucho mayor que el de la biotecnología en el corto plazo.
- **La biotecnología tiene efectos más lentos pero estructurales,** especialmente vía salud, agricultura y procesos industriales.

Pero estas dos tecnologías pueden cambiar la sociedad. Y si el progreso en ellas es rápido, pueden sacudir la sociedad como dos ondas de choque que, provenientes de ángulos diferentes, pueden acumular sus efectos; una desde la **longevidad** y la otra desde el **trabajo**.

Inteligencia Artificial

Si analizamos la primera, la IA, no hay duda de que la IA va a desplazar muchos puestos de trabajo y a la vez crear prosperidad, o sea la tarta será mucho mayor. Como hemos mencionado antes, la primera pregunta es cuándo, la escala de tiempo en la que esto va a ocurrir. Si el proceso es lento, quizás los métodos tradicionales nos permitan ir adaptando la sociedad.

En los últimos años estamos viviendo movimientos de científicos y personalidades relevantes pidiendo reducir el ritmo de progreso para que podamos controlar la transición de una mejor manera sin descarrilar. Esto, aunque sea teóricamente posible, es utópico. El problema a que nos enfrentamos de verdad es como diseñamos los mecanismos para distribuir la tarta mejor y evitar romper la sociedad en dos: **los útiles y los inútiles**. Ya sé que suena duro. Nos enfrentamos a un mundo en el que no habrá trabajo para todos.

Si la adopción de la IA es rápida y la mejora de productividad viene acompañada por un rápido crecimiento de la riqueza global (PIB Global), el problema se reducirá a un problema de redistribución.

Hay muchas teorías para controlar la dinámica del problema. Una de ellas es la de Daniel Susskind, economista de Oxford. Su propuesta se basa en dos herramientas que han de actuar a la vez, pero son muy poco populares: aumentar los impuestos a los beneficios de las empresas (en realidad a los retornos del capital), y combinarlo con Ingreso Básico Condicional (CBI- Daniel Susskind 2021). La clave está en el **condicional**: quien pertenece a una sociedad y que obligaciones ha de asumir.

Pero si el impacto es rápido y fallamos en la redistribución, nos podremos encontrar con escenarios como el dibujado por **Citrini Research**, que hizo tambalear las bolsas de todo el mundo en febrero cuando fue publicado el documento.

El documento describe una “**crisis mundial de la inteligencia**” en 2028, causada por la **rápida sustitución del trabajo cognitivo** humano por sistemas avanzados de IA. Según el informe:

- La IA se vuelve **abundante, barata y masivamente adoptada**, especialmente en tareas de cuello blanco.
- La economía entra en una fase donde la **productividad aumenta**, pero **los ingresos de los trabajadores no**, porque la IA no consume ni participa en la economía real.
- Se produce un **colapso del empleo cualificado**, afectando a ingenieros, programadores, analistas, abogados y otros perfiles tradicionalmente bien remunerados.
- El consumo cae, los salarios se hunden y se desencadena una **recesión global**.

El informe introduce el concepto de **PIB fantasma**: crecimiento estadístico impulsado por la IA que no se traduce en ingresos reales para la población, porque la IA no compra bienes ni paga impuestos.

El informe asume que la IA reemplaza a millones de trabajadores en meses. La evidencia histórica (automatización industrial, informática, robótica) muestra que estos procesos son **graduales**, no son tan instantáneos. Todos estos procesos de transformación tienen muchos cuellos de botella y rozamiento que les hace progresar a una menor velocidad.

En otras palabras: **el informe señala vulnerabilidades reales, pero las magnifica para construir un escenario extremo.**

Longevidad

La segunda onda es la de la longevidad. Toda la **economía** actual está **basada en un final de la vida**. La pregunta que quiero lanzar es: ¿Y si cambiara esto? ¿Cómo cambiaría la sociedad? Esto podría no estar tan lejos. Kurzweil diría que en 2045.

La pregunta no es si llegaremos a la inmortalidad, sino como vamos a manejar la transición hacia una mayor longitud de la vida.

En ese punto las ecuaciones cambian porque **la vida se transforma en un mero problema económico**. La longevidad deja de tener un precio infinito que hoy tiene. La combinación de este paso y la desigualdad pueden destruir la sociedad.

Estudios estadísticos sobre la situación actual demuestran que esto ya sucede, pero de una forma casi imperceptible todavía. En España en concreto, la esperanza de vida a los

65 años de los ricos es **2,54 años** más que la de los pobres. Esta diferencia es todavía pequeña en España debido a nuestro sistema de protección social. En EE.UU. esta diferencia puede estar hoy ya en el entorno de los **10 años**.

Aunque la medicina progrese muy de prisa y aunque hoy pudiéramos alargar la vida de una persona decenas de años, los **efectos económicos** reales ocurren a una **velocidad muy lenta**, no pueden ir más de prisa que un año al año, pero son estructurales.

Todavía podemos manejar las tensiones económicas de la sanidad, y **todavía la muerte es inevitable** y es muy difícil comprar años de extra vida. Pero como en todos los modelos exponenciales llega un momento en que todo explota.

Supongamos la esperanza de vida aumenta de golpe muchos años, los costes sanitarios aumentarían a un ritmo equivalente a aumentar la esperanza de vida un año al año, o sea el coste medio cambiaría despacio. **Cuando los investigadores ajustan el coste sanitario o el coste por año de vida ganado a una curva exponencial**, el parámetro que mide la pendiente (el equivalente al k en $C(a) = C_0 e^{ka}$) **suele caer en un rango bastante estable**. Luego parece ser una buena aproximación.

Cuando esos datos se ajustan a esa curva exponencial, **la pendiente típica está entre 4% y 8% de aumento por año de edad** (en términos matemáticos: $k \approx 0,04$ a $0,08$).

Esto implica que cada **10 años**, el coste marginal por año de vida ganado aumenta aproximadamente entre: **+49% y +123%**

Es decir, **entre 1,5× y 2,2× por década**, lo cual coincide bastante bien con datos reales de gasto sanitario por edad en Europa, EE. UU. y Japón.

¿Por qué ese rango es tan estable?

Porque refleja dos fenómenos biológicos y económicos muy robustos:

1. **La mortalidad humana crece exponencialmente con la edad** (ley de Gompertz), con un coeficiente típico de 0,07–0,09.
2. **El coste marginal de evitar una muerte aumenta de forma paralela**: más comorbilidades, menor eficacia de tratamientos, intervenciones más intensivas.

Por eso, aunque los sistemas sanitarios difieren, **el patrón exponencial aparece una y otra vez**.

Si miramos a España como ejemplo el coeficiente se mueve entre el 0,04 y el 0,05. Esto significa que una persona de 55 años con **un millón de euros** de hoy podría vivir hasta los **123 años**, y si quisiera vivir hasta los **200 años** necesitaría unos ahorros de unos **33 millones de euros**. La factura de la sanidad para el último año sería de 1,5M de euros. Sabemos que hoy esto no es posible porque no tenemos el control total sobre la vida.

Si miramos el total de la población de una sociedad, podemos decir que se trata de una pelea entre dos exponenciales. El de la productividad (asumiendo que toda mejora en

productividad se traduce en PIB) y el del coste sanitario. Para poder llevar una sociedad hacia la eternidad es necesario que el progreso de la productividad sea superior a ese 4%-8% de aceleración en el coste sanitario. Como ya hemos comentado antes, estamos bastante lejos de ese nivel. Si no somos capaces de llevar a todos, se creará una fractura entre los que se lo pueden pagar por su vida y los que no.

¿Será lícito matar? Mi vida o la tuya...

En definitiva, tenemos dos ondas de choque, que se pueden sobreponer, y aunque parezcan independientes, no lo son ya que existe una correlación entre el avance de la IA y el avance de la biotecnología. La IA acelera a la biotecnología. Esto hace que las dos ondas se conviertan en una onda mucho más potente y peligrosa. Tenemos que preparados para manejarlas.

Dario Amodey, fundador de *Anthropic*, cree que la IA podría multiplicar por 10 la velocidad de progreso de la biotecnología. Estamos viendo ejemplos como AlphaFold/AlpahProteo (*"Machines of Loving Grace"*, 2024). El habla del "Siglo XXI comprimido", **comprimir en 5-10 años** lo que la biología y la medicina habrían hecho en todo el siglo.

La confluencia de estas ondas dibuja diferentes escenarios para el futuro.

Si el crecimiento de la productividad no se traduce en crecimiento real de la economía y la economía no crece por encima del coste de la longevidad, la sociedad sufrirá un colapso social. Es donde estamos hoy y comenzamos el camino.

Si la economía crece por encima del coste de la longevidad y la mejoras en productividad están por encima del crecimiento de la economía, caminaremos hacia un mundo sin trabajo, y la **redistribución** será la clave. Hacia este espacio es a donde todos queremos llevar la sociedad.

Si el crecimiento de la economía está por encima del crecimiento de la productividad y del coste de la longevidad, tendremos una sociedad que progresa de una forma balanceada, pero este escenario es difícil y poco realista ya que implicaría más horas trabajadas o una mayor participación de la sociedad en el trabajo (trabajar más horas y más años)

Si la economía no crece por encima del coste de la longevidad y la productividad de la IA no se materializa, seguiremos teniendo trabajo para todos, pero tendremos que decidir quien vive y quien no.

Llegando ya al final, hemos descrito tecnologías que van a tener un gran impacto en nuestro futuro, pero que a su vez traen grandes riesgos, ya que acarrearán grandes cambios en la estructura de la sociedad.

Todo esto significa un potencial de progreso, pero el progreso es bueno, solo si y solo si, somos capaces de administrarlo. **Administrar el progreso** de una forma que sea inclusiva y sostenible, para no facturar la sociedad es **el reto más difícil que la tecnología pone en nuestro camino**.

Ninguno de estos son retos **existenciales**, pero sí **catastróficos** para la humanidad si no sabemos manejarlos.

Como hemos dicho, el progreso tecnológico tiene dirección y nos corresponde a nosotros elegir esa dirección. Y para ello, tenemos que dirigir las tecnologías de tal forma que el crecimiento económico refleje nuestras **preocupaciones como ciudadanos** más que nuestros intereses superficiales como consumidores.

Nunca la distancia entre lo que somos capaces de imaginar y conseguir ha sido menor, y nunca la humanidad ha podido dibujar un futuro más prometedor, sólo nosotros podemos evitar que ocurra.

Muchas gracias.

