Bulletin of the Atomic Scientists

"Desolación", de la serie "El curso del imperio" del pintor estadounidense Thomas Cole, de la década de 1830. Imagen de dominio público.

“Cosas frágiles e impermanentes”: Joseph Tainter sobre qué hace que las civilizaciones caigan

Por Jessica McKenzie | 12 de marzo de 2025

En la introducción a su influyente libro de 1988, *El Colapso de las Sociedades Complejas* , el antropólogo e historiador Joseph Tainter explicó que las civilizaciones perdidas ejercen una gran presión sobre la imaginación humana debido a las implicaciones que su historia tiene para nuestra civilización moderna. Desentrañar cómo y por qué caen las civilizaciones podría, en teoría, ayudar a la humanidad a evitar un futuro colapso catastrófico. «La razón por la que las sociedades complejas se desintegran es de vital importancia para todos sus miembros, y hoy en día eso incluye a casi toda la población mundial», escribió Tainter. «Independientemente de si el colapso fue o no el evento más destacado de la historia antigua, a pocos les importaría que se convirtiera en el evento más significativo de la era actual».

Este número del *Boletín de los Científicos Atómicos* está dedicado a los puntos de inflexión, principalmente a los puntos de inflexión dentro del sistema climático de la Tierra, cuando los elementos del sistema terrestre superan un umbral y pasan de un estado estable a otro estado estable muy diferente.

Las civilizaciones también son sistemas complejos, y no se garantiza su estabilidad y seguridad indefinidamente. «Las civilizaciones son frágiles e impermanentes», escribió Tainter, y el colapso es, de hecho, bastante común: «una característica recurrente de las sociedades humanas». Es más, el tipo de civilización global que la humanidad disfruta actualmente es una aberración; durante la mayor parte de la historia, la gente ha vivido en sociedades mucho más simples (que también eran sistemas relativamente estables). En consecuencia, Tainter escribió: «Hoy en día estamos familiarizados principalmente con formas políticas que son una rareza histórica, las consideramos normales y consideramos ajenas la mayor parte de la experiencia humana. No es de extrañar que el colapso se vea con tanto temor».

¿Tienen entonces las civilizaciones puntos de inflexión que determinan su ascenso y caída?

La teoría del colapso de Tainter es engañosamente simple, sobre todo al ser parafraseada. El colapso ocurre, argumenta, cuando los costos de la complejidad son mayores que sus beneficios para la sociedad. Las sociedades complejas son organizaciones que resuelven problemas, y cuando los costos de afrontar las crisis son demasiado altos, fracasan.

Una frase en particular destacó: «Una vez que una sociedad compleja entra en la etapa de rendimientos marginales decrecientes, el colapso se convierte en una probabilidad matemática, que requiere poco más que el paso del tiempo suficiente para hacer probable una calamidad insuperable». Aunque la expresión «punto de inflexión» aún no había sido popularizada por Malcolm Gladwell ni adoptada por los climatólogos en el momento de la publicación del libro, esto ciertamente sonaba como una especie de punto de inflexión.

El libro cuestionó algunas de mis ideas preconcebidas y subrayó aspectos que no me gustan ni quiero aceptar, como por ejemplo, que la desigualdad es prácticamente una característica indispensable de las sociedades complejas. De igual manera, me irritaron algunas descripciones de la estratificación de clases, como la observación de que: «Los campesinos suelen estar descontentos, pero rara vez se rebelan. Suelen ser espectadores pasivos de las luchas políticas».

También tomé nota de las señales y presagios de una civilización en decadencia. Por ejemplo, cuando «los impuestos suben con cada vez menos retorno a nivel local», lo que resulta en una creciente insatisfacción; o cuando «el estrés empieza a percibirse cada vez más y… el conflicto ideológico» se hace evidente; cuando «el sistema en su conjunto se dedica a analizar el comportamiento, buscando alternativas que puedan proporcionar una adaptación preferible»; cuando «la inflación se hace evidente»; y «la jerarquía impone controles rígidos de comportamiento… en un intento por aumentar la eficiencia».

Finalmente, me puse en contacto con el propio Tainter para hablar de su teoría, de si la metáfora del punto de inflexión es adecuada o no para el colapso de la civilización y de su trabajo más reciente sobre la sostenibilidad.

Nota del editor: Esta entrevista ha sido condensada y editada para mayor brevedad y claridad.

Jessica McKenzie: ¿Podría resumir brevemente su teoría del colapso?

Joseph Tainter: El colapso es uno de esos temas importantes de la historia, amplios y de gran alcance, que en gran medida no se había abordado satisfactoriamente.

Existe abundante literatura sobre el tema, pero no me satisfizo en absoluto. Hay un capítulo [en el libro] donde analizo todo eso, describiendo lo que falta y lo que está incompleto en las teorías existentes.

Defino el colapso en términos de la complejidad de una sociedad. El colapso es una simplificación rápida. Es una pérdida rápida de complejidad. Para abordar el colapso, también hay que preguntarse: "¿Por qué aumenta la complejidad en las sociedades humanas?". Hemos pasado de pequeños grupos de cazadores, recolectores y forrajeros, a las complejas sociedades actuales.

No todas las sociedades de la Tierra lograron eso por sí solas. Muchas lo hicieron porque estaban en contacto con otras sociedades complejas, pero básicamente, ese ha sido el curso de la evolución cultural humana.

Ahora bien, debemos tener presente que la complejidad no es gratuita. La complejidad siempre tiene un costo. En el mundo animal, la complejidad tiene un costo metabólico. Un ciervo es un animal más complejo que un nematodo. También necesita más calorías per cápita por unidad de tiempo. Esto es simplemente parte de la naturaleza de la complejidad. La complejidad siempre tiene un costo metabólico, y esto incluye la complejidad en las sociedades humanas. Las sociedades más complejas requieren más energía como unidad básica de contabilidad (energía por persona, por unidad de tiempo) que las sociedades más simples. Por lo tanto, a medida que las sociedades se han vuelto complejas, también se han vuelto más costosas per cápita. Si retrocedemos en el tiempo, antes de la era de los combustibles fósiles, cuando las sociedades subsistían de lo que los individuos podían producir, ya sea mediante la caza y la recolección o la agricultura, aumentar la complejidad de una sociedad significaba que las personas trabajaban más. Y entonces nos preguntaríamos: "¿Por qué? ¿Por qué se volverían las sociedades más complejas si eso significa que las personas tienen que trabajar más?"

La respuesta que he sugerido es que, la mayoría de las veces, la complejidad aumenta porque resulta útil para resolver problemas. Piensen en nuestra sociedad actual: ¿cómo abordamos problemas importantes como el cambio climático? Tenemos legislación nacional, legislación estatal y cambios tecnológicos. Todos estos factores implican un aumento de la complejidad, pero también suponen un coste para las personas. Pensamos en el coste en términos monetarios, pero el coste final es la energía, y esto nos explica por qué esto pasa desapercibido hoy en día. El coste de la complejidad pasa desapercibido en gran medida, porque, para nosotros, la complejidad parece gratuita. La pagamos con combustibles fósiles. Eso es todo. Hace eones, contábamos con este subsidio a los combustibles fósiles, es decir, a la energía solar, que alimenta principalmente a nuestras sociedades actuales.

En las sociedades antiguas que estudiaba como arqueólogo, el coste de la complejidad era más inmediato. En un caso como el Imperio Romano, en el que he trabajado mucho, implicaba que las personas —los campesinos, que representaban el 90% de la población— debían pagar impuestos más altos, algo que a nadie le gusta. Y lo que descubrimos es que el Imperio Romano, con el tiempo, se enfrentó a cada vez más desafíos, especialmente en el siglo III d. C. Esto exigió ampliar el tamaño del gobierno, el tamaño del ejército y hacerlo más complejo. Todos estos son elementos de complejidad, y todo esto tuvo un coste metabólico que debía pagarse con la producción agrícola de los campesinos. Así, con el tiempo, vemos que en el Imperio Romano el coste de ser el Imperio Romano aumenta constantemente simplemente para mantener el statu quo. Y he ampliado esto a otras sociedades antiguas que están bien documentadas.

Lo que he argumentado es que el colapso resulta de la disminución de los rendimientos de la complejidad. El coste de ser una sociedad compleja aumenta cada vez más hasta que finalmente se llega a un punto en el que el sistema simplemente ya no puede mantenerse. En el Imperio Romano, este fue invadido por pueblos germánicos de Europa Central, y finalmente llegó al punto en que no pudieron defenderse, por lo que el imperio se desintegró. Se derrumbó, es decir, se simplificó.

Durante la Guerra de los Treinta Años, gran parte de Europa (en particular, lo que luego se convertiría en Alemania) quedó devastada, en lo que algunos historiadores han denominado la Crisis General del Siglo XVII: una época de malas cosechas,

dificultades económicas, violencia extrema y alta mortalidad, todo lo cual algunos atribuyen a características como la Pequeña Edad de Hielo. Algunas regiones registraron descensos demográficos de hasta un 70 %. Esta pintura de Matthäus Merian el Viejo muestra el asedio de la ciudad de Bautzen, Alemania, en 1620. Imagen de dominio público.

McKenzie: El tema de este número de la revista son los puntos de inflexión. Estos puntos en el sistema climático han recibido mucha atención últimamente, pero también se han debatido en las ciencias sociales y otras áreas. ¿Resulta útil la metáfora del punto de inflexión al pensar en el colapso social?

Tainter: Es útil según cómo se defina un punto, porque en las sociedades antiguas que estudio, el punto podía ser un período de varias décadas. No se trata necesariamente de un momento único ni de un incidente único, y quizá ese sea el caso también hoy en día.

McKenzie: Al leer su libro, noté que quienes estudiaban el colapso antes que usted estaban muy interesados en los puntos de inflexión. Estaban muy interesados en teorías como: esta plaga, esta catástrofe ambiental, este único evento causó el colapso de la civilización X.

Tainter: No había pensado en la literatura anterior de esa manera. Pero tienes razón. Ese es su enfoque.

McKenzie: Pero luego, al analizar tu teoría, tienes este gráfico que muestra el rendimiento marginal de la complejidad, donde existen puntos clave en B1, C1, B2, C2, B1, C3, donde los rendimientos marginales de la complejidad se ralentizan, disminuyen o incluso empiezan a disminuir. Y en cada punto, el riesgo de colapso aumenta. Todos ellos también me parecieron posibles puntos de inflexión. (Ver figura 1).

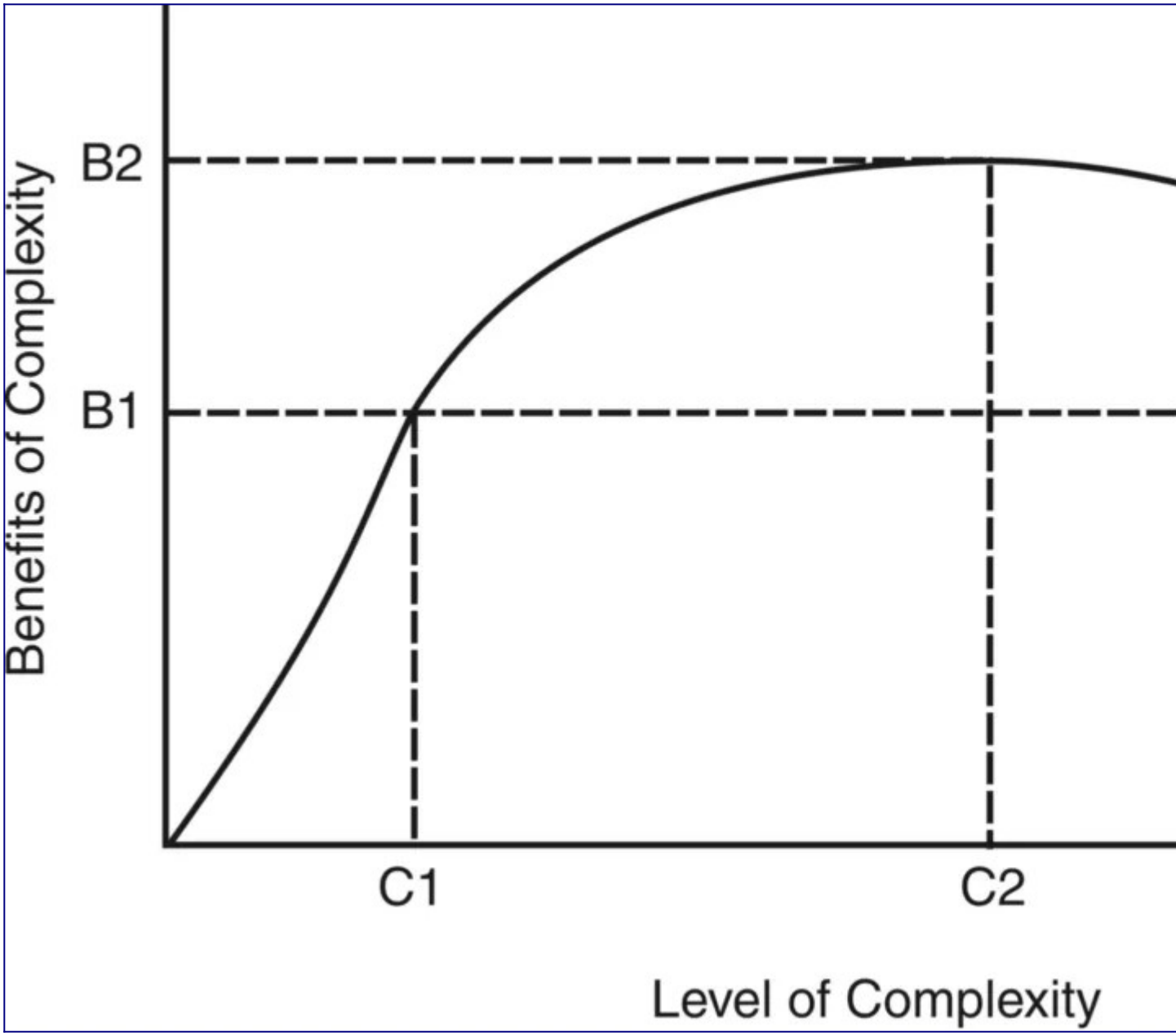

Figura 1. El producto marginal de la creciente complejidad. Según Tainter, en los puntos B1, C1 de la curva, las inversiones adicionales en complejidad generan mayores rendimientos, pero a una tasa marginal decreciente. Esto hace que una sociedad compleja sea más vulnerable al colapso. Después de B1, C2, los costos de la complejidad aumentan, pero los beneficios comienzan a disminuir. Una sociedad en B1, C3 presenta un riesgo muy alto de colapso. Gráfico cortesía de Joseph Tainter.

Tainter: Se podría decir que fueron puntos de inflexión, ya que señalaron fases de transición, pero no se señalaría un solo año como el punto de inflexión. El siglo III d. C. fue un período muy largo. Podría ser que todo ese período fuera un punto de inflexión; aunque el imperio se recuperó de la crisis, fue un período de 50 años de crisis, pero lo hizo volviéndose más complejo y costoso.

McKenzie: Mucha gente cree que ya estamos en camino al colapso, y muchos señalan el cambio climático como causa, o el deterioro ambiental como resultado del cambio climático. Pero, según su teoría, eso por sí solo no explicaría si la sociedad actual colapsa, ni cuándo. ¿Podría explicarnos cómo podemos considerar el riesgo de colapso ahora en el contexto del cambio climático?

Tainter: Yo respondería preguntando: "¿Podemos afrontar el cambio climático?" "¿Contamos con mecanismos de adaptación para afrontarlo?" Estoy bastante seguro de que sí, pero esto implica que la sociedad se vuelve más compleja y costosa, y por lo tanto la pregunta es: "¿Podemos asumir el coste?", que, en última instancia, se refleja en la energía. ¿Tendremos que quemar más combustibles fósiles? ¿Podremos hacer una transición energética a tiempo?

McKenzie: Debido a que tenemos una sociedad globalizada diferente de cualquiera de las civilizaciones anteriores que han colapsado, ¿estamos en un momento de civilización único?

Tainter: En las sociedades antiguas, las sociedades aisladas se derrumbaban. Y hoy en día no existen sociedades aisladas. Observemos los acontecimientos recientes: Siria es un gran ejemplo. Si parece que se está desintegrando, las potencias extranjeras tienden a intervenir en diversos grados, incluso a intervenir para ocupar el lugar e intentar establecer un gobierno y una economía que funcionen.

McKenzie: Lo que usted señala en su libro es que si la civilización colapsara ahora, sería un colapso total. No hay país ni región que colapse sin que todo se derrumbe.

Tainter: Sigo pensando así. Sí, no me imagino un escenario en el que, digamos, Europa Occidental se derrumbe y no hagamos nada al respecto. Simplemente no lo veo.

McKenzie: ¿Es posible llegar a un punto en el que la civilización sea demasiado grande para quebrar? En su libro, usted señala que el colapso no es un estado envidiable para nadie a menos que sea capaz de alimentarse y cuidarse a sí mismo. No estoy preparado para eso. Y creo que la mayoría de la gente tampoco.

Tainter: Ya pasamos ese punto hace mucho tiempo. Un colapso hoy significaría la muerte de miles de millones de personas en poco tiempo.

McKenzie: Eso no suena nada bien.

Tainter: Sería horrible. Sí.

McKenzie: Volviendo a la escala de la disminución de los rendimientos marginales. ¿Dónde cree que nos encontramos actualmente como sociedad en esa curva? Hay algunos síntomas que usted identificó en varias civilizaciones que estaban al borde del colapso, como la inflación o la sensación de pagar demasiados impuestos, donde la gente cree que recibe menos de lo que aporta, o que recibe menos que quienes la

precedieron con la misma contribución. Y creo que, hasta cierto punto, existe la sensación de que esto ya está sucediendo en Estados Unidos, y quizás también a nivel mundial.

Tainter: Recuerdo que cuando tenía veintitantos y treinta y tantos, mis compañeros y yo nos quejábamos de que estábamos peor que nuestros padres a esa edad. Hoy, oigo a los jóvenes de veinte y treinta años decir lo mismo sobre su relación con nosotros, los veteranos. Pero siempre hay cierto descontento. Hay gente insatisfecha con su carrera, gente con problemas con sus hijos, gente a la que no le gustan ciertos políticos, etc. Siempre hay motivos para el descontento. No creo que nada de eso conduzca al colapso.

Ahora bien, hay quienes hablan de una guerra civil en Estados Unidos, etc. No veo que eso ocurra, pero hay quienes piensan así.

McKenzie: Me parece que podríamos estar en algún punto de esa curva de riesgo, aunque solo sea porque mucha gente ya dice que vamos camino del colapso. Un paralelismo en el que pensaba es la "recesión de vibraciones". No estamos en recesión, pero la gente la *siente* y reacciona en consecuencia. Todo se basa en las vibraciones. Y creo que hay cierto paralelismo con el colapso, en el sentido de que esta inminente sensación de colapso podría indicar algo no tan bueno. ¿Tiene sentido?

Tainter: Ah, sí. Y creo que así es como la gente —disculpen la franqueza—, en su ignorancia, no comprende lo que ocurre en el mundo en general. Evolucionamos biológicamente en un contexto de pequeños grupos de cazadores y recolectores. Nunca hubo selección natural para la capacidad de pensar con amplitud en el tiempo y el espacio, porque las personas nunca tuvieron la oportunidad ni la necesidad de hacerlo. Como especie, no pensamos con amplitud en términos de tiempo o espacio, ni hoy en día, en los acontecimientos actuales.

Por ejemplo, la gente no presta atención a las noticias. Recuerdo que, en la época del juicio de Watergate, en Washington, D. C., preguntaban a los jurados de los acusados: "¿Han oído hablar de Watergate?". Y la gente respondía: "No". ¡Dios mío!, nos inundaron con noticias sobre el tema durante un año y medio o más. Es asombroso cómo la gente no sabe lo que pasa en el mundo y no tiene ganas de averiguarlo. Esa es una de las debilidades de la especie.

McKenzie: También me interesa lo que usted llama “mala gestión de la élite” y el papel de la codicia para explicar el colapso.

Cabezas de piedra conocidas como "moai" en Rapa Nui (Isla de Pascua). Científicos como Jared Diamond creen que la sociedad humana en la isla destruyó su entorno natural, lo que provocó un círculo vicioso de guerra y declive poblacional. Imagen cortesía de Yves Picq bajo la licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 3.0 Unported.

Tainter: Cuando hablo con el público sobre, por ejemplo, el colapso del Imperio Romano, existe la mitología popular de los emperadores romanos como corruptos, mentirosos e ineptos. Pero, de hecho, al analizar el registro histórico, la mayoría de las acciones de la mayoría de los emperadores romanos fueron racionales. Simplemente no pudieron hacer nada. Los problemas estaban más allá de su capacidad de solución, aunque, de hecho, a menudo tomaron medidas racionales para hacerlo. La mala gestión de las élites no es realmente una explicación. Puede ser una respuesta a corto plazo, pero no es el problema subyacente a largo plazo. Para comprender un colapso, hay que remontarse a varias generaciones —al menos varias décadas— y observar las tendencias a lo largo del tiempo.

McKenzie: ¿No hubo un ejemplo en uno de sus artículos más recientes de una sociedad compleja que fue capaz de simplificarse sistemáticamente y evitar el colapso?

Tainter: Los bizantinos. Cuando los árabes irrumpieron en Arabia Saudita y conquistaron las tierras más productivas del Imperio bizantino, los ingresos del imperio se redujeron a la mitad, y bien podría haber sido completamente invadido

por las fuerzas árabes. Pero sobrevivió, en gran medida gracias a la simplificación. Es decir, perdió la mitad de sus ingresos. Disolvió su ejército profesional y recurrió a milicias campesinas durante al menos un par de siglos. La literatura prácticamente desapareció, salvo las biografías de los estados. Todo lo que quedaba del imperio, que eran principalmente los Balcanes y Anatolia (lo que hoy es Turquía), todas las ciudades desaparecieron y se convirtieron en colinas fortificadas. Solo quedaron dos ciudades del imperio: Constantinopla y Tesalónica en Grecia. Es decir, sobrevivió gracias a la simplificación, pero eso fue un colapso. Cuando doy charlas, me preguntan: "¿Puede una sociedad simplificar y sobrevivir?". Hay un ejemplo, pero es el único, y no lo hicieron voluntariamente. Lo hicieron porque estaban entre la espada y la pared.

McKenzie: ¿Entonces todavía piensas que una simplificación sistemática de la civilización no funcionará, que no es realmente posible?

Tainter: No, porque los problemas surgen y se resuelven aumentando la complejidad. Y he argumentado que no podemos reducir el consumo de recursos voluntariamente a largo plazo, porque incluso si lo hiciéramos, surgiría algo que nos obligaría a usar esos recursos de nuevo para aumentar la complejidad y resolver los problemas.

McKenzie: ¿Qué pasa con el cambio de régimen o los cambios a gran escala en el modo en que se maneja la civilización, es decir, no con una reducción de la complejidad sino con un cambio para mejor?

Tainter: Requiere consciencia. Requiere consenso. La gente necesita comprender la base de recursos de nuestra vida actual. Como dije, para nosotros, la complejidad parece gratuita porque la pagamos con combustibles fósiles. Se está trabajando para pagar la complejidad con otras formas de energía. Espero que tenga éxito. Parece necesario. En nuestra región, no avanza rápidamente. Pero no estoy completamente desesperanzado ni completamente desprovisto de optimismo, aunque soy realista.

McKenzie: ¿Qué opinas sobre la percepción popular del colapso hoy en día? Hay, por ejemplo, un subreddit entero dedicado al colapso.

Tainter: No sigo nada de eso. Pero la COVID me hizo darme cuenta de que la gente percibe una amenaza a su estilo de vida, aunque no puedan expresarlo. Hago algunas entrevistas al año. Cuando llegó la COVID, de repente me di cuenta de que me estaban pidiendo más entrevistas. Los periodistas se dieron cuenta de que la gente estaba preocupada, de que veían una amenaza a su estilo de vida. La gente percibe amenazas a su estilo de vida. Puede que no piensen en términos de colapso, pero sí las perciben.

McKenzie: ¿En qué se diferencia eso del miedo existencial en el apogeo de la Guerra Fría, en el apogeo del miedo a las armas nucleares?

Tainter: Soy un niño de la Guerra Fría. Recuerdo esconderme bajo nuestros pupitres en la escuela primaria, como si eso sirviera de algo. Crecí en San Francisco. Simplemente di por sentado que pasaría. A los siete, ocho, nueve años, pensaba: «Va a pasar», y solía fantasear con vivir en el campo, acampando con mi familia. De alguna manera, todos sobrevivimos, pero la ciudad quedó en ruinas, y tengo estos recuerdos de mi infancia.

Creo que ahora es menos explícito. Durante la Guerra Fría, era explícito. La gente sabía que todo podía desaparecer. Y esto persistió, según mi opinión, hasta la administración Reagan, cuando se discutió seriamente la posibilidad de una guerra nuclear. Y desde entonces, esos temores se han disipado en gran medida. Hay temores ocasionales de recesión. En 2008 y 2009, se temía un colapso económico importante, la peor depresión desde los años treinta. La gente hablaba de ello, y la gente tiene una vaga conciencia de esas cosas sin comprender las causas subyacentes. Así que creen, ya saben, que el presidente es responsable de una recesión, por ejemplo. Se remonta a la época de reyes y emperadores, cuando se culpaba al rey de una mala cosecha; hoy, se culpa al presidente de una mala economía. Es simplemente cómo la gente piensa sobre su mundo —disculpen la franqueza—, pero desde la ignorancia.

McKenzie: Si el colapso no está garantizado, ¿cuáles son las cosas prescriptivas que desearía que hicieran las personas en el poder, o las personas que pronto podrían estar en el poder?

Tainter: Me gusta responder que somos una especie que se las arregla para salir adelante. Es todo lo que hemos hecho y lo que haremos. La Guerra Fría es un ejemplo de continuidad en la política nacional, la necesidad de enfrentarse a la Unión Soviética y la expansión global del comunismo. Pero aparte de eso, nos las arreglamos.

Algo que he observado en mi vida es que las cosas que parecen una crisis urgente y tienen al Congreso y a los políticos enredados, poco después, simplemente se desvanecen en un segundo plano, y llega la siguiente crisis. Les digo a mis alumnos: «Miren, esto también pasará». Así es como veo las cosas: las que vivimos, en su mayoría, son crisis menores. Una recesión es una crisis menor. La COVID es una crisis menor, comparada con algunas crisis que las sociedades del pasado experimentaron y que quizás querríamos volver a experimentar. Así que hay que salir adelante. Es lo único que puedo decir.

McKenzie: Esa es una perspectiva bastante saludable, no hay que dejarse llevar demasiado por el pesimismo.

Tainter: Sí, a veces. Lo hice durante la crisis de 2008-2009, pero no por la economía. Me deprimí porque el petróleo llegó a los 140 dólares por barril, que era mucho en aquel entonces, y pensaba: «¡Madre mía, puede que se acerque el fin!». Lo que no previ en aquel momento fue el fracking, que alivió en gran medida esa crisis. Hay cosas que no nos gustan, pero el fracking, en mi opinión, evitó una grave crisis para nuestro estilo de vida.

McKenzie: ¿Cómo encaja aquí la energía renovable?

Tainter: Bueno, es esperanzador. Tengo colegas que creen que si logramos la transición a una economía de energías renovables, todos nuestros problemas estarán resueltos; no habrá crisis futuras. Señalo que las crisis son inevitables. Los problemas son inevitables. Muchos problemas y crisis requieren soluciones que pueden ser costosas, aumentar la complejidad y tener un coste metabólico.

Algo que me preocupa de las energías renovables es si podemos aumentar rápidamente la producción de energía en una sociedad basada en ellas. Los combustibles líquidos tienen ventajas insuperables. Y en el futuro, si no tenemos la capacidad de producir rápidamente un combustible líquido, al depender de las energías renovables y probablemente de la electricidad, ¿qué implicaciones tendrá eso para afrontar las crisis? Simplemente no tengo la respuesta. La tecnología no es mi especialidad.

Soy científico social, y quizás haya maneras de hacerlo. Quizás dediquemos mucha energía renovable a producir energía líquida de una forma u otra. Pero entonces surge el problema de la contaminación. Así que no sé la respuesta. Pero como historiador, pienso en términos de crisis, y me pregunto: ¿qué sucede en una crisis si dependemos de la energía renovable?

McKenzie: Desde su trabajo sobre el colapso, ha centrado su atención en la sostenibilidad. Me preguntaba si podría decirme qué significa la sostenibilidad para usted.

Tainter: Para mí, la sostenibilidad significa continuidad. Significa mantener una sociedad compleja y evitar su colapso. Otras personas lo ven en términos diferentes. Algunos piensan en términos de desarrollo sostenible, que a mí me parece principalmente desarrollo. Es continuidad, continuar con nuestro estilo de vida.

McKenzie: Algunas de sus investigaciones más recientes han analizado si podemos innovar para alcanzar la sostenibilidad indefinida.

Tainter: Sí. Hay colegas míos —algunos en economía, otros en otros campos— que argumentan que nunca debemos preocuparnos por los recursos, mientras exista el mecanismo de precios y el libre mercado, y el gobierno no interfiera, que siempre habrá incentivos para innovar y para solucionar los problemas mediante la

innovación. Descubriremos nuevos recursos o nuevas formas de utilizar los antiguos, o desarrollaremos nuevas tecnologías. Sea como sea, mientras tengamos incentivos para innovar, siempre los tendremos, y por lo tanto, los recursos pueden simplemente descartarse.

McKenzie: Pero no estás necesariamente de acuerdo.

Tainter: No. Me parece que hay una suposición implícita en esa línea de razonamiento —que mis colegas que razonaron de esa manera no son conscientes de que están haciendo— de que la productividad de la innovación permanece constante, o tal vez incluso crece.

La innovación es como cualquier actividad humana: tiene beneficios y costos. El sistema de innovación actual, ya sea innovación comercial o innovación científica, es como cualquier actividad humana. Su complejidad aumenta con el tiempo.

Si nos remontamos al siglo XIX, e incluso al XVIII, la época de los a veces llamados "naturalistas solitarios", personas como Charles Darwin y Gregor Mendel. En aquel entonces, la ciencia era competencia de académicos individuales que la practicaban, a menudo como afición o simplemente porque les intrigaba. Comparemos esto con la actualidad, donde la ciencia es una actividad compleja e interdisciplinaria.

Joseph Tainter. Imagen cortesía de la Universidad Estatal de Utah.

En la década de 1970, cuando trabajaba en mi doctorado, podías elegir un número de *Science* o *Nature* , las dos revistas principales, y hojearlos, y normalmente encontrabas un solo autor por artículo, a veces un par de autores por artículo. Hoy en día, abres la mayoría de las revistas y hay varios autores por artículo. Es un síntoma de que la investigación, ya sea en el ámbito comercial o en ciencia pura, impulsada por la curiosidad, se ha convertido en una empresa altamente compleja e interdisciplinaria. Requiere instituciones bastante grandes y costosas, como universidades, centros de investigación y empresas comerciales con departamentos de I+D. La ciencia se está volviendo más compleja, pero también más costosa.

A finales de 2005, pasé un par de años en la Universidad Estatal de Arizona. Allí conocí a un economista llamado José Lobo que comprendió mis argumentos. Tenía una colega, la geógrafa Deborah Strumsky, que estaba creando una base de datos de patentes que, según vi, nos permitiría comprobar la proposición de que la ciencia se está volviendo más compleja y produce a un coste mayor, y quizás, con rendimientos decrecientes. Tomamos esta base de datos de unos 3 millones de patentes, desde 1974 hasta 2012, y calculamos el coste de desarrollar una patente individual. ¿Cuántas personas se necesitaron para producir una patente? Su equivalente es la cantidad de patentes por autor. Y la cantidad de patentes por autor ha ido disminuyendo durante todo este tiempo; ha bajado alrededor de un 22 % en el conjunto de datos que desarrollamos, lo que demuestra que no hay motivos para pensar que ese patrón vaya a cambiar. Es difícil de entender para la gente, porque se puede acceder a internet o ir a una tienda de electrónica, y siempre hay nuevos dispositivos electrónicos disponibles. Cuando menciono esto, la gente suele referirse a la Ley de Moore, la idea de que la cantidad de transistores en un chip se duplica cada 18 meses a mitad de precio. Y yo digo: «Sí, genial, pero ahora se necesitan cinco veces más ingenieros para mantener la Ley de Moore que en los años 90».

Otro ejemplo que me gusta usar: los teléfonos celulares. ¿Cuántos elementos de la tabla periódica se necesitaron para desarrollar teléfonos celulares en la década de 1990 en comparación con la actualidad? No tengo las cifras exactas a mano, pero en la década de 1990 para desarrollar un teléfono celular se necesitaban algunos elementos de la tabla periódica. Hoy en día, se necesitan grandes cantidades de la tabla periódica, y casi parece que nos estamos quedando sin elementos. Todo esto es un ejemplo de cómo la ciencia, la innovación y el desarrollo comercial se basan en el comportamiento humano normal de empezar por lo básico. En ciencia, lo básico eran teorías básicas como la teoría de la evolución, conocimientos básicos de electricidad, etc. Y esos descubrimientos ya no están ahí esperando a que los encontremos por casualidad. Hemos ido por lo básico en la investigación, y por eso la ciencia ha tenido que avanzar hacia campos de investigación cada vez más complejos.

McKenzie: El ejemplo que me llamó la atención, de los retornos marginales en investigación y salud, específicamente, fue su punto de que ahora tenemos que gastar la misma cantidad o más para combatir los patógenos en evolución que antes vencimos con vacunas, pero aún tenemos que seguir iterando para asegurarnos de que tengamos la próxima vacuna actualizada, solo para mantener un nivel base de salud.

En cuanto al clima, dos de las grandes ideas que los optimistas tecnológicos han propuesto para solucionar la crisis climática son la geoingeniería solar (rociar

sustancias a la atmósfera para bloquear los rayos del sol y reducir el calentamiento global) y la captura directa de aire. Ambas son costosas, difíciles, arriesgadas o complejas. En última instancia, solo nos acercan ligeramente a nuestros objetivos en cuanto a temperatura global o niveles de dióxido de carbono atmosférico. Simplemente previenen algunos daños.

Tainter: Sí. De hecho, si me permiten volver a los puntos de inflexión por un momento, algo que me preocupó sobre lo que podría ser un punto de inflexión fue la COVID, que me hizo prestar atención a los riesgos de la globalización. Hay una famosa fotografía que mostré en una de mis clases: un enorme estacionamiento lleno de camiones de General Motors, todos completos, que no pueden salir al mercado porque les falta un chip. Los mercados se estaban desmoronando debido a los fallos de la globalización durante la crisis de la COVID, no lo suficiente como para causar lo que yo consideraría un colapso social. Pero sí causó algunas reducciones económicas bastante sustanciales, y me hizo pensar que uno de los riesgos actuales es la globalización: que un colapso total de la globalización podría causar un colapso.

McKenzie: Una cita me quedó grabada: «Una vez que una sociedad compleja entra en la etapa de rendimientos marginales decrecientes, el colapso se convierte en una probabilidad matemática, que requiere poco más que el paso del tiempo suficiente para hacer probable una calamidad insuperable». Si una mayor complejidad es inevitable y eventualmente resultará en rendimientos marginales decrecientes, ¿significa eso que el colapso de la civilización global es inevitable?

Tainter: No quiero decir que sea inevitable, pero tenemos una enorme labor por delante: educar a la población sobre los riesgos. Si tuviera medio siglo menos, quizá querría dedicar mi tiempo a hablar con educadores de primaria y secundaria para que intentaran enseñar a los niños pequeños a pensar con mayor amplitud en el tiempo y el espacio, de una manera que nuestro sistema educativo, en su mayoría, no hace hoy en día.

Ahora bien, no soy educador de primaria y secundaria. No sé cómo se educa a niños de esa edad. ¿Es posible enseñarles?

Pero si pudiéramos enseñar a la gente, tendría que empezar desde pequeños, a sentir curiosidad por lo que ocurre en el mundo, en zonas remotas, cosas invisibles, cosas que no les afectan inmediatamente, pero que podrían afectarles en el futuro. Espero que marcara la diferencia, y quizás así se pudiera evitar una crisis definitiva. Quizás requeriría que la gente aceptara un estilo de vida diferente, que aceptara un consumo menor del que estamos acostumbrados hoy. Así que no quiero decir que sea inevitable.

McKenzie: Debo admitir que tuve que lidiar con el pensamiento sistémico de tu libro. En cierto modo, me hizo sentir bastante impotente pensar en la civilización misma como una máquina independiente y en el poder limitado de los individuos para influir en el progreso de la civilización en cualquier dirección. ¿Tiene sentido?

Tainter: Sí, bueno, una de las definiciones de cultura en antropología es que es extrasomática. Es algo externo a nosotros que opera con sus propias reglas como un sistema en sí mismo, incluyendo culturas complejas como la nuestra. Es cierto hasta cierto punto, pero no significa que no pueda estar fuera del control humano. Se reduce, como digo, al conocimiento, la curiosidad y la conciencia.

JUNTOS hacemos el mundo más seguro.

El *Boletín* eleva las voces de los expertos por encima del ruido. Pero como organización independiente sin fines de lucro, nuestras operaciones dependen del apoyo de lectores como usted. Ayúdenos a seguir ofreciendo periodismo de calidad que responsabiliza a los líderes. Su apoyo a nuestro trabajo, en cualquier nivel, es importante . A cambio, le prometemos que nuestra cobertura será comprensible, influyente, vigilante, orientada a soluciones e imparcial. Juntos podemos marcar la diferencia.