

INVENCIÓN E INNOVACIÓN

Título original: *Invention and Innovation*

© del texto: Massachusetts Institute of Technology, 2023

© de la traducción: Ricardo García Herrero, 2025

© de esta edición: Arpa & Alfil Editores, S. L.

Primera edición: junio de 2025

ISBN: 978-84-10313-38-5

Depósito legal: B 9664-2025

Diseño de colección: Enric Jardí

Diseño de cubierta: Anna Juvé

Maquetación: Àngel Daniel

Impresión y encuadernación: CPI Black Print

Impreso en Sant Andreu de la Barca

Este libro está hecho con papel proveniente de Suecia, el país con la legislación más avanzada del mundo en materia de gestión forestal. Es un papel con certificación ecológica, rastreable y de pasta mecánica. Si te interesa la ecología, visita arpaeditores.com/pages/sostenibilidad para saber más.

Arpa

Manila, 65

08034 Barcelona

arpaeditores.com

Reservados todos los derechos.

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

Vaclav Smil
INVENCIÓN E INNOVACIÓN

Traducción de Ricardo García Herrero

arpa

ÍNDICE

1. INVENTOS E INNOVACIONES: UN RECORRIDO DEL AYER Y UNA FASCINACIÓN DEL HOY	9
2. INVENTOS QUE PASARON DE BIENVENIDOS A INDESEABLES	34
La gasolina con plomo	40
El DDT	59
Los clorofluorocarburos	78
3. INVENTOS QUE IBAN A IMPONERSE Y LUEGO RESULTÓ QUE NO	98
Los dirigibles	103
La fisión nuclear	122
Los vuelos supersónicos	142
4. INVENTOS POR LOS QUE SEGUIMOS ESPERANDO	162
Viajar en el (casi) vacío: el <i>hyperloop</i>	166
Cereales que fijan el nitrógeno	185
La fusión nuclear controlada	202

5. TECNOOPTIMISMO, EXAGERACIONES Y EXPECTATIVAS REALISTAS	223
Revoluciones que no son tales	225
El mito de las innovaciones cada vez más rápidas	237
Lo que más necesitamos	253
LECTURAS COMPLEMENTARIAS	271

I

INVENTOS E INNOVACIONES

Un recorrido del ayer y una fascinación del hoy

La evolución de nuestra especie es una historia de cambios físicos y de comportamientos estrechamente ligados a la aparición de nuevos inventos. El concepto de «invención» es un gran paraguas que cubre cuatro categorías principales de cosas. La primera tiene que ver con una enorme variedad de objetos sencillos realizados a mano, empezando por las herramientas de piedra fabricadas cuando nuestros ancestros se volvieron bípedos y eso les dejó las manos libres para otras tareas conscientemente complicadas. Basándonos en los datos que podemos obtener de las excavaciones o hallazgos en cuevas, sabemos que el progreso en la fabricación de esas herramientas fue muy lento. Las primeras, realizadas en piedra, datan de hace más de tres millones de años. Las hachas de mano y los bifaces, más grandes y bien acabados, no surgieron hasta hace un millón y medio de años; las lanzas de madera con punta de piedra parecen tener aproximadamente medio millón de años, y hasta hace unos veinticinco mil años los cazadores del Paleolítico Superior no dominaron la fabricación artesanal de toda una serie de herramientas más complejas, como azuelas, hachas, figas, agujas y sierras, junto con la cerámica que las acompañaba.

La adopción generalizada del cultivo de la tierra se basó en la invención de numerosos aperos de labranza. La domesticación de los caballos para la equitación comenzó con bocados y bridas (los estribos y las sillas llegarían mucho más tarde). Por su parte, los animales de tiro requerían de diferentes diseños específicos para poder uncirlos a arados, carros o carretas: colleras, riendas, tiros, correaes para los caballos y yugos para los bueyes. Todas las sociedades sedentarias se dedicaban a fabricar muebles de madera, a diseñar y cocer cerámica y a fundir minerales con que producir herramientas y armas. Incluso las actuales siguen dependiendo de toda una variedad de productos tan básicos como martillos y sierras, sillas y bancos de madera, tazas y platos, pero solo una pequeña parte de su producción es ahora artesanal, ya que las máquinas han tomado el relevo.

Precisamente, las máquinas pertenecen a la segunda categoría de inventos, la de los dispositivos o mecanismos nuevos y más o menos complejos utilizados tanto para uso estacionario como para el transporte. Las grandes norias, los molinos de viento, los altos hornos de piedra con fuelles de cuero accionados por ruedas hidráulicas y los veleros oceánicos figuran entre las invenciones premodernas más importantes de esta categoría. A finales del siglo XIX, en los catálogos de los almacenes estadounidenses Sears aparecían miles de artículos de este tipo, desde relojes de bolsillo hasta pequeñas máquinas de coser o enormes trilladoras para el cereal, y en la actualidad la gama de productos disponibles es todo un ejemplo de desmesura: en el mercado mundial nos encontramos más de mil modelos de teléfonos móviles, y si nos circunscribimos solamente a Estados Unidos, unas setecientas variedades de vehículos para transportar a la gente por carretera (ya no se puede decir simplemente «coches», pues los nuevos vehículos son en su mayoría todoterrenos, camionetas y furgonetas).

Por tanto, las nuevas ideas pueden plasmarse en herramientas sencillas y prácticas, en máquinas complejas o bien en conjuntos de máquinas aún más complejos que componen las actuales empresas industriales y que hoy en día suelen estar altamente automatizadas: las fábricas de automóviles son quizá los mejores ejemplos de tales conjuntos, con robots que hacen de todo, desde transportar y colocar piezas hasta soldar y pintar. La piedra y la madera, fácilmente disponibles, solo pueden transformarse en una gama limitada de herramientas, máquinas y estructuras. Por eso la tercera categoría de inventos, la de los nuevos materiales, ha constituido un marcador muy claro del progreso de la civilización desde la era de la piedra y la madera hasta la de los metales, las mezclas y los *composites* o resinas compuestas. Los inventos de esta tercera categoría empezaron con el bronce, siguieron con el hierro y el acero (aleación de hierro en gran parte descarbonizada) y ahora incluyen el aluminio y una docena de otros metales comunes, así como el vidrio, el cemento (un agregado de distintos materiales) y, a partir de finales del siglo XIX, una variedad cada vez mayor de plásticos y —la llegada más reciente— compuestos a base de carbono que son ligeros pero más resistentes incluso que el acero.

La cuarta categoría de invenciones consiste en nuevos métodos de producción, funcionamiento y gestión que van desde mejoras marginales pero económicamente provechosas hasta maneras básicamente nuevas y altamente automatizadas de fabricación a gran escala, recopilación de información y procesamiento de datos. Uno de los inventos más notables y con mayores consecuencias de este tipo fue la máquina para fabricar botellas de vidrio puesta a punto por Michael Owens, presentada en 1904. Las botellas habían tenido que soplarse individualmente durante siglos, y solo a finales del siglo XIX aparecieron los primeros ingenios

semiautomáticos: en ambos casos, estas operaciones empleaban a niños para transportar y manipular el vidrio fundido y liberarlo de los moldes. En 1899, más de siete mil niños estadounidenses trabajaban en ese entorno sofocante y peligroso, como muestran las fotografías de la época. Solo el trabajo infantil en las minas de carbón podía resultar igual de espantoso. En cambio, las máquinas de Owens recogían el vidrio directamente del horno, de manera que todo el proceso se ejecutaba sin intervención de mano de obra humana. Incluso el primer modelo de Owens era capaz de fabricar 2.500 botellas por hora, frente a las 200 unidades a la hora de las instalaciones semiautomáticas (fig. 1.1).

Tras la Segunda Guerra Mundial, casi todas las formas establecidas de producción industrial a gran escala sufrieron una gran transformación —que las hizo más eficientes, baratas y rápidas—, gracias a la introducción de controles electrónicos (en la actualidad integrados hasta en una cafetera), y esa electrónica ejerció un impacto mayor si cabe en la adquisición, el procesamiento y la difusión de datos. Durante el conflicto bélico, los términos «calculadora» y «ordenadora» se utilizaban para designar a las mujeres (en su mayoría jóvenes) empleadas en la tediosa labor de introducir y procesar datos. Hoy en día, cualquier modesto ordenador portátil posee una potencia de procesamiento de datos muy superior a la de los aparatos más avanzados anteriores al microprocesador de finales de los años sesenta, y la variedad de máquinas electrónicas abarca desde cámaras en miniatura (algunas lo bastante pequeñas como para poder ser colocadas a lomos de un insecto volador) hasta gigantescos servidores de datos, normalmente construidos, debido a su demanda de electricidad constante e intensa, cerca de alguna fuente barata de suministro eléctrico.

No. 766,768.

PATENTED AUG. 2, 1904.

M. J. OWENS.
GLASS SHAPING MACHINE.
APPLICATION FILED APR. 13, 1903.

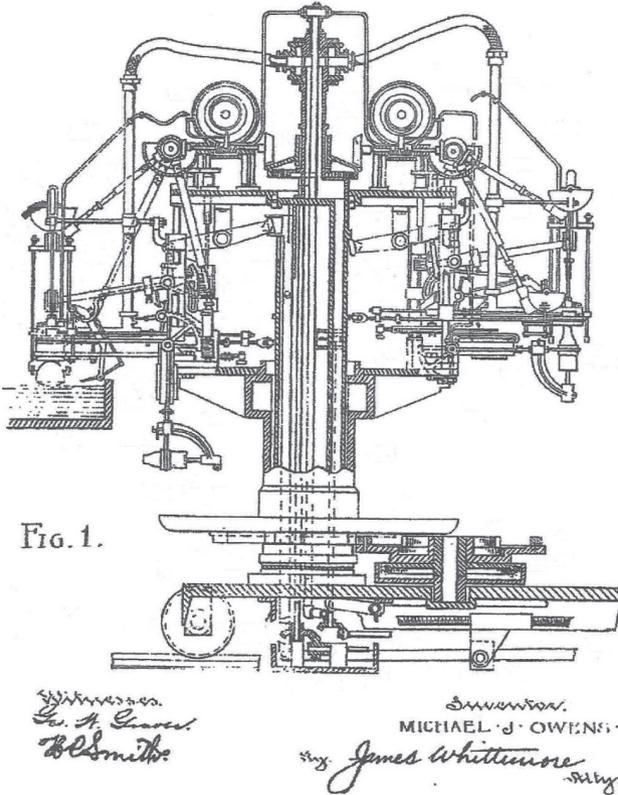


Figura 1.1 Máquina para dar forma al vidrio patentada por Michael Joseph Owens. Patente estadounidense registrada por Toledo Glass Company.

Fuente: Máquina para dar forma al vidrio de Michael Owens (patente estadounidense número 766.768, presentada el 13 de abril de 1903 y publicada el 2 de agosto de 1904), <https://patents.google.com/patent/US766768>

Tal y como se utilizan habitualmente, los significados de los términos «invención» e «innovación» se solapan en gran medida, pero la innovación quizá se entienda mejor

como el proceso de introducción, adopción y dominio de nuevos materiales, productos, procesos e ideas. En consecuencia, puede haber mucha invención sin una innovación acorde, y puede que la Unión Soviética sea el mejor ejemplo reciente de esta disonancia: los científicos soviéticos tenían en su haber numerosos inventos notables, y ocho de ellos habían sido galardonados con el Premio Nobel (entre ellos, Landáu y Kapitsa por la física de baja temperatura, o Basov y Prójorov por los láseres y máseres), y los esfuerzos en I+D militar, altamente prioritarios y copiosamente financiados, hicieron que el armamento del país compitiera con los avances estadounidenses. La nación acumuló 45.000 cabezas nucleares, el MiG-29 y el Su-25 figuraban entre los aviones de combate más avanzados del mundo, y cuando los ingenieros estadounidenses diseñaron el primer avión furtivo del mundo, utilizaron las ecuaciones de Piotr Ufímtsev para predecir los reflejos de las ondas electromagnéticas en las superficies del fuselaje. La URSS destacó también en el sector energético, el más importante del mundo: fueron los científicos e ingenieros soviéticos quienes descubrieron los enormes yacimientos de hidrocarburos de Siberia, desarrollaron la mayor industria de petróleo y gas del planeta y construyeron los (en aquel momento) oleoductos más largos, que abastecían gran parte de las necesidades de crudo y gas natural del continente europeo.

Sin embargo, cuando el país se vino abajo en 1991 —sorprendentemente, sin violencia—, la Unión Soviética sufría abundantes lagunas en materia de innovación que afectaban desde determinadas industrias primarias clave hasta otras necesarias para satisfacer demandas básicas de los consumidores. Por ejemplo, el acero ha sido el metal dominante de la civilización contemporánea, y a principios de la década de 1990 ya no se utilizaban en su fabricación hornos a cielo abierto ni en la Unión Europea ni en Norteamérica o Japón

—los hornos de oxígeno básico habían empezado a desplazarlos desde la década de 1950—, y sin embargo este proceso decimonónico (introducido en la siderurgia durante la década de 1860) seguía utilizándose en los últimos años de la Unión Soviética para fabricar casi la mitad de la producción nacional. Y el retraso del país en la innovación necesaria para producir en masa artículos de consumo habitual, desde pantalones vaqueros a ordenadores personales, fue causa perenne del eterno descontento de la población y, sin duda, un factor que contribuyó a la desaparición del régimen soviético.

En contraste con los fracasos soviéticos en materia de innovación, el desarrollo económico de la República Popular China después de 1990 constituye el mejor ejemplo reciente —y sin parangón histórico posible— de innovación a gran escala basada en la apropiación fulgurante de una amplia variedad de invenciones extranjeras. Si la economía china se ha multiplicado por catorce y la renta per cápita del país por más de once (ambas medidas en dinero constante), ello no es debido a un flujo sin precedentes de invenciones nacionales transformadoras, sino al despliegue a gran escala de prácticas o dispositivos dominados en el extranjero desde décadas (o años, en el caso de los últimos avances) antes y trasplantados a un nuevo entorno receptivo. Los decididos esfuerzos nacionales y los billones de dólares de inversión extranjera directa han ido acompañados de una enorme transferencia de los últimos modelos de máquinas, diseños y procedimientos. Ello ha tenido lugar mediante la adquisición de patentes y de conocimientos técnicos compartidos por empresas estadounidenses, europeas y japonesas deseosas de entrar en el mercado chino; unas transferencias legales, por otra parte, acompañadas en paralelo de un espionaje industrial generalizado e implacable por parte de la nación asiática.

El Partido Comunista Chino aprendió bien la lección obtenida de la desintegración sufrida por la Unión Soviética: no hubo una relajación del control similar al intento de Gorbachov de reformar un régimen político irreformable, sino —adaptada al tamaño del país— una expansión económica impulsada por una innovación sin precedentes que se tradujo en rápidas mejoras de la calidad de vida y otorgó al Partido un control aún más férreo. La primera transacción comercial tras la visita que se llamó «de apertura china», realizada por el presidente estadounidense Richard Nixon en 1972, fue la compra de las plantas de síntesis de amoníaco más avanzadas del mundo, diseñadas por la empresa estadounidense M. W. Kellogg. Esa compra resultó decisiva para evitar otra gran hambruna en un país con una población en rápido crecimiento y sin una industria moderna de fertilizantes.

Posteriormente, miles de empresas extranjeras (encabezadas por las mayores multinacionales, como Toyota, Hitachi, Nippon Steel, General Motors, Ford, Boeing, Intel, Siemens y Daimler) compartieron sus conocimientos técnicos con China, normalmente mediante la creación forzosa de empresas conjuntas que proporcionaban conocimientos técnicos completos para la «ingeniería inversa» (esto es, el proceso llevado a cabo con el objetivo de obtener información o un diseño a partir de un producto u objeto) del país. Y, obviamente, China se ha beneficiado de ser una innovadora tardía que se ha subido a una enorme ola de innovación generada por la adopción de inventos extranjeros perfeccionados. Claro está que Japón y Corea del Sur también recorrieron esa senda, iniciada respectivamente en los años cincuenta y setenta, pero por el camino se convirtieron no solo en potencias volcadas en la innovación, sino también en destacadas economías inventivas. Tenemos ejemplos notables de esas contribuciones, como el liderazgo de Sony

en el desarrollo temprano de la electrónica de consumo o la gestión en Toyota de fábricas adaptadas a los métodos «justo a tiempo» o JIT (del inglés *just-in-time*) con un bajo nivel de fallos, o bien el desarrollo de microprocesadores avanzados, telefonía móvil y baterías (a cargo, entre otros, de Samsung, SK Hynix, LG o Panasonic). Hasta ahora no ha habido ninguna contribución china comparativamente importante, globalmente aceptada y comercialmente gratificante (aunque algunos podrían argumentar que habría que incluir a Huawei en esta categoría).

Cuando se hace un repaso del largo devenir de la invención humana, no es de extrañar que muchos historiadores y economistas se muestren impresionados por la aceleración de estos avances. Sabemos que la Revolución Industrial constituye la frontera que separa la frecuencia y las repercusiones de los inventos verdaderamente trascendentales del siglo XIX de ese otro progreso técnico mucho menos intenso y mucho más gradual experimentado en el siglo XVIII. Y, sin embargo, los avances del siglo XX fueron quizás aún más notables. Como ha señalado Joel Mokyr, se produjeron a pesar de dos prolongadas guerras mundiales y del ascenso de regímenes totalitarios que extendieron su dominio por gran parte de Europa y Asia:

En el pasado, estas catástrofes habrían bastado para hacer retroceder las economías durante cientos de años o incluso para condenar a sociedades enteras al estancamiento o la barbarie. Sin embargo, ninguna de ellas pudo detener el poder de la innovación cada vez más acelerada propia del siglo XX para estimular un rápido crecimiento en gran parte del mundo industrializado e industrializante.

La idea de una innovación cada vez más rápida ocupa un lugar destacado entre los mantras recitados una y otra vez cuando se habla de finales del siglo XX y principios del XXI. El

número creciente de patentes no es una medida perfecta de esa aceleración innovadora (hay muchas patentes que simplemente protegen variaciones menores o mejoras marginales de descubrimientos influyentes), pero resulta innegable que los agregados decenales de solicitudes concedidas por la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO), incluidas las concedidas a residentes extranjeros, aumentaron de solo 911 durante la primera década del siglo XIX a casi 250.000 durante la década de 1890, y luego pasaron de unas 340.000 durante la primera década del siglo XX a cerca de 1.653.000 durante la década de 1990, un aumento de casi dos mil veces en doscientos años.

Por supuesto, ese ascenso simple, sin matices y en cierto modo obviamente engañoso del número total de patentes ha incluido siempre entre las solicitudes algunas creaciones de utilidad dudosa, cuando no directamente descabelladas. En 1932, Alford Brown y Harry Jeffcot reunieron una pequeña colección de casos de este tipo a partir de los archivos de la USPTO. Uno no puede por menos de preguntarse qué llevaría a los evaluadores profesionales de patentes a conceder protección a artículos como un «ataúd funerario mejorado» (por el que una persona puede, «al recobrar el conocimiento, ascender desde la tumba y salir del ataúd por medio de una escalera»), o bien un «dispositivo para producir hoyuelos». Y si usted es de los que creen que tales naderías son cosa del pasado, no tiene más que consultar regularmente el blog «Stupid Patent of the Month» [Patente estúpida del mes] que publica la Fundación Frontera Electrónica. Así le quedará bien claro que no son idioteces lo que faltan.

Si hubiera que destacar algún otro ejemplo, señalaríamos la patente estadounidense 8.609.158B2. Concedida en 2014, la larga cita siguiente resulta necesaria para mostrar bien a las claras lo dudoso que sigue siendo el proceso de

concesión de patentes. Se le concedió a una única inventora, Diane Elizabeth Brooks, para el «maná de Diane»:

Una potente droga con beneficios narcóticos elaborada a partir de semillas y derivados de semillas intercambiables, combinados y procesados de forma distinta y única, y que son tan potentes que eliminan o alivian la depresión, los trastornos del estado de ánimo, los síntomas del trastorno de atención, el trastorno del pensamiento, las enfermedades mentales, el dolor, los síntomas de retraso del labio derecho [sic], los problemas físicos, el cáncer de los ganglios linfáticos y muchos otros síntomas de dolencias. Elimina los bultos en el cuello en una o dos semanas. Es intercambiable en la mayoría de los aspectos. Resulta extremadamente fuerte o potente pero puede suavizarse para volver normal a su hijo pequeño con déficit de atención. Es un increíble estabilizador del estado de ánimo y reduce la psicosis. De uso para pacientes con cáncer y para personas con problemas de dolor. Funciona.

Es increíble que se aprobara esta locura, pero también hay otras muchas licencias más asentadas en la realidad y que aun así te hacen llevarte las manos a la cabeza, como la patente estadounidense D670.286S1 concedida en 2012 a Apple (la presentaron diez solicitantes, entre ellos Steve Jobs y el diseñador jefe de la empresa, Jonathan Ive) para un «dispositivo portátil de visualización», es decir, para un rectángulo con esquinas redondeadas (fig. 1.2). No puedo resistirme a citar otra solicitud de patente estadounidense, esta presentada por Susan R. Harsh, para «un kit y un método que convierte las manchas de nariz de perro depositadas sobre una primera superficie en una forma de arte, sobre una segunda superficie, hecha con nariz de perro». Sorprendentemente, aún no se ha concedido.

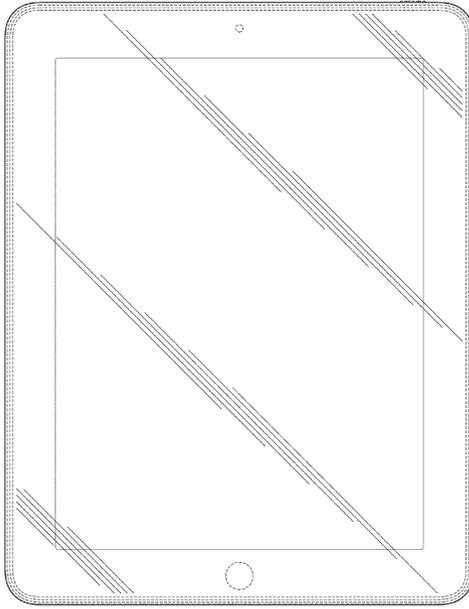


Figura 1.2 La tercera imagen en la solicitud de patente estadounidense número D670.286S1 de Apple (publicada en noviembre de 2012) muestra un «dispositivo portátil de visualización» que después se ha hecho famoso, con su forma rectangular y esquinas redondeadas.

Fuente: J. Akana y otros, «Dispositivo portátil de visualización» (patente estadounidense D670.286S1, presentada el 23 de noviembre de 2010 y concedida el 6 de noviembre de 2012), <https://patents.google.com/patent/USD670286>

Lo cierto es que hay algunas maneras de orientarnos a la hora de evaluar patrones e identificar auténticos inventos innovadores (las presentaré en el capítulo final de este libro), pero por el momento nos limitaremos a señalar en primer lugar las mejoras cuantitativas y cualitativas reales conseguidas gracias a lo que muchos creen ser un flujo acelerado de inventos, y en segundo lugar a ver esos logros no como finalizaciones, sino como meros cimientos para un progreso ulterior y acelerado. Los inventos modernos conllevan muchas veces unas promesas de salvaciones milagrosas, presentados

como si fueran a resolver todos los problemas a los que nos enfrentamos, ya sean técnicos, medioambientales o sociales. Se nos promete que esas soluciones van a llegar no solo como avances marginales o graduales, sino como cambios que se califican de «disruptivos», «transformadores» o «revolucionarios», con un potencial de cambiar el mundo entero de manera inmediata y en todos los ámbitos, de la alimentación a la longevidad, de la energía a los viajes.

Ya hemos conseguido reducir el número de personas desnutridas a menos de una décima parte de la población mundial, así que ¿por qué no eliminar por completo la escasez de comida? Y, ya que estamos, ¿por qué no acabar con nuestra dependencia de los cultivos en el campo produciendo alimentos en rascacielos de temperatura regulada o ingiriendo cápsulas sintéticas que nos proporcionen una nutrición completa? Si durante los últimos dos siglos hemos duplicado la esperanza media de vida en los países ricos, ¿por qué no duplicarla de nuevo mediante un genial método de manipulación genética llamado CRISPR y allanarnos el camino hacia la inmortalidad? O bien, si durante ese mismo tiempo los países ricos han multiplicado (a diferentes ritmos) el suministro útil de energía per cápita, ¿por qué no seguir ampliándolo, incluso si en paralelo eliminamos todo el carbono fósil como fuente de energía mediante imaginativas innovaciones relativas a las renovables? Y respecto a los viajes, si ya podemos movernos habitualmente a velocidades de unos 300 kilómetros por hora en tierra y casi a la velocidad del sonido (cerca de 1.000 kilómetros por hora) en el aire, ¿por qué no aspirar a velocidades supersónicas en tubos de vacío bajo tierra o elevados, o en aviones de pasajeros que crucen el Atlántico en un par de horas?

Dado el ritmo exponencial (cada vez más rápido) de las invenciones modernas, se nos repite una y otra vez que no hay nada extraordinariamente audaz o irrealmente ambicioso

en tales objetivos. Las matemáticas mandan: es una propiedad inevitable del crecimiento exponencial de larga duración que desemboque en una singularidad, un punto en el tiempo en el que una función alcanza un valor infinito, haciendo que cualquier cosa resulte instantáneamente posible. Pero tampoco hace falta ser un discípulo del culto a la Singularidad que llega, porque incluso las afirmaciones un tanto más mundanas son impresionantes —y no paran de llegar—, anunciando avances en el tratamiento de enfermedades (fármacos que supuestamente curan el alzhéimer), el almacenamiento de energía eléctrica (la invención de baterías de una densidad energética inaudita) e incluso la conversión de otros planetas en mundos habitables (la terraformación de Marte). Las realidades resultan a menudo mucho más prosaicas, y este libro es un modesto recordatorio del mundo tal como es, no del mundo de las afirmaciones exageradas o, peor aún, del mundo imaginario de los espejismos indefendibles.

Antes de proseguir debo señalar que no me voy a ocupar aquí de los numerosos fallos de diseño causantes de catástrofes (por ejemplo, tragedias tan conocidas como el hundimiento del *Titanic* en 1912 o el desastre del lanzamiento del transbordador espacial *Challenger* en 1986), de aquellos que han hecho perder un tren comercial (el dispositivo de grabación de cintas de vídeo Betamax de Sony, superado por el sistema VHS de la empresa JVC) o bien de los que han provocado situaciones embarazosas (los modelos de vehículos Edsel y Pinto de Ford, las gafas inteligentes Glass de Google). Los historiadores de los avances técnicos han detallado muchos de estos fracasos en estudios sobre diseños tan fallidos como los arados eléctricos de la Alemania anterior a la Primera Guerra Mundial o las turbinas de gas para automóviles de Chrysler. Y un reciente listado repasa incluso los doce fracasos de producto más

embarazosos de Apple, desde el Macintosh TV hasta el Power Mac G4 Cube.

Los interesados en este género de diseños abocados al fracaso deberían consultar el libro de Susan Herring *From the Titanic to the Challenger* (1989), que enumera nada menos que 1.354 fracasos de este tipo sucedidos a lo largo del siglo XX, o bien *Spectacular Flops* (2023), de Michael Schiffer, donde podrán ampliar información sobre algunos ejemplos más antiguos (incluido el sistema mundial de distribución inalámbrica de electricidad inventado por Tesla) y algunos delirios recientes (un bombardero propulsado por un reactor nuclear). Al mismo tiempo, conviene señalar que numerosos fallos de diseño de objetos y sistemas de ingeniería no solo son inevitables, sino que ofrecen grandes lecciones (aunque a menudo costosas y a veces trágicas) sobre lo que hay que evitar y lo que hay que corregir. Por ese motivo Henry Petroski subtítulo su libro dedicado a estas experiencias *The Role of Failure in Successful Design* [El papel del fracaso en los diseños de éxito].

De manera análoga, este libro no trata de las muchas consecuencias indeseables, a menudo molestas y en ocasiones incluso mortales, de tantos inventos modernos aceptados con entusiasmo, extendidos masivamente y sólidamente asentados. Esos efectos nocivos, inconvenientes y complicaciones a menudo han sido previstos; muchos de ellos se han vigilado de cerca, evaluado y traducido en costes monetarios y de calidad de vida, y también han sido objeto de frecuentes investigaciones y esfuerzos para prevenirlos o mitigarlos. Las repercusiones sanitarias y medioambientales de los medicamentos son quizá la categoría de efectos secundarios más reconocida en las sociedades modernas. Van desde las molestias hasta las contraindicaciones estrictas dictadas por afecciones preexistentes, y desde la presencia de metabolitos de fármacos en corrientes y masas

de agua hasta la propagación de bacterias resistentes a los antibióticos. Este último es un problema muy grave, y ahora también de ámbito mundial. Conocemos desde hace muchas décadas el avance de su impacto, pero a pesar de repetidas exhortaciones y promesas, la búsqueda de nuevos antibióticos sigue recibiendo solo una parte de los recursos y el compromiso que merece.

No menos notable ha sido la tolerancia a los múltiples efectos secundarios generados por la invención de los automóviles propulsados por motores de combustión interna. Nos han otorgado movilidad, comodidad y la proverbial libertad de movernos a nuestras anchas, pero también emisiones nocivas, paisajes urbanos transformados (rara vez para bien) y una frecuencia de muertes cuyo equivalente no se toleraría en ningún medicamento de prescripción generalizada. Incluso si hablamos de los países más prósperos, no empezamos a reducir las emisiones (gracias a los catalizadores, un nuevo invento que vino al rescate) hasta la década de 1970, pero seguimos sin tener soluciones eficaces y ampliamente generalizadas para los automóviles como parte de una planificación urbana sensata, aparte de las muertes de conductores y peatones que generan (la cifra anual ronda los 1,35 millones, entre conductores y peatones).

Todas estas consecuencias de los grandes inventos —así como nuestra tolerancia tan selectiva a su impacto y efectos secundarios indeseables— podrían extenderse a temas que van desde el uso intensivo de fertilizantes sintéticos nitrogenados hasta la contaminación de la tierra y el agua por diferentes tipos de plásticos, y necesitarían un libro mucho más extenso que este para ser tratados siquiera someramente. Por el contrario, aquí adoptaré un enfoque más general de los fracasos inventivos para centrarme en el hecho de que el flujo de innovaciones fundamentales y de enorme éxito generadas por la civilización moderna durante los últimos ciento

cincuenta años ha ido acompañado de una frustrante falta de progreso en otras muchas áreas clave, así como en las innovaciones que, por decirlo suavemente, no lo hicieron tan bien como se esperaba en un principio. Por tanto, analizaré tres categorías destacadas dentro de esos fracasos: promesas incumplidas, decepciones y rechazos.

Soy consciente de que, para algunos historiadores de los avances técnicos, la misma expresión «tecnología fracasada» resulta engañosa, ya que parece sugerir (como argumentó Tom Carroll en el simposio de 1989 sobre innovaciones fracasadas) una lectura lineal y de matiz positivista sobre el impulso «que una innovación potencial ofrece o no ofrece». Pero es que la distinción más importante estriba en reconocer que el éxito o el fracaso son consecuencia de una elección social. No cabe duda de que los avances técnicos, en modo alguno autónomos, se encuentran fuertemente influidos por las condiciones y los contextos sociales, e igual de obvio es que esas tendencias dominantes circulan en ocasiones por caminos insospechados, de manera que frecuentemente no está en manos de las sociedades abiertas (pero ni siquiera en las de gobernantes dictatoriales) decidir qué innovación se adopta o se rechaza.

Empezaremos por inventos afanosamente perseguidos, unánimemente alabados a su llegada (a menudo con entusiasmo) y rápidamente comercializados y adoptados a escala planetaria. Y, sin embargo, con el tiempo, incluso décadas después, resultaron ser tan indeseables y claramente perjudiciales tanto para el ser humano como para el medio ambiente que llegaron a ser vistos con un recelo generalizado y hasta prohibidos de plano para aquellos usos originalmente previstos. La introducción de la gasolina con plomo facilitó el buen funcionamiento de los motores de combustión interna. Sin embargo, varias décadas después todo el mundo entendió que las emisiones resultantes de un metal pesado neurotóxico

constituían una contrapartida inaceptable y, empezando por Estados Unidos en 1970, los países comenzaron a prohibir su uso como aditivo. No mucho después se inició la proscripción de la aplicación del plaguicida DDT como medio generalizado para el control de insectos, y en 1987 un acuerdo mundial esbozó el calendario para el abandono gradual de los gases clorofluorocarbonos (CFC), utilizados habitualmente como refrigerantes, cuya creciente concentración en la atmósfera se relacionó con la disminución de la capa de ozono estratosférico.

La siguiente categoría que estamos considerando dentro de las invenciones fallidas incluye tres ejemplos importantes de avances cuya promesa inicial parecía garantizar el dominio final de sus respectivos nichos de mercado: los dirigibles para el transporte aéreo de larga distancia a un precio asequible, la fisión nuclear para la generación de electricidad y los aviones supersónicos para los viajes intercontinentales de alta velocidad. Estas innovaciones se comercializaron y generalizaron en mayor o menor modo, pero pronto se hizo evidente que no alcanzarían el potencial inicialmente esperado. En orden cronológico, los dirigibles fueron la primera aplicación práctica en fracasar, y lo hicieron de forma espectacular, ya que el *Hindenburg* en llamas se convirtió en una de las imágenes más reproducidas para ilustrar un desastre técnico. Con todo, aquel accidente no acabó con el sueño de los dirigibles, y los intentos de resucitar esta forma de transporte han continuado incluso después de que los aviones de línea conquistaran rápidamente la aviación mundial a partir de 1960. Durante las dos primeras décadas del siglo XXI han aparecido incluso nuevas propuestas para mejorar estas aeronaves.

La fisión nuclear constituye un caso de expectativas fallidas a una escala mucho mayor, y ha sido sin duda el ejemplo más destacado del fenómeno que yo llamo «fracaso

exitoso». A pesar de su considerable despliegue comercial (con más de cuatrocientos reactores en funcionamiento en tres continentes) y de su notable contribución a la generación de electricidad en numerosos países prósperos, su cuota actual a escala planetaria sigue estando muy por debajo de lo que se esperaba de esta compleja tecnología en las primeras fases de su entusiástica adopción: ¡nada menos que la dominación total del mercado energético para finales del siglo xx!

Por último, respecto a los vuelos supersónicos, su historia guarda ciertas similitudes con los dos ejemplos anteriores: más exitosos durante algún tiempo que los dirigibles, finalmente incapaces de ser competitivos pero resucitados una y otra vez por nuevos diseños, cuyos defensores mantienen —lo mismo pasa con las empresas que impulsan nuevos diseños de reactores nucleares— que «esta vez será diferente», ya que los aviones más rápidos podrán conquistar un nicho económicamente viable en el mercado mundial.

Los ejemplos finales quieren ilustrar con un cierto grado de detalle otro tipo de fracaso, el de las expectativas. Me centraré en tres casos destacados de innovaciones altamente deseables cuya comercialización generalizada resultaría verdaderamente transformadora y cuyo éxito inminente se lleva prometiendo desde hace generaciones, pero cuya realización efectiva y asequible siempre parece estar más allá del horizonte ante nuestros ojos. La idea de viajar a alta velocidad en el vacío (o, para ser más precisos, dentro de tubos con la presión del aire reducida a un pequeño porcentaje de la normal que hay en la atmósfera) existe desde hace más de doscientos años, y su reciente y muy publicitada resurrección bajo la engañosa etiqueta de *hyperloop* ofrece una excelente oportunidad para explicar cómo este sueño de décadas sigue esperando una comercialización práctica, cómoda, fiable y rentable.