

Documentos AIER n.º 16

Enero de 2026

Energía nuclear: Un mercado libre Acercarse

RL BRADLEY JR.

El Instituto Americano de Investigación Económica educa a la gente sobre el valor de la libertad personal, la libre empresa, los derechos de propiedad, el gobierno limitado y el dinero sólido.

La investigación científica continua de AIER demuestra la importancia de estos principios para promover la paz, la prosperidad y el progreso humano.

250 Division Street

Apartado postal 1000

Great Barrington, MA 01230

Teléfono: 1-888-528-1216

Fax: 1-413-528-0103

info@aier.org

AIER es una organización sin fines de lucro 501(c)(3) registrada en los EE. UU. con el EIN: 04-2121305

PUNTOS CLAVE

1. La fisión nuclear comercial data de la década de 1950, época en la que la electricidad se generaba mediante combustibles fósiles (80%) e hidroeléctrica (20%). Hoy en día, la energía nuclear suministra el 19% de la generación estadounidense y el 10% a nivel mundial. La fusión nuclear aún se encuentra en fase de laboratorio, con pocas perspectivas de comercialización.
2. La energía nuclear es una industria impulsada por el gobierno. Surgió de la I+D en tiempos de guerra y continuó bajo los programas de subsidios de posguerra "Átomos para la Paz". La Ley Price-Anderson de 1957, que limitó las indemnizaciones por responsabilidad civil en caso de accidentes nucleares, fue fundamental.
3. El régimen tarifario bajo la regulación estatal de servicios públicos constituyó una póliza de seguro de facto para que las empresas de servicios públicos se comprometieran con tecnología experimental. Se produjo un efecto de arrastre después de que Westinghouse y General Electric ofrecieran garantías de rendimiento (llave en mano) para los nuevos reactores, pero las pérdidas pusieron fin al programa y transfirieron el riesgo a los propietarios y contribuyentes.
4. Los subsidios gubernamentales incitaron múltiples diseños técnicos y el aumento del tamaño de las plantas en la década de 1960, todo lo cual contribuyó a fallas en los costos y la construcción en la década siguiente.
5. La regulación activista de la Comisión de Energía Atómica/Comisión Reguladora Nuclear contribuyó a sobrecostos y retrasos en la finalización. Las prórrogas de la Ley Price-Anderson (1966, 1975, 1988, 2002, 2003, 2005, 2024) han mantenido a los reguladores federales al mando.
6. Los pedidos de nuevos reactores finalizaron en 1979, año del accidente de Three Mile Island. En respuesta, las empresas de servicios nucleares implementaron prácticas óptimas de colaboración que han demostrado ser eficaces para la seguridad y la fiabilidad.
7. Los nuevos subsidios de la Ley de Política Energética de 2005 dieron como resultado cuatro nuevos reactores. Dos fueron abandonados durante la construcción y dos entraron en servicio tras múltiples retrasos y sobrecostos importantes (2023, 2024).
8. Los nuevos subsidios en la Ley de Reducción de la Inflación de 2022 fueron diseñados para mantener las unidades existentes en funcionamiento y fomentar los Reactores Modulares Pequeños (SMR) de nueva generación. La administración Trump está ampliando este programa de la administración Biden con subvenciones, garantías y órdenes ejecutivas.
9. La búsqueda de energía nuclear comercial competitiva ha estado llena de promesas y de resultados escasos. La complejidad tecnológica y las políticas gubernamentales han resultado en el peor de los casos, con una situación similar a la de la década de 1950.
10. Un enfoque de libre mercado para la política nuclear implicaría lo siguiente: Poner fin a la investigación y el desarrollo gubernamentales en este campo. Eliminar las subvenciones públicas y las preferencias fiscales para la industria. Suspender las garantías de préstamos extranjeros. Derogar la Ley Price-Anderson para privatizar la regulación de la seguridad y los seguros. Eliminar todas las restricciones antimonopolio a la colaboración industrial. Hacer que el almacenamiento de residuos sea responsabilidad de los propietarios de los mismos. Eliminar a la Comisión Reguladora Nuclear y al Departamento de Energía de EE. UU. de la política nuclear civil.

TABLA DE CONTENIDO

• Introducción	05
• Energía nuclear: un enfoque de libre mercado	05
• I: Revisión histórica	08
• Lanzamiento de la industria: subsidios, sobreentrada	08
• Límites de responsabilidad: Ley Price-Anderson de 1957	10
• Auge de la construcción: 1963–1972	12
• Negocios en el extranjero: Financiamiento EXIM	13
• Retirada y ajuste: 1973–Presente	14
• II. Anatomía de los problemas	17
• Complejidad	17
• Correr	17
• Ambientalismo	18
• Ausencia de información	19
• Sobrerregulación	20
• III. Búsqueda de la competitividad	22
• Competencia de combustibles fósiles	22
• “Renacimiento nuclear” I (Ley EPAct de Bush de 2005)	23
• “Renacimiento nuclear” II (Acuerdo de Independencia de Biden para 2022)	25
• “Renacimiento nuclear” III (Trump II)	26
• IV. Fracaso y reforma	27
• Nadir de Three Mile Island	27
• Error de experto	28
• Reforma de políticas públicas	29
• V. Conclusión	30
• Notas finales	33

INTRODUCCIÓN

Energía nuclear: un enfoque de libre mercado

“Con la energía nuclear, casi nada es lo que parece”.

Marco Visscher, El poder de la energía nuclear (2024), pág. 248

La energía nuclear comercial ha sido elogiada por ser ilimitada, fiable, ultrasegura, libre de emisiones, escalable, de larga duración y el combustible del futuro. Una vez construidas, las centrales nucleares de fisión tienen costes operativos relativamente bajos en comparación con la generación de energía a partir de combustibles fósiles. En la compleja combinación energética actual, la energía nuclear «es un modo de generación de electricidad fiable, de alta capacidad y alta carga, lo que la convierte en un complemento ideal para diversos modos de conversión a renovables que aún operan principalmente con baja capacidad, carga moderada e intermitencias impredecibles».¹

La física operativa de la energía nuclear representa, para muchos, “uno de los mayores logros intelectuales de la humanidad... asombroso, hermoso, elemental y elegante; llega hasta las mismas raíces del universo”.²

Políticamente, el apoyo federal a la energía nuclear bajo la administración Biden se ha visto significativamente incrementado por la administración Trump hasta la fecha. Las garantías de préstamos, la inversión directa y las órdenes ejecutivas están a la orden del día.

Pero ¿es competitiva la energía nuclear en un mundo de recursos escasos frente a fines que compiten entre sí? Dividir átomos en vapor de agua para hacer girar las turbinas es una tarea titánica, plagada de peligros. Contener y controlar la fisión de forma segura y fiable requiere la «máquina perfecta», compuesta por una infraestructura compleja y redundante con largos plazos de construcción. La economía financiera se complica por las ventas de electricidad a precio indeterminado tras la finalización de la obra. En consecuencia, desde el inicio de la industria, se ha necesitado el favor y la protección especial del gobierno para que los nuevos reactores compitan con otras formas de generación térmica.

Las normas federales de seguridad han resultado en un costoso sobrediseño. Los reguladores han sido conservadores y cautelosos, quizás por razones ideológicas. Sin embargo, dados los límites de responsabilidad en caso de accidente nuclear impuestos por la Ley Price-Anderson de 1957, prorrogada siete veces hasta la fecha, la Comisión Reguladora Nuclear (NRC), una agencia independiente, fue quien estableció las normas. Esta situación invita a considerar alternativas de libre mercado en lugar de las normas federales.

En un mercado libre, el gobierno sería neutral respecto a la energía nuclear comercial, al igual que con otras energías. La investigación y el desarrollo serían privados, sin subvenciones ni ventajas fiscales. Los seguros y la seguridad se determinarían según las condiciones del mercado, no mediante incentivos gubernamentales. Los residuos nucleares también serían gestionados de forma privada, sin el apoyo de los contribuyentes.

La institución del capitalismo político (en contraposición al capitalismo de libre mercado) ha permitido que el gobierno se convierta en el actor dominante en este sector energético. El gobierno en juego permite que intereses especiales controlen a la mayoría (menos representada) de consumidores y contribuyentes. La concentración de beneficios y la dispersión de costos incentivan al gobierno a favorecer a quienes ejercen presión. Los intereses nucleares fueron los primeros.

¿Cómo sería una industria nuclear de libre mercado en EE. UU.? Para los 94 reactores existentes (en comparación con un máximo de 112 en 1990), con los costos de capital irrecuperables, las operaciones continuarían mientras los ingresos marginales superaran los costos marginales. Con un reactor promedio de 40 años de antigüedad y funcionando correctamente, la mayoría de las centrales podrían continuar operando durante décadas.

El desafío radica en la nueva capacidad, dados los elevados costos iniciales y los largos plazos de construcción. La economía simple favorece la nueva capacidad alimentada por gas natural, petróleo o carbón en entornos de libre mercado. El futuro de la industria nuclear depende de los subsidios gubernamentales en Estados Unidos (y en otros países) y de los recursos de las economías de planificación nacional, donde la mayoría de los nuevos reactores se construyen en el extranjero.

Existe un apoyo significativo a la energía atómica de nueva generación. Abunda el optimismo tecnológico, con un llamado a una menor regulación para una mayor competitividad. Dos libros recientes lo demuestran.

En "Revolución nuclear: Impulsando a la próxima generación" (2024), Jack Spencer, de la conservadora Fundación Heritage, aboga por una "revolución política" para liberar el potencial de una fuente de energía hasta ahora obstaculizada por reguladores y activistas.⁴ "El debate sobre la integridad de la energía nuclear ha terminado", declara. "La experiencia demuestra que genera buenos empleos, energía limpia y energía confiable".⁵

El libro de Robert Zubrin, *The Case for Nukes* (2023), subtítulo "Cómo podemos combatir el calentamiento global y crear un futuro libre, abierto y magnífico", cuenta con el respaldo de figuras destacadas como Michael Shellenberger (Environmental Progress), Marian Tupy (Human Progress) y Alex Epstein (Center for Industrial Progress). "La energía nuclear puede proporcionar la energía para un futuro humano ilimitado y magnífico", afirma Zubrin. "Pero la revolución tecnológica que ofrece se ha visto frenada hasta ahora por restricciones políticas, mala gestión, malas decisiones y un sabotaje flagrante".

James Hansen, padre de la alarma climática, respalda la energía nuclear como la única alternativa viable a gran escala a los combustibles fósiles.⁷ Bill Gates, fundador de Microsoft y de Terrapower, ofrece un "caso de una sola frase" para la fisión nuclear: "Es la única fuente de energía libre de carbono que puede suministrar energía de manera confiable día y noche, durante todas las estaciones, casi en cualquier lugar de la Tierra, y que ha demostrado funcionar a gran escala".⁸

El apoyo político es eterno. «Los argumentos a favor de la energía nuclear son convincentes, no solo por sus beneficios ambientales, sino también por las perspectivas económicas, de no proliferación y de seguridad energética que respaldan nuestros objetivos nacionales e internacionales», escribió Pietro «Pete» Domenici (senador estadounidense, republicano por Nuevo México) hace dos décadas.⁹

Más recientemente, un programa de préstamos del DOE de 900 millones de dólares llegó con un llamado del Secretario de Energía Chris Wright de la administración Trump:

El renacimiento de la energía nuclear en Estados Unidos comienza ahora. Una energía abundante y asequible es clave para la prosperidad económica y la seguridad de nuestra nación. Esta convocatoria es un llamado a la acción para quienes buscan impulsar el aumento de energía en la red mediante el despliegue de pequeños reactores modulares de agua ligera avanzados.

Los ambientalistas de izquierda se han opuesto tradicionalmente a la dependencia nuclear, empezando por preocupaciones de seguridad y siguiendo por razones económicas. "¿Qué tecnología tiene el potencial de arrasar ciudades y contaminar estados tras un accidente, una catástrofe natural o un sabotaje exitoso?", preguntaban Ralph Nader y John Abbotts en la década de 1970.¹⁰ "La energía nuclear es, en muchos sentidos, el 'Vietnam tecnológico' de este país", añadieron.¹¹

La oportunidad perdida fue el "simple ahorro" (conservación) o "el despliegue de suministros de energía renovable".¹²

Las charlas alegres sobre un renacimiento nuclear desafían la experiencia, concluyó MV Rama-na, profesor de desarme en la Universidad de Columbia Británica. Y desvían la atención del problema fundamental: los límites de la naturaleza. «Impulsar la agenda nuclear permite mantener la falsa idea de que el patrón actual de desarrollo puede continuar indefinidamente sin límites», concluye, «mientras que el cambio climático se resuelve utilizando una tecnología más de la misma caja de herramientas responsable del problema en primer lugar». ¹³

El Plan Marshall de Al Gore para salvar la Tierra del calentamiento global desestimó el mayor recurso libre de emisiones. Al percibir «un gran peligro al considerar la tecnología por sí sola como la respuesta a la crisis ambiental», Gore degradó los diseños nucleares actuales, calificándolos de «un callejón sin salida tecnológico». En consecuencia, la energía nuclear no era «la clave para resolver el calentamiento global». ¹⁴

Muchos defensores sostienen que la energía eólica y solar, con baterías de respaldo, puede prevenir la nueva capacidad nuclear con mayor rapidez y a menor costo. El ingeniero energético y profesor de Stanford, Mark Z. Jacobson, descarta la energía nuclear por contaminante en su (larga) fase de planificación a operación, y considera que es mejor invertir los recursos en energía eólica, hidráulica y solar (WWS) al 100 % en todos los sectores energéticos para cumplir con los ambiciosos objetivos climáticos.¹⁵

Innumerables libros han descrito la economía empresarial y política de la energía nuclear comercial, muchos con fuertes opiniones a favor o en contra. Existe un reconocimiento general de que su problemático pasado se debió a la excesiva incitación gubernamental a la tecnología, seguida de una escalada regulatoria que creó un parque nuclear sobredimensionado y sobrevalorado. Este escenario, el peor de los mundos, plantea la pregunta de qué habría resultado de un enfoque de dejar que el mercado decidiera durante los últimos setenta años.

I: REVISIÓN HISTÓRICA

Lanzamiento de la industria: subsidios y sobreentrada

Durante la guerra, la energía nuclear era estrictamente una operación militar del gobierno estadounidense. En tiempos de paz, la Ley de Energía Atómica de 1946 creó la Comisión de Energía Atómica (AEC) para controlar la tecnología, así como el Comité Conjunto del Congreso sobre Energía Atómica (Comité Conjunto) para supervisarla y financiarla. El desarrollo privado no estaba permitido, pero entre 1947 y 1954, se destinaron 8 mil millones de dólares a prototipos destinados a la electricidad civil.¹⁶

En su informe de 1948 al Congreso, la AEC afirmó que, si bien los costos operativos nucleares podrían ser menores, "el costo de [construir] una planta de energía de combustible nuclear será sustancialmente mayor que el de una planta de combustión de carbón de capacidad similar".¹⁷ En la estimación de Arjun Makhijani y Scott Saleska:

No existía fundamento científico ni ingenieril para las afirmaciones de las décadas de 1940 y 1950 de que la energía nuclear sería tan barata que abriría el camino hacia un mundo de abundancia material sin precedentes. Por el contrario, los estudios oficiales de la época eran pesimistas sobre la viabilidad económica de la energía nuclear, en marcado contraste con muchas declaraciones públicas oficiales.¹⁸

El discurso Átomos para la Paz del presidente Eisenhower en 1953 señaló las altas expectativas y la prioridad federal para la energía nuclear comercial, que se formalizaron en la Ley de Energía Atómica de 1954. Además de "hacer la máxima contribución a la defensa y seguridad comunes", esta ley exigía "el desarrollo, uso y control de la energía atómica... para promover la paz mundial, mejorar el bienestar general, aumentar el nivel de vida y fortalecer la libre competencia en las empresas privadas".¹⁹

La privatización era una cosa, la comercialización otra. Pero se estaban uniendo fuerzas que garantizarían que la intervención gubernamental creara esta última.

¿Por qué impulsar la energía nuclear más allá de su nicho militar tan rápidamente? Ante todo, existía una confianza entusiasta en que una nueva era de abundancia energética, impulsada por la tecnología estadounidense, traería consigo numerosos beneficios sociales. Científicos e ingenieros así lo afirmaban, y pequeños experimentos en el ámbito militar con barcos y submarinos demostraron el concepto, independientemente del coste.²⁰ Se razonaba que el avance de la ciencia superaría los obstáculos.

Desbloquear el átomo en tiempos de paz fue un logro internacionalmente prestigioso para el país que lo inició todo en tiempos de guerra, y muchos estadounidenses pensaron que el uso pacífico de la energía atómica podría de alguna manera expiar su horrible origen en tiempos de guerra.²¹ Además, si no es Estados Unidos, ¿quién? Tanto aliados, como el Reino Unido, como adversarios, como la Unión Soviética, también estaban avanzando rápidamente en el frente civil.

Existía la preocupación de que los combustibles fósiles, responsables de cuatro quintas partes de la generación de energía en ese momento, fueran finitos, y que su fin llegaría incluso en la década de 1970.²²

Energía nuclear: un enfoque de libre mercado

Del lado de la demanda, los proveedores de electricidad vieron que la demanda potencialmente se duplicaría cada década. Las empresas de servicios públicos querían este espacio y temían una toma de control federal o municipal (“una TVA para energía nuclear”).²³

El uranio era abundante y denso en energía, lo que lo hacía ideal para abordar los problemas del futuro, como la contaminación atmosférica, una creciente preocupación pública que la energía atómica podría neutralizar. (La aprobación de la Ley de Aire Limpio de 1970 para federalizar el problema estaba a punto de producirse).

“Transmutación de los elementos: poder ilimitado, capacidad de investigar el funcionamiento de las células vivas mediante átomos trazadores, el secreto de la fotosíntesis a punto de ser descubierto... en tan solo 15 años”, exclamó con júbilo el presidente de la Comisión de Energía Atómica, Lewis Strauss, en 1954. “No es exagerado esperar que nuestros hijos disfruten en sus hogares de energía eléctrica demasiado barata para medirla”.

En un informe de 1962 al presidente Kennedy, la AEC declaró:

Si bien la Comisión ha seguido un curso meditado en general con su programa de energía civil de 10 años adoptado en 1958, ese programa está ahora a punto de alcanzar su objetivo principal de energía nuclear competitiva en zonas con altos costos de combustible para 1968.²⁴

Un impulso gubernamental continuo y ampliado prometía una energía nuclear competitiva

Como medio para explotar un nuevo y extenso recurso energético; como una ventaja económica, especialmente para zonas con altos costos de combustibles fósiles; como un importante contribuyente a las nuevas tecnologías industriales y a nuestro liderazgo tecnológico mundial; como un elemento positivo significativo en nuestro comercio exterior y, potencialmente, como un aporte a la defensa nacional. Sin embargo, sus beneficios potenciales solo se materializarán si se logra un atractivo económico.²⁵

El optimismo del gobierno y la naciente industria no fue suficiente para las empresas de servicios públicos, los municipios y las tres agencias federales de comercialización de energía: la Autoridad del Valle de Tennessee (establecida en 1933), la Administración de Energía de Bonneville (establecida en 1937) y la Administración de Energía del Sureste (establecida en 1950). Se desconocía el costo y la escala de un reactor, y las cuestiones de seguridad y responsabilidad civil eran primordiales. La fisión nuclear trajo consigo el temor a una contaminación radiactiva accidental, un punto de conflicto entre la población.

“En 1955, cinco empresas de servicios públicos habían anunciado planes para construir plantas eléctricas nucleares, pero ninguna había actuado”, señaló el periodista conservador William Tucker.²⁶ Los demócratas querían la construcción por parte del gobierno; los republicanos buscaban subsidios.

Ambos enfoques —construcción gubernamental y subsidios— estaban en marcha. En 1954, la AEC financió lo que se convertiría en el proyecto Shippingport de 60 MW de Westinghouse Electric Corporation para Duquesne Light Company, que alcanzó su punto crítico a finales de 1957.

Lejos de ayudar a la causa, el sobrecosto (50 por ciento) y el alto costo (\$72,5 millones,

(unos 850 millones de dólares en dólares de 2025) "dejó a las empresas de servicios públicos tan desinteresadas en la energía nuclear a fines de la década de 1950 como lo estuvieron una década antes".²⁷

La financiación privada para Shippingport fue insuficiente. Para 1959, los gastos de la AEC ascendían a 586 millones de dólares, en comparación con los 82 millones de dólares de la industria.²⁸

La protección de la responsabilidad civil por explosiones o descargas accidentales era objeto de debate. Aun así, «los costos de capital y de operación de la energía nuclear seguramente serían mucho mayores que los de las centrales de combustibles fósiles, al menos en las primeras etapas de desarrollo, y las perspectivas de obtener beneficios a corto plazo de las centrales nucleares eran escasas». ²⁹ El Comité Conjunto instó a la AEC a impulsar el desarrollo privado o enfrentarse a la federalización.

Dado que la industria había mostrado poco interés inmediato en el desarrollo de reactores según los términos de la ley de 1954, la AEC creó el Programa de Reactores de Demostración de Potencia a principios de 1956 para obtener incentivos especiales. La I+D gubernamental se ofreció gratuitamente o a un precio fijo, y se ofreció una exención de siete años para el uranio enriquecido, propiedad exclusiva del gobierno.

Entre 1955 y el final del programa en 1963, se desarrollaron cuatro proyectos importantes.

Los consorcios industriales (Power Reactor Development Company, Atomic Power Development Associates) eligieron el mejor camino a seguir, aunque la AEC alentó múltiples diseños, como un intento altamente problemático de Detroit Edison de construir un reactor reproductor rápido.³¹

Límites de responsabilidad: Ley Price-Anderson de 1957

En 1956, el Comité Conjunto del Congreso sobre Energía Atómica solicitó a la AEC que evaluara los posibles daños de un accidente nuclear grave. Al año siguiente, el Informe Brookhaven, titulado "Posibilidades teóricas y consecuencias de accidentes graves en grandes centrales nucleares", estimó que una planta de 200 megavatios (MW) ubicada a 48 kilómetros de una ciudad podría causar miles de muertes, diez veces más heridos, 7000 millones de dólares en daños materiales y 249.000 kilómetros cuadrados de contaminación. Esta conclusión desconcertó a empresas y aseguradoras.

El pánico por la radiación nuclear llegó al público. El artículo de Edward B. Lewis en Science, "Leucemia y radiación ionizante" (1957), advertía contra la radiación de fondo, dejando desconcertante la perspectiva de emisiones del reactor. Las apariciones televisivas y otros tipos de publicidad de Lewis (futuro Premio Nobel de fisiología) fueron una mancha para el "patrocinador, participante, regulador, guardián y mediador", la AEC.³² Esto ocurrió a pesar de la evidencia científica razonable de que los temores a la radiación eran exagerados, lo que posteriormente se demostró.³³

El elefante en la habitación para el desarrollo de reactores era la posibilidad de un accidente.

La tecnología nuclear era experimental. No existían datos para que las compañías de seguros establecieran términos y condiciones. Se habían producido fallos de seguridad. «Todos los involucrados en el programa de energía atómica a mediados de la década de 1950 aceptaron el hecho de que la tecnología atómica representaba un peligro potencial significativo». ³⁴ Era necesario un límite de responsabilidad para el suministro de reactores.

y la demanda emergerá.

Otras opciones de generación eran más económicas. El carbón abundaba y el gas natural estaba en auge gracias a la probada tecnología de turbinas y a un sistema de transmisión de gas interestatal en desarrollo. «Entre 1963 y 1975», informó un periodista con formación científica:

La capacidad de las centrales eléctricas con turbinas de gas en Estados Unidos aumentó en un factor de 70. Muchas de estas turbinas eran esencialmente motores a reacción (también conocidos como turbinas "aeroderivadas") rediseñados para generar energía eléctrica.

La transición al gas, que también se vio frenada por los pedidos de energía nuclear, se vio interrumpida por los controles federales de precios en boca de pozo que volvieron a poner al carbón en el asiento del conductor a fines de los años 1960.

Se iniciaron dos años de intensas negociaciones entre organismos gubernamentales y representantes de la industria, incluyendo la Cámara de Comercio de Estados Unidos, la Asociación de Abogados de Seguros, la Asociación Americana de Abogados y la Asociación Federal de Abogados. El testimonio ante el Congreso estableció que la indemnización de los seguros privados era muy inferior a la destrucción que hipotéticamente podría producir un accidente.³⁵

El director de Consolidated Edison Company de Nueva York preguntó: "¿Por qué no compartir el riesgo con todo el pueblo a través del Gobierno Federal?", ya que la energía atómica era "de interés para todo el pueblo".³⁶ Existían precedentes con el seguro federal para cosechas, inundaciones y bancos, argumentaron los partidos que la apoyaban.³⁷

En lugar de pausar el proceso para que las cosas se resolvieran, con múltiples diseños reduciéndose a unos pocos o incluso a uno solo (el enfoque de "descentralización" de la AEC invitaba a muchos³⁸), y dejar que la evaluación de riesgos mejorara con mejor información —un enfoque de libre mercado—, el gobierno federal cubriría el vacío. La industria naciente estaba proporcionando, en efecto, un bien público, según la mayoría política.

El congresista Chet Holifield (demócrata por California), miembro fundador del Comité Conjunto del Congreso y, en última instancia, su presidente, criticó la fiebre de la comercialización. Señaló la ironía de las audiencias de 1955:

...todos estos grupos industriales que hacen alarde de la situación, publican artículos en revistas nacionales y desarrollan una gran campaña de propaganda afirmando que ahora es el momento de que la industria privada intervenga y haga su trabajo, de repente se están volviendo un poco tímidos. No quieren meterse de lleno, están metiendo el dedo gordo del pie en el agua y dicen que hace un poco de frío. ¿Nos dará el Gobierno un pequeño incentivo? ³⁹

La Ley de Indemnización de las Industrias Nucleares de 1957 (Ley Price-Anderson), "para proteger al público y fomentar el desarrollo de la industria de la energía atómica", autorizó la financiación federal "para una parte de los daños sufridos por el público a causa de incidentes nucleares, y podrá limitar la responsabilidad de las personas responsables de dichas pérdidas". ⁴⁰ Los titulares de licencias debían obtener un seguro privado "disponible", más allá del cual el gobierno federal sería responsable de hasta 500 millones de dólares por accidente. A las empresas se les asignó una "cuota de indemnización" de 30 dólares por megavatio al año para el seguro gubernamental.

Con una exención antimonopolio, los sindicatos de seguros (se formaron tres) acordaron pagar hasta 60 millones de dólares por accidente, superando ese límite el Tesoro asumiría el coste. El acuerdo, aprobado por las partes del sector, fue suficiente para eliminar un importante obstáculo a la comercialización de la energía nuclear.

Con un límite de responsabilidad civil estimado en una catorceava parte del coste total potencial de un accidente, se ponía en juego al contribuyente, y el riesgo extracontractual recaía sobre las posibles víctimas. Las cláusulas de "exclusión nuclear" en las pólizas de seguro de vivienda contra daños por radiación eran un claro ejemplo de ello.⁴¹

Los críticos se preguntaban si la nueva ley reduciría el incentivo para sentarse con precaución y seguridad.⁴² Sin embargo, tanto la industria como el gobierno eran optimistas respecto de que la experiencia y el avance de la ciencia resolverían cualquier problema.

La Ley Price-Anderson estaba programada para expirar en diez años. No se produjeron pagos, pero el sector privado no estaba listo para actuar por sí solo. Las partes involucradas presionaron para obtener 100 millones de dólares por accidente, que se convirtieron en 74 millones de dólares en una prórroga de 10 años en 1966 (unos 750 millones de dólares actuales), un pequeño aumento en términos reales.

Tras bastidores, un informe actualizado de accidentes graves de la AEC, que no se hizo público, estimó que las muertes y los daños en el peor de los casos eran múltiples respecto a los de una década antes.⁴⁴ Esto convirtió a la AEC en parte del problema como promotora-reguladora. Sin embargo, era hora de publicar directrices de seguridad «en gran medida invisibles, intangibles y poco impactantes», y el tiempo apremiaba.⁴⁵

Auge de la construcción: 1963-1972

"La Ley Price-Anderson abrió las compuertas de la energía nuclear".⁴⁶ Con la barrera del seguro eliminada, la inversión nuclear, si bien no era la opción de bajo costo, se volvió atractiva para las empresas de servicios públicos por otra razón gubernamental.

Bajo la regulación estatal de los servicios públicos, la ganancia permitida se determinaba mediante una tasa de rendimiento multiplicada por la inversión de capital basada en el costo original depreciado. La base tarifaria se reduciría (depreciaría) con el tiempo. Las empresas de servicios públicos, si bien recibían reembolsos dólar por dólar por costos "razonables", necesitaban una base tarifaria más amplia para obtener ganancias estables o mayores. Los costos de capital de un reactor eran un 50 % más altos que los de una central de carbón de la misma capacidad, o incluso más.⁴⁷

Las comisiones estatales podían rechazar costos "imprudentes" de proyectos aprobados en las audiencias tarifarias. Los sobrecostos eran comunes en los proyectos de AEC. Las empresas de servicios públicos persistían sus dudas a pesar de las presentaciones optimistas de General Electric, Westinghouse y los nuevos participantes, quienes afirmaban que los costos disminuirían gracias al aprendizaje práctico y a las economías de escala para ser competitivos con la generación a base de petróleo, gas o carbón.

En 1961, la AEC informó que diez plantas nucleares (en su mayoría pequeñas) estaban terminadas y que el doble de proyectos tenían permisos para construirse.⁴⁸ Pero los desarrollos extranjeros parecían más robustos, dejando a la energía nuclear como "un recurso de reserva para la economía estadounidense, pero uno

Energía nuclear: un enfoque de libre mercado

que podría perfeccionarse mediante la experiencia adquirida en el extranjero". 49 Se necesitaba un gran avance. General Electric, con solo tres pedidos hasta 1962, lo proporcionaría. 50

A fines de 1963, Jersey Central Power and Light Company firmó un contrato llave en mano a precio fijo con General Electric para un reactor de 515 MW por "un precio sorprendentemente bajo" de 66 millones de dólares.⁵¹ La construcción comenzó un año después y la planta entró en servicio en 1969 bajo una licencia de 40 años de la AEC.

Jersey Central reivindicó la paridad con una planta alimentada con combustibles fósiles, lo que el presidente Lyndon Johnson elogió como un "gran avance económico". 52 El director del Laboratorio Nacional de Oak Ridge anunció una "Revolución de la Energía Nuclear" basada en "la disponibilidad permanente y ubicua de energía nuclear barata". 53

Westinghouse igualó las condiciones de GE para su propia versión del reactor de agua ligera.⁵⁴ De hecho, ambas compañías estaban asumiendo el riesgo y juntas sufrirían pérdidas de hasta 1.000 millones de dólares, casi la mitad del costo total de la planta, en su afán por capturar el mercado y aprender sobre la marcha.⁵⁵

En 1966, los contratos de costo más margen reemplazaron a las no rentables "plantas de demostración de facto". Aun así, la promoción "sentó las bases psicológicas para... el 'gran mercado de la moda' de 1966-67". 56 Siete pedidos de reactores en 1965 fueron eclipsados por 21 en 1966 y 27 al año siguiente. 57 El optimismo reinaba. La nueva industria estaba impulsada por subsidios y una economía de base tarifaria. También llegaron pedidos extranjeros, con financiación federal a través del Banco de Exportación e Importación.

Después de todo, la tecnología de nueva generación, probada y mejorada, cubriría un crecimiento de la demanda energética del 7 % anual, y sin humo. El apagón del noreste de Estados Unidos en 1965, que afectó a 30 millones de personas (el peor hasta la fecha), generó un problema de seguridad propio.

Las autoridades estatales y federales que brindaron apoyo, así como las grandes empresas científicas, aprobaron la prisa de las empresas de servicios públicos por asegurar el futuro.

"Los entusiastas nucleares perciben la tecnología como el siguiente paso obvio en una herencia energética que ya ha progresado a través de la madera, el carbón y el petróleo/gas natural". 58 AEC predijo mil reactores operando en los Estados Unidos para el año 2000. General Electric tan tarde como en 1974 esperaba un reactor reproductor comercializado para 1982, el fin de los combustibles fósiles en la generación de energía para 1990, y una toma de control virtual por los reactores reproductores para el cambio de siglo. 59 Pero un informe en 1969 por el altamente respetado Philip Sporn (presidente retirado de una gran empresa de servicios públicos, American Electric Power) estimó los costos nucleares en el doble que el carbón, que llegó en un año en que los nuevos pedidos de reactores comenzaron a caer. 60 Los jefes de servicios públicos existentes no especularían contra lo que se veía como más ventajas, no desventajas.

Negocios en el extranjero: Financiación EXIM

El auge impulsado por el gobierno tuvo otra dimensión. Los desarrolladores nucleares estadounidenses estaban activos en el extranjero, ayudados por el Banco de Exportación e Importación de Estados Unidos (EXIM), una entidad financiera del New Deal.

Con su primer compromiso en 1959 (con Italia), la cartera nuclear del EXIM se convertiría en su segmento más importante.

La creación de empleo nacional fue la razón tradicional de esta agencia, así como de la Corporación para la Inversión Privada en el Extranjero (OPIC, fundada en 1971). Otros países, como Canadá, Francia y Alemania, promovían de forma similar sus tecnologías, incluida la energía nuclear, en la década de 1970. Una tercera razón esgrimida surgió tras el embargo árabe de 1973: la reducción de la demanda mundial de petróleo para reducir los precios.⁶¹ Los países inundaron al EXIM con solicitudes de ayuda para financiar plantas nucleares que reemplazaran al petróleo en la generación de energía.

“Ninguna de las centrales nucleares vendidas [en el extranjero] desde 1967 se habría encargado sin los préstamos del EXIM”, opinó la Oficina de Contabilidad del Gobierno en 1973.⁶² Para el primer trimestre de 1976, los compromisos acumulados del EXIM (préstamos y garantías) se acercaban a los 100 por 5.200 millones de dólares, con una exposición pendiente de 4.200 millones de dólares. Se esperaba que a los acuerdos firmados recientemente en Filipinas, Yugoslavia, Taiwán, España y Corea se sumaran varios miles de millones de dólares en compromisos en los próximos años.⁶³

El auge crediticio terminó rápidamente, reflejando el mercado interno. «En resumen, no parece haber ningún ejemplo de que el EXIM haya proporcionado financiación para un reactor estadounidense a un nuevo país desde la década de 1970». ⁶⁴

Los reactores domésticos solían financiarse a 20 o 25 años con inversores institucionales, respaldados por el crédito de la empresa eléctrica, protegida a su vez por el acuerdo regulatorio de las comisiones estatales. Los proyectos extranjeros eran diferentes. Los préstamos bancarios a cinco años no eran adecuados para los reactores comerciales, cuya construcción podía tardar hasta siete años, con pagos que a menudo se extendían a otros 10 o 15 años.

Los préstamos EXIM de 15 a 20 años podrían duplicar el plazo de los préstamos más habituales de la agencia, de 8 a 12 años.⁶⁵ Un subsidio importante de este programa fue posponer el reembolso hasta que el reactor estuviera operativo, un período de gracia que podría ser de hasta diez años.⁶⁶

Retirada y ajuste: 1973-presente

El auge nuclear se revirtió bruscamente en la década de 1970, con cancelaciones y finalizaciones que revelaron "casi con toda seguridad el error de cálculo técnico más costoso del siglo XX". ⁶⁷ El financiamiento de los servicios públicos comenzó a restringirse a fines de la década de 1960 debido a una mayor inflación (casi el 6 por ciento) y al retraso regulatorio (el tiempo entre el gasto y el reembolso). ⁶⁸ Con la primera cancelación en 1972, cien pedidos se darían por terminados en la siguiente década, lo que representaba casi 100 gigavatios (GW) de capacidad planificada. ⁶⁹ Con el último pedido ejecutado en 1978, la capacidad nuclear estaba destinada a estabilizarse.

Algunos reactores en construcción fueron reutilizados o cancelados. Consumers Power Company de Michigan (ahora CMS Energy) convirtió su proyecto nuclear, con un 85 % de avance, en una planta de ciclo combinado a gas tras 17 años y una inversión de 4300 millones de dólares.

La central eléctrica William H. Zimmer en Ohio, con un coste de 3.100 millones de dólares, diez veces su estimación original, se convirtió a carbón en 1984. Anunciado originalmente en 1969

Con su finalización prevista para mediados de la década de 1970, dos reactores de 840 MW se habían reducido a uno. Multas y demandas también perjudicaron el proyecto.⁷¹

La Public Service Company of Indiana se quedó sin dinero con su planta Marble Hill de 2.500 millones de dólares, a medio terminar.⁷² Commonwealth Edison perdió su licencia NRC para su reactor de Illinois de 3.300 millones de dólares, casi terminado.

El mayor proyecto de energía nuclear de la historia, formulado en 1968 para el noroeste del Pacífico por Washington Public Power Supply System, fracasó en las décadas de 1970 y 1980 cuando tres unidades fueron abandonadas durante la construcción y otra cancelada. Miles de millones de dólares en gastos infructuosos condujeron al mayor impago municipal en la historia de Estados Unidos.⁷³

La planta nuclear Trojan de Portland General Electric en Oregón, encargada en 1968 por 228 millones de dólares, se completó dos décadas después con el doble de costo. Problemas operativos posteriores dieron lugar a una demanda de PGE contra la constructora Bechtel. Sin embargo, no se trataba de un proyecto llave en mano con garantías de rendimiento; se trataba de un contrato de costo adicional. Bechtel prevaleció; el riesgo técnico recaía sobre la empresa de servicios públicos.⁷⁴

Las grandes expectativas de que el reactor reproductor cerrara la brecha con la generación de combustibles fósiles, comenzando con el Fermi 1 de Detroit Edison, presagiaban el futuro. «El programa estadounidense de reactores reproductores rápidos nunca despegó, y los continuos esfuerzos franceses y rusos no auguran una economía de reactores reproductores masivos a la vuelta de la esquina». ⁷⁵

El interés federal en la energía nuclear se desvaneció durante la crisis energética de la década de 1970. El presidente Nixon nombró a un nuevo director de la AEC, James Schlesinger, quien sermoneó a la industria para que resolviera sus propios problemas y pensara en una menor demanda, no en una mayor oferta.⁷⁶

El presidente Ford se mostró ambivalente a medida que se concretaban costosas obras. El presidente Carter solo pudo decir: "como último recurso, debemos seguir utilizando cantidades cada vez mayores de energía nuclear". ⁷⁷ Y esto fue antes del accidente de Three Mile Island en marzo de 1979, que resultó en una moratoria de facto sobre nuevos proyectos durante décadas. ⁷⁸

La última central nuclear entró en servicio en 1990. Las terminaciones incrementaron la base tarifaria que debían cubrir los contribuyentes. Los intereses de los consumidores y del medio ambiente se convirtieron en parte de las audiencias sobre tarifas de las empresas de servicios públicos, lo que resultó en desestimaciones de costos, demandas judiciales y daños a la reputación de las compañías.

Mientras tanto, las plantas de combustibles fósiles se beneficiaban de los bajos costos energéticos y la mejora tecnológica. Con alternativas más económicas en comparación con el costo promedio de la empresa de servicios públicos (inflado por la energía nuclear), los contribuyentes querían comprar su propia energía fuera de la empresa, si podían obtenerla. Con el monopolio de la empresa de servicios públicos sobre la transmisión, la reforma legislativa y regulatoria se volvió crucial.

Los usuarios finales, empezando por los industriales, presionaron a los legisladores federales y estatales para que hubiera un acceso abierto obligatorio, mediante el cual se ofrecerían servicios de transmisión a tarifas reguladas basadas en costos para terceros (generadores independientes y usuarios finales).

Las victorias del acceso abierto que comenzaron a mediados de la década de 1990 redefinirían el llamado pacto regulatorio.⁷⁹ En resumen, la inflación de los costos de la energía nuclear hizo mucho para trastocar el mundo tranquilo y estable de la regulación tradicional de los servicios públicos en el sector eléctrico.

II. ANATOMÍA DE LOS PROBLEMAS

“Las plantas no llave en mano terminan costando alrededor del 175% de los costos previstos”.⁸⁰ Las plantas nucleares que costaban menos de un millón de dólares por MW en 1967 (dólares de 2010) aumentaron a entre 3 y 6 millones de dólares a mediados de la década de 1970.⁸¹ Una vez completadas, muchas plantas tuvieron un rendimiento inferior.

“El fracaso del programa de energía nuclear de EE. UU. se clasifica como el mayor desastre de gestión en la historia empresarial”, afirmó un editorial de Forbes en 1985. La culpa recayó en todas las partes: reguladores federales y estatales, proveedores, empresas de servicios públicos y contratistas/subcontratistas.⁸²

De hecho, la energía nuclear nunca fue la gran tecnología del caballo blanco. Era experimental y, con mejoras, una tecnología de respaldo para la generación eléctrica.

Se logró la seguridad. El costo y la demora de las centrales nucleares, así como su sobrediseño, hicieron de la industria estadounidense posiblemente la más segura de todas las tecnologías energéticas.⁸³ El accidente en la Unidad n.º 2 de Three Mile Island en 1979 —«el único gran desastre de la historia con un saldo de cero muertos, cero heridos y cero enfermos»⁸⁴— se compara favorablemente con la explosión de petróleo en alta mar de Deepwater Horizon (2010), que causó la muerte o heridas a dos docenas de personas.

“Es difícil creer que una industria de 200 mil millones de dólares con el potencial de ayudar a resolver los problemas energéticos del país pueda estar en crisis, política, tecnológica y comercialmente”, señaló un análisis de la industria de la década de 1980. “Sin duda, la controversia en torno a la energía nuclear es única; no encontramos un precedente histórico para una tecnología que prometía tanto, pero que ahora está prácticamente estancada”.⁸⁵

Nunca antes se había producido una mala inversión de tal magnitud en el centenario sector energético estadounidense. La electricidad estaba muy regulada, y la energía nuclear era el sector más subvencionado por el gobierno. Esto no fue casualidad ni un fallo del mercado.

El motivo del bajo rendimiento de la energía nuclear fue una combinación de errores empresariales, complejidad tecnológica y exceso de regulación. El motivo detrás del porqué fue gubernamental. Con la socialización de los seguros, así como la confianza en los costos y la entrega bajo la regulación de los servicios públicos, se desató el freno.

Parte del problema con el sueño nuclear fue que la exageración superó la realidad, ya que la intervención federal y estatal fomentó la toma de riesgos imprudentes con una tecnología nueva y compleja. Las tasas de interés aumentaron significativamente hacia el final del auge, inflando los costos de los proyectos nucleares de construcción intensiva en capital. El crecimiento de la demanda de electricidad se redujo a la mitad en la convulsa década de 1970. Otra parte fue la extralimitación regulatoria, que agravó los demás problemas.

Complejidad

La fisión nuclear para la generación de electricidad es una “tecnología inherentemente complicada, de bajo riesgo y muy temible”.⁸⁷ “La seguridad debe estar incorporada en cada aspecto del diseño”, explica Terence Price.

Una primera salvaguardia es la redundancia: un exceso deliberado de sistemas de protección. Una segunda es la diversidad: una variedad de sistemas diferentes, que operan de distintas maneras, de modo que una falla sistémica no pueda dejarlos fuera de servicio a todos simultáneamente.

Una tercera es el uso riguroso del principio de “seguridad”, de modo que si ocurre un fallo el sistema se coloca automáticamente en una condición más segura, no menos.

Una cuarta precaución es la separación física de las funciones vitales, de modo que, por ejemplo, un incendio local no pueda destruir todo el sistema de seguridad.⁸⁸

Los feudos de las empresas de servicios públicos (la legislación antimonopolio impedía las estrategias de consorcio⁸⁹) exacerbaban el desafío de la complejidad. «A medida que las empresas de servicios públicos estadounidenses optaban por numerosos diseños individualizados, en lugar de un reactor estándar, y comenzaban a construir simultáneamente docenas de nuevas plantas», concluyó Vaclav Smil, «los costos de construcción se dispararon, y se vieron impulsados aún más por los requisitos cambiantes de las nuevas regulaciones de seguridad».⁹⁰ La curva de aprendizaje y las economías de escala previstas resultaron difíciles de alcanzar.⁹¹

El aprendizaje práctico se enfrentó a numerosos problemas de diseño e ingeniería, entre ellos “la desatención a los problemas de fragilización de los materiales que implican el bombardeo de neutrones, la atención insuficiente a la química del agua de refrigeración y los posibles problemas de corrosión, la falta de apreciación de las complejidades del mantenimiento y los problemas de control de calidad, y la trivialización de las tareas de eliminación de residuos y desmantelamiento”.⁹²

Un reactor típico tenía 40.000 válvulas, diez veces más que una central de carbón.⁹³ Las reparaciones en torno a un núcleo radiactivo diferían de las de otras centrales térmicas (de petróleo, gas o carbón). Una falla en una tubería de la central Indian Point de Consolidated Edison, cuya reparación tardó siete meses, habría tardado dos semanas con muchos menos trabajadores y menos especializados en una instalación convencional.⁹⁴

La gerencia de servicios públicos pensaba que la energía nuclear era “solo otra forma de hervir agua y producir vapor”.⁹⁵ No fue así. “Un reactor nuclear requiere una gestión diez veces más intensiva que una central eléctrica de carbón comparable”, afirmó un experto.⁹⁶ “Una central nuclear es un sistema, un sistema que requiere una perspectiva interdisciplinaria”, señalaron tres expertos del MIT.

Un fracaso en cualquiera de las disciplinas más mundanas puede ser tan desastroso como el fracaso de la más glamurosa. ... Los problemas en el campo suelen estar en áreas que los ingenieros y científicos tienden a dar por sentado.⁹⁷

Correr

“Ningún otro modo de generación de electricidad primaria se comercializó tan rápidamente como la primera generación de reactores de fisión”, señaló Vaclav Smil, con 25 años “entre la

Primera reacción en cadena sostenida... y la avalancha de nuevos pedidos de plantas después de 1965».98 ¿ La causa de ese efecto? «Ningún otro modo de producción de energía ha recibido subsidios públicos tan generosos», y la energía nuclear recibió el 96 % de todos los fondos federales para energía entre 1948 y 1998.99

"Aumentamos la escala de los reactores nucleares demasiado rápido", admitió un regulador federal, "los entregamos a las empresas de servicios públicos demasiado rápido, y la tecnología no estaba del todo lista, y las empresas de servicios públicos no estaban del todo listas". 100 Dos economistas escribieron:

..La industria nuclear estadounidense, incluido el gobierno, a finales de la década de 1950 y principios de la de 1960 tomó la heroica decisión de eludir el gradualismo habitual en el desarrollo y la comercialización de una nueva tecnología —especialmente una tecnología exótica y extraordinariamente sensible como la nuclear— y proceder rápidamente a un compromiso de 100 000 millones de dólares, y en última instancia mucho más. Numerosos problemas fueron poco comprendidos, poco investigados y poco reconocidos.¹¹

ambientalismo

"Ser 'antinuclear' a principios de los años 1960 significaba oponerse a las armas nucleares".¹⁰² El activismo del tipo "No en mi patio trasero" (NIMBY, por sus siglas en inglés) era menos ideológico.¹⁰³ De hecho, algunos grupos ambientalistas importantes apoyaban la energía nuclear comercial.

Esto cambió en la década siguiente y definitivamente con Three Mile Island en 1979.

A la cabeza de la oposición estaban la Unión de Científicos Preocupados, Amigos de la Tierra y el Sierra Club (posición cambiada en 1975).¹⁰⁴

"La oposición a la energía nuclear empezó a crecer a mediados de la década de 1960", resumió Michael Shellenberger.

Entre 1962 y 1966, solo el 12 % de las solicitudes de las compañías eléctricas para construir centrales nucleares fueron impugnadas. A principios de la década de 1970, el 73 % de las solicitudes para construir centrales nucleares serían impugnadas.¹⁰⁵

El entorno politizado amplió el foro para acciones legales y mayor regulación. «Entre 1975 y 1983, se presentaron 430 demandas contra la NRC, lo que dio lugar a 2349 propuestas de normas y regulaciones, cada una de las cuales requirió una respuesta de la industria», resumió Jack Spencer. «Los controles adicionales e inesperados generaron incertidumbre en toda la industria y plantearon interrogantes sobre la rentabilidad a largo plazo de la energía nuclear». ¹⁰⁶ Además, «los gobiernos estatales y locales ampliaron sus funciones de supervisión». ¹⁰⁷

Las normas de calidad del aire derivadas de las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1970 sugerían la sustitución del carbón por energía nuclear. Pero el emergente movimiento ambiental se vinculó estrechamente con la idea de que "lo pequeño es hermoso". La energía blanda (renovables, conservación) estaba de moda; la energía dura (combustibles fósiles y centrales nucleares) estaba descartada.¹⁰⁸ Vaclav Smil describió el triunfo de la emoción sobre la realidad.

Una embriagadora mezcla de revuelta generacional, activismo liberal, predicación schumacheriana, preocupaciones ambientales, ruralismo nostálgico, cálculos aproximados y fe estadounidense en la salvación mediante nuevos aparatos produjo una fe simplista en calentadores solares pasivos en cada techo, electricidad limpia de células fotovoltaicas... [y] en el poder melodioso igualmente limpio y cautivador del silbido de diversas aspas de viento, en alcoholes combustibles de olor benigno que rezuman de acogedores alambiques agrícolas alimentados con grano podrido y alimentados con paja o rastrojo secos.¹⁰⁹

La naturaleza diluida, intermitente y frágil de la energía eólica y solar las hacía inadecuadas para las demandas de la red eléctrica convencional. La conservación de la energía gratuita —o «un almuerzo por el que te pagan»— también era una idea mágica.¹¹⁰ Pero esto fue en la década de 1970, cuando predominaba la idea del pico del petróleo y el pico del gas. Así, en Estados Unidos, la «alternativa autóctona y sin complicaciones del carbón barato»¹¹¹ se convirtió en la energía preferida por las políticas bajo el gobierno de Jimmy Carter.

Hoy en día, la oposición ambiental a la energía nuclear se caracteriza por la preocupación por el desplazamiento de la energía eólica y solar. Los opositores argumentan que la energía nuclear es demasiado lenta y costosa en comparación, al igual que los críticos del libre mercado que favorecen los combustibles fósiles para la nueva capacidad.

Ausencia de información

Los problemas de información siempre han plagado la energía nuclear. «La política de secretismo no solo inhibió el desarrollo comercial de la energía nuclear en Estados Unidos», escribieron tres académicos del MIT, «sino que resultó ineficaz para impedir que otros países desarrollaran la energía nuclear por sí mismos...». ¹¹²

El problema de la información pasó del gobierno a la industria. “La absorción por parte de la industria nuclear de las actitudes promocionales de la AEC y los proveedores de reactores plagaría su análisis económico durante las dos décadas siguientes”. ¹¹³ Hubo una “publicación selectiva de información”. ¹¹⁴ “Se subestimaron los costos y se sobreprometió el rendimiento en casi todas las categorías, desde la duración de la construcción de la planta hasta el rendimiento de su capacidad”. ¹¹⁵

“Los informes técnicos subestimaron los problemas de ingeniería futuros y se ignoraron las advertencias disponibles sobre las tendencias de costos”.¹¹⁶ El “autoengaño” de la industria provino de la falta de revisión externa.¹¹⁷ “El hecho de que estos componentes cruciales de los costos no se hayan cuantificado satisfactoriamente”, escribieron Richard y Caroline Hellman en su libro de 1983 sobre el tema, “refleja las principales dificultades en la industria de la energía nuclear: datos disponibles inadecuados y la brecha tecnológica y económica entre el diseño y el rendimiento”.¹¹⁸

Los problemas de la energía nuclear comprometieron a todo el sector. Las empresas de servicios públicos sufrieron un impacto negativo en su viabilidad financiera y una pérdida de confianza pública.

La máxima del inversor de que las compañías eléctricas “nunca perdían dinero ni quebraban” se había topado con una nueva y preocupante realidad. Y la industria nuclear estadounidense, que había empezado el juego con todas las cartas en la mano, había perdido su prestigio en el...

mercado global competitivo.¹¹⁹

Sobrerregulación

Los subsidios gubernamentales a los reactores comerciales crearon el problema. La microrregulación desde Washington, D.C., lo empeoró.

Desde el principio se manifestaron preocupaciones sobre una posible sobrerregulación de la energía nuclear comercial.¹²⁰ ¿Cómo lograrían los líderes de la industria y los reguladores las mejores prácticas? Desafortunadamente, la legislación antimonopolio impidió un frente unido, obligando a unas 15 empresas de servicios públicos interesadas a colaborar con los proveedores para elegir la tecnología preferida.

La primera audiencia de seguridad de la AEC fue en 1953. Con la llegada del mercado, era hora de codificar “normas, códigos, criterios y guías”.¹²¹ Las primeras normas de radiación de la AEC, que iban desde la protección de los trabajadores en el lugar hasta la población general, llegaron a principios de 1957.¹²² Esto guiaría a la Junta de Seguridad Atómica y la Junta de Licencias, creadas dentro de la AEC en 1962.

El efecto de arrastre de las Cuatro Grandes (Westinghouse, GE, Babcock & Wilcox y Construction Engineer) abrumó a la AEC.¹²³ «Los diseños en constante evolución generaron problemas de seguridad imprevistos». ¹²⁴ El resultado «fue excesivamente conservador e impredecible», señaló Thomas Wellock. «La AEC creía que no había coherencia en los diseños, los proveedores creían que no había coherencia en la regulación». ¹²⁵

Price-Anderson puso a los reguladores al mando, no a las empresas ni a las aseguradoras. El resultado fueron edictos cada vez más estrictos, un trinquete regulatorio, que

No fue impulsado por nueva información científica o tecnológica, sino por la preocupación pública y la presión política que generó. Cambiar las regulaciones a medida que se dispone de nueva información es un proceso normal, pero normalmente funciona en ambos sentidos. El efecto de trinquete, que solo produce cambios en una dirección, fue un aspecto anormal de la práctica regulatoria, injustificado desde un punto de vista científico. Fue un fenómeno estrictamente político.¹²⁶

El sistema regulador era “el modo de actuar de las instituciones de gobierno”.

Comienzan dedicándose a un propósito mayor y terminan sirviéndose a sí mismos... Así fue con la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos y su organismo de control en el Congreso, el Comité Conjunto de Energía Atómica.¹²⁷

En el pantano de Washington estaba

una camarilla proteccionista fanáticamente defensiva de burócratas con experiencia que han obtenido seguridad laboral y prestigio de los logros milagrosos del Proyecto Manhattan hace más de veinticinco años, y cuyos mejores esfuerzos desde entonces se han dividido entre aventuras tecnológicas tremendamente inapropiadas y la justificación de sus errores pasados.¹²⁸

El conservadurismo regulatorio —peor aún, demasiado estricto— resultó en regulaciones altamente prescriptivas,

Control legalista y orientado a las normas desde Washington, D. C. "Los efectos de esta orientación", resumió James M. Jasper, "incluyen normas complejas; oportunidades de participación pública; relaciones adversarias en lugar de cooperativas entre los reguladores y las industrias; un papel importante para los abogados en lugar de los expertos técnicos; se espera que los inspectores sigan las normas en lugar de ejercer su discreción; y un papel importante para los tribunales, ya que las agencias reguladoras pueden ser demandadas por procedimientos administrativos indebidos". 129

La seguridad nuclear fue revisada en un libro de 1988, " En busca de la seguridad". El autor Aaron Wildavsky cuestionó la estricta regla de aversión que ignora la realidad de la incertidumbre irresoluble, el coste de oportunidad y las compensaciones. El riesgo tolerable era la respuesta correcta a los antitecnólogos que defendían la ausencia de riesgo.130

Cuando el costo de oportunidad de un riesgo es otro riesgo, o simplemente la pérdida de una mejora humana, entonces «asumir riesgos puede mejorar la seguridad, y... los 'riesgos de seguridad' pueden ser perjudiciales». 131 La energía nuclear fue un claro ejemplo. Demasiados dispositivos, revisiones y procedimientos de seguridad («regulación prescriptiva detallada») pueden impedir la generación de electricidad que, de otro modo, se generaría mediante métodos más arriesgados o costosos. 132

Reconociendo la seguridad como un proceso empresarial de descubrimiento, Wildavsky concluyó:

¿Deberíamos considerar la seguridad como algo que ya sabemos cómo lograr, y apuntar directamente a ella mediante un comando central? ¿O deberíamos verla como algo en gran parte desconocido, y apuntar a su logro indirectamente mediante un proceso descentralizado de descubrimiento?

La viabilidad económica de la energía nuclear no fue objeto de la crítica anterior. Sin embargo, para las operaciones nucleares existentes, la cuestión era primordial.

"Reformar el proceso de licenciamiento de reactores ha sido una aspiración de cinco presidentes", Terence Price escribió en 1990. Tener una licencia en lugar de dos (porque dos habían permitido "una medida de 'diseño sobre la marcha'" en los primeros años), además de terminar con las reformas obligatorias, podría reducir el tiempo de construcción a "seis años razonables". 134 Lo que antes habían sido cinco años ahora era al menos el doble.

Los estándares estrictos perjudicaron la seguridad. Las reglas de la NRC se convirtieron en el máximo, no el mínimo.135 «La fijación de la industria con las regulaciones de la NRC», explicó Joseph V. Rees, fomentó el comportamiento autónomo en lugar de un «estándar de excelencia» para toda la industria.136 El conocimiento y el juicio sobre el terreno fueron regulados.

En 1985, el ingeniero de proyectos nucleares John Crowley testificó ante el Congreso sobre una industria "que alguna vez fue saludable y llena de promesas, pero que ahora se encuentra en crisis", evidenciada por "costos de construcción en aumento, plazos prolongados, una percepción pública generalmente negativa y un entorno regulatorio cada vez más difícil". 137

En lugar de establecer requisitos de diseño heredados al inicio de la construcción, los reguladores federales emitieron nuevas reglas que requerían "un nuevo análisis y rediseño de numerosos otros sistemas y sus soportes", lo que él llamó el "efecto dominó". 138

El tiempo total de construcción se duplicó o triplicó en comparación con lo que había sido antes. lo que era actualmente en Francia, gracias a “un clima regulatorio no adversario” y a la “estabilización y estandarización de sus diseños”.

“Las regulaciones federales solían ocupar dos volúmenes en nuestros estantes”, relató Crowley.

“Ahora tenemos 20 volúmenes para explicar cómo utilizar los dos primeros volúmenes”.¹³⁹

¿Qué hay del desarrollo nuclear en el extranjero, a menudo facilitado por la financiación del Banco de Exportación e Importación de Estados Unidos? La respuesta de Francia al embargo petrolero árabe ofrece un ejemplo de una energía nuclear mejorada. Sin embargo, la transición del país de los combustibles fósiles a la energía nuclear, que resultó en 50 reactores para 1987, no fue necesariamente económica.

“Ningún otro país ha igualado su firme búsqueda de un objetivo energético nacional acordado”, señaló Terence Price.¹⁴⁰ No se trataba de un mercado libre, sino de una planificación centralizada gubernamental a cargo de Électricité de France SA (EDF). La estandarización, si bien beneficiosa, fue alegada por sus “detractores” como una “megalomanía tecnocrática” con un coste “enorme”.¹⁴¹ “La deuda contraída durante la transición de Francia a la energía nuclear —232 000 millones de francos a finales de 1989— es criticada por los opositores a la energía nuclear por haber “desplazado” inversiones más rentables”.¹⁴²

Pero en general fue un éxito tecnológico, económicamente sostenible y sin el costo de oportunidad del enfoque estadounidense de heterogeneidad de diseño y microrregulación.

III. BÚSQUEDA DE LA COMPETITIVIDAD

Las modernizaciones permitieron que los proveedores de energía nuclear siguieran adelante ante la ausencia de nuevos pedidos en la década de 1990.

¿Qué podría revitalizar el crecimiento industrial en Estados Unidos? El reactor reproductor rápido no lo era, y la fusión nuclear estaba estancada en el laboratorio.¹⁴³ La simplificación para reducir costos y tiempos de construcción fue muy debatida, pero no se materializó. Una regulación racionalizada era una esperanza perenne, pero la inercia prevaleció. La única salida para la actividad industrial residía en mejorar las operaciones.

En 1991, la Estrategia Nacional de Energía del presidente George H. W. Bush lamentó “la pausa en la reconstrucción de nueva capacidad nuclear”. La NES atribuyó la “pérdida de confianza pública” a un “proceso de licencias imposiblemente engorroso” y a problemas no resueltos como la eliminación de residuos. 144

El manifiesto recomendaba reformas generales (“eliminar las barreras regulatorias e institucionales indebidas”). El informe también citaba el trabajo de la NRC sobre reactores de agua ligera de “próxima generación”, que se espera generen nuevas entradas sustanciales para 2010.¹⁴⁵ Esta I+D esperaría a la Ley de Política Energética de Bush II de 2005 para generar nuevas entradas.

Competencia de combustibles fósiles

Una de las razones de los reactores nucleares civiles era complementar, y eventualmente reemplazar, la generación de energía a partir de combustibles fósiles. El pico del petróleo y el pico del gas aparentemente llegó en la década de 1970, y

Varias décadas después. Pero la desregulación de la década de 1980 puso fin a la escasez de petróleo y gas, y la tecnología mejoró con la perforación direccional y, posteriormente, la fracturación hidráulica.

(La abundancia de carbón nunca estuvo realmente en duda.) El recurso último del ingenio humano bajo la libertad económica superó los límites de la naturaleza.

La comercialización nuclear socavó la generación de combustibles fósiles desde el principio. «La capacidad de la industria del carbón para financiar nuevas minas o equipos mineros se ve afectada negativamente por las reclamaciones infundadas de energía nuclear», se quejó la Asociación Nacional del Carbón en 1963, «y la financiación de nuevas centrales eléctricas convencionales también se ve afectada por la idea errónea de que la energía nuclear podría dejarlas obsoletas en poco tiempo». 146

Un segundo perdedor fue el gas natural, una tecnología emergente. Las turbinas simples surgieron de la tecnología de propulsión a chorro de tiempos de guerra. En 1949, la planta de gas Belle Isle de 3,5 MW, construida por GE para Oklahoma Gas & Electric, funcionó con éxito durante décadas. Una década después, la capacidad total de 240 MW se vio eclipsada por las turbinas de petróleo, por no hablar de las turbinas de vapor e hidroeléctricas de carbón, que eran pilares fundamentales.

En 1965, un apagón en el noreste, que afectó a treinta millones de clientes, reveló la necesidad de contar con unidades de gas natural de pico que pudieran encenderse rápidamente en caso de emergencia.

La capacidad de generación a gas natural de 1.300 MW aumentaría a 43.500 MW una década más tarde.¹⁴⁸

Pero la interrupción del suministro de gas debido a los controles de precios federales en los mercados interestatales impulsaría la demanda hacia el carbón durante el resto de la década, retrasando la implementación de nuevas tecnologías de cogeneración y ciclo combinado de combustión limpia y eficiente.¹⁴⁹

Con la desregulación de precios de la década de 1980, comenzó la "carrera por el gas". Las turbinas de gas que abastecían las horas punta se modernizaron para proporcionar generación de rango medio y, al igual que las centrales nucleares, de carga base.¹⁵⁰ El petróleo también podría sustituir al gas en las plantas de combustible dual.

Con el estancamiento de la entrada de reactores nucleares, las tecnologías de gas natural florecieron hasta que la energía eólica y solar, con ventajas gubernamentales, desplazó la generación térmica de la red. El auge de la cogeneración/ciclo combinado, en retrospectiva, podría haber ocurrido décadas antes de no ser por el desplazamiento de la energía nuclear.¹⁵¹ Ahora, la mejor tecnología tenía otro enemigo político.

“Renacimiento nuclear” I (Ley EPAAct de Bush de 2005)

En 2001, el informe sobre energía del presidente George W. Bush al Congreso declaró “la expansión de la energía nuclear en los Estados Unidos como un componente importante de nuestra política energética nacional”.¹⁵² Se propusieron nuevas licencias aceleradas y otras medidas para la capacidad existente, pero no se mencionaron nuevos subsidios para incentivar nuevas construcciones.

Esto cambió en el segundo mandato de Bush. El Título VI de la Ley de Política Energética de 2005 incluyó subsidios federales para la construcción de hasta seis nuevos reactores "avanzados", así como nuevos fondos para la investigación y el desarrollo de la "Generación IV".¹⁵³ El Crédito Fiscal a la Producción (CFP), de 1,8 centavos por kWh, aplicable a las energías renovables, se ofreció a los nuevos participantes con tecnología "avanzada" durante los primeros ocho años de operación.

Debido a los altos costos y la incertidumbre en su rendimiento, la Generación IV necesitaba apoyo internacional. El Departamento de Energía de Estados Unidos creó el Foro Internacional de la Generación IV, seguido de una asamblea similar por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica al año siguiente.¹⁵⁴

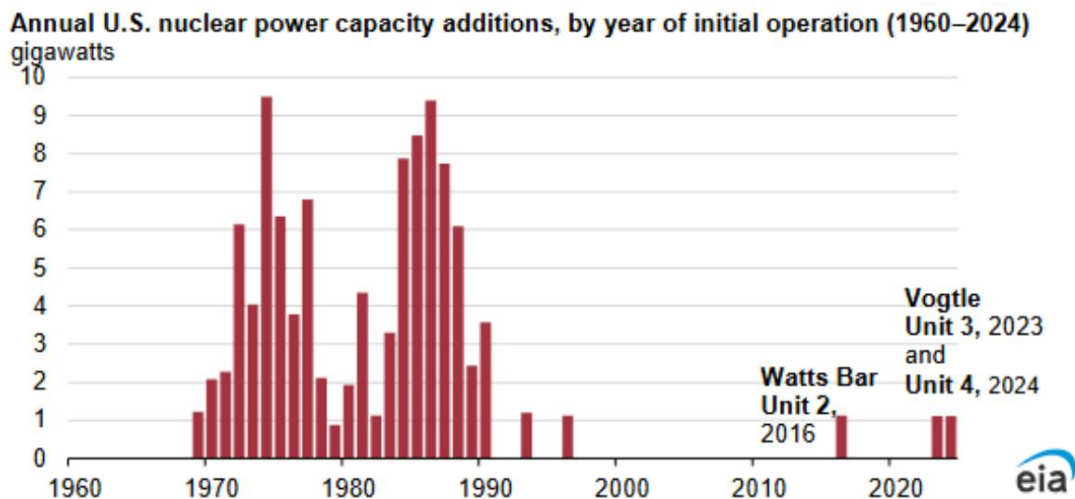
En respuesta a las garantías de préstamos, la repartición de costos y el PTC, se presentaron 18 propuestas para 29 nuevos reactores, y la NRC emitió ocho licencias para 14 proyectos.¹⁵⁵ Se estimó que una nueva planta de 1.000 MW costaría entre 1.500 y 2.000 millones de dólares, y se esperaba que su construcción llevara cinco o seis años, según los promotores nucleares en el momento de la EAct 2005.¹⁵⁶ Cuatro nuevos participantes, incluso con costos presupuestados más altos, descubrirían lo optimista que era esto.

Los reactores gemelos de 1100 MW, Summer 2 y Summer 3 en Carolina del Sur, se abandonaron durante la construcción. Cuatro años y 9000 millones de dólares (casi el coste original del proyecto) no fueron suficientes para continuar, dados los 14 000 millones de dólares estimados para su finalización. Las obras se detuvieron en 2017 cuando la promotora Westinghouse se declaró en quiebra.

Dos proyectos completados, Vogtle n.º 3 y n.º 4 en Georgia, fueron prácticamente abandonados. El proyecto de 2200 MW tenía un presupuesto de 14 000 millones de dólares a lo largo de siete u ocho años, a partir de 2009. El proyecto se completó en 2023/24 por 35 000 millones de dólares. Sin embargo, no antes de que Westinghouse se declarara en quiebra con su aclamada tecnología de reactor de agua a presión AP1000 Generación III+, dejando a los contribuyentes en apuros a pesar de las deducciones de costos relativamente pequeñas contra Georgia Power.¹¹

“Se suponía que EACT 2005 mantendría la buena racha de la industria nuclear fomentando la inversión continua”, declaró Jack Spencer. “En cambio, logró lo contrario”.¹⁵⁸

Una combinación letal de subsidios y exceso de regulación ha cobrado sus últimas víctimas.



Fuente: Administración de Información Energética de EE. UU.

La entrada se logró tras décadas de estancamiento (véase más arriba), pero a un alto coste. La entrada en servicio de nuevos reactores en la(s) próxima(s) década(s) es una cuestión política, no solo de mercado.

El "renacimiento" tuvo un impacto negativo en la capacidad: los reactores nucleares, que alcanzaron un máximo de 112 unidades en 1990, se reducirían a 94, lo que refleja el estancamiento de la industria y las jubilaciones anticipadas. El reactor Vermont Yankee se cerró en 2014 debido, en parte, a las protestas de grupos de presión ambiental. Trece reactores entraron en desmantelamiento en la década que finaliza en 2022, la mayoría de forma prematura debido a la competencia subvencionada de la energía eólica y solar, un legado de la Ley de Política Energética de 1992 (Bush I). Se perdieron alrededor de 10.000 MW de "energía fiable y limpia", la mayor parte durante el segundo mandato de Obama (2009-2017) debido a la avalancha de energías renovables.¹⁵⁹

La capacidad nuclear retirada transfirió parte, si no mucha, de la generación a las plantas de combustibles fósiles, una ironía de la política energética de Obama y del secretario del Departamento de Energía, Chu, que era "algo menos sobre energía y más sobre un sistema de creencias". 160

En junio de 2017, el presidente Trump anunció "seis nuevas iniciativas para... comenzar a revitalizar y expandir nuestro sector de energía nuclear... que produce energía eficiente, renovable y libre de emisiones". 161 Pero con los problemas de Summer-Vogtle ya manifiestos, poco se podía hacer. Lo que era cierto en la década de 1980 ("... la energía nuclear es una industria cada vez más madura: hay pocas sorpresas técnicas nuevas que reportar, simplemente una consolidación constante y un desarrollo gradual"¹⁶²) no había cambiado.

"Lo que se presenta como simple, económico y casi listo para el mercado siempre parece en realidad ser complicado y costoso, y nunca está del todo listo para el mercado". 163 El anunciado "renacimiento nuclear" a partir de la legislación de 2022 está demostrando ser un espejismo familiar.

"Renacimiento nuclear" II (Acuerdo de Independencia de Biden para 2022)

La Ley de Reducción de la Inflación de 2022, el punto culminante del impulso de la "transición energética" del gobierno federal, fue un salvavidas para la energía eólica, solar y otras energías y tecnologías favorecidas. La energía nuclear demostró una vez más su apoyo político bipartidista, con generosos subsidios en busca de otro período de crecimiento.

La Ley implementó un PTC de ocho años de \$0.015 por kWh desde 2024 hasta 2032. Para nueva capacidad "avanzada", se otorgó un crédito de \$0.025 por kWh durante los primeros 10 años de operación, a partir de 2025. La Oficina de Programas de Préstamos del DOE recibió hasta \$40 mil millones en autoridad de préstamo adicional de la sección 1703, disponible hasta septiembre de 2026. Además, la IRA extiende el Crédito Fiscal a la Inversión del 30 por ciento (y hasta el 40 por ciento) para las instalaciones que comienzan a construirse antes de 2025 (no se materializan) y un crédito "tecnológicamente neutral" para la energía nuclear avanzada para el ingreso posterior a 2025.

La nueva esperanza eran los pequeños reactores modulares (SMR), otra apuesta gubernamental de principio a fin. «Gran parte de la investigación y el desarrollo inicial se realiza a costa del contribuyente», señaló un crítico.

El diseño del reactor NuScale, por ejemplo, fue el resultado del proyecto Multi-Application Small Light Water Reactor financiado por el Departamento de Energía de los EE. UU. y llevado a cabo en gran medida en dos instituciones públicas: el Laboratorio Nacional de Idaho

y la Universidad Estatal de Oregón. Asimismo, las herramientas de realidad virtual utilizadas por empresas como Westinghouse... fueron financiadas por el Departamento de Energía y se llevaron a cabo en otra universidad pública, la Universidad Estatal de Pensilvania.¹⁶⁴

TerraPower, Transatomic, NuScale: los SMR son una inversión financiada por los contribuyentes, no impulsada por el mercado, y no son comercialmente viables. «A finales de la década de 1980», señaló Vaclav Smil, «también quedó claro que la segunda opción para la segunda era nuclear, el despliegue de reactores de fisión mucho mejor diseñados, más pequeños y económicos, pero más fiables e inherentemente seguros, no se materializará en un futuro próximo». ¹⁶⁵ Hasta la fecha, ninguno de los proyectos propuestos ha entrado en construcción, y mucho menos en servicio.

“Renacimiento nuclear” III (Trump II)

El gobierno federal sigue persiguiendo el sueño nuclear. Cuatro órdenes ejecutivas del presidente Trump, en palabras del Departamento de Energía, “establecen un plan para modernizar la regulación nuclear, agilizar las pruebas de reactores nucleares, desplegar reactores nucleares para la seguridad nacional y revitalizar la base industrial nuclear”. ¹⁶⁶ Los proyectos internacionales de empresas estadounidenses recibirán apoyo financiero y técnico de las agencias de Trump, y uno de los objetivos es “al menos 20 nuevos Acuerdos internacionales de Cooperación Nuclear Pacífica para el cierre del 120.º Congreso para permitir que la industria nuclear de los Estados Unidos acceda a nuevos mercados en países socios”.

La “nueva y audaz estrategia para liberar la energía estadounidense y continuar el dominio de nuestra nación como líder mundial en energía nuclear” es un estribillo uniformizado por la historia.

“En la actualidad, los responsables políticos estadounidenses están redoblando sus esfuerzos en este sentido... utilizar el dinero de los contribuyentes para impulsar la industria de los reactores nucleares avanzados”, advirtió Jack Spencer. “Cientos de miles de millones de dólares en préstamos respaldados por los contribuyentes están ahora disponibles para financiar proyectos nucleares, 2.500 millones de dólares están disponibles para financiar plantas de demostración y se han autorizado una plétora de subsidios fiscales”. ¹⁶⁷

Los subsidios a la energía nuclear también influyen en las reposiciones. En Michigan, la planta nuclear Palisades de 777 MW, cerrada en 2022, planea reiniciar sus operaciones en los próximos años gracias a un préstamo del Departamento de Energía (DOE) de 1.520 millones de dólares, así como a 300 millones de dólares del estado de Michigan. El Departamento de Agricultura de EE. UU. ha asignado además 1.300 millones de dólares a dos cooperativas eléctricas rurales para comprar energía de Palisades. ¹⁶⁸ Más recientemente, se aprobó un préstamo de mil millones de dólares como parte del programa de Financiamiento de Dominio Energético de la Ley Big Beautiful para reiniciar un reactor de Three Mile Island, como parte de un esfuerzo para que la fisión alimente nuevos centros de datos.

Y una reorganización ha creado una Oficina de Fisión dentro del Departamento de Energía.

Las políticas favorables deben afrontar y superar el statu quo de la sobrerregulación. «A junio de 2024», señala Spencer, «la NRC enumeró más de ochenta fuentes de regulación, incluyendo más de dos mil páginas de leyes, tratados, estatutos, autorizaciones, órdenes ejecutivas y otros documentos. ¹⁶⁹

IV: FRACASO Y REFORMA

Nadir de Three Mile Island

En la década de 1970, la utilización promedio de los reactores estadounidenses fue inferior al 60 por ciento, en comparación con el 70 por ciento esperado, como resultado de una "poca atención a la calidad", incluidas "pruebas inadecuadas de las válvulas, falta de atención a la posibilidad de agrietamiento por corrosión bajo tensión y vibración inducida por el flujo, y subestimación de la importancia de la química del agua". 170

Luego vino un acontecimiento en 1979 que sacudió a los reguladores y a las empresas de servicios públicos hasta sus cimientos.

El accidente de Three Mile Island inspiró la formación del Instituto de Operaciones de Energía Nuclear (INPO), una burocracia reguladora privada creada por la propia industria nuclear. 171 Cincuenta y cuatro empresas de servicios públicos finalmente hicieron lo que debería haberse hecho hace décadas: colaborar. Después de todo, el peor reactor podría desprestigiar a los otros cien y poner al público y a los reguladores en contra de las empresas de servicios públicos. Y la Unidad 2 de 900 MW en Middletown, Pensilvania, con una limpieza de 12 años por delante y un coste de casi mil millones de dólares, hizo precisamente eso.

El cumplimiento de las normativas había sacado a la luz lo peor de la gestión. La energía nuclear era demasiado compleja y experimental para las empresas de servicios públicos tradicionales y los reguladores de Washington, D. C.

La INPO buscó estándares de excelencia suprarregulatorios¹⁷² mediante el conocimiento compartido de empleados cedidos bajo una gestión neutral. Funcionaría, y los críticos de la energía nuclear incluso sugieren que la INPO reemplace a la NRC.¹⁷³

Por su parte, la NRC se dio cuenta de que su enfoque en el hardware no se reflejaba en la institución que utilizaba la tecnología.¹⁷⁴ Los procesos y la cultura de gestión eran clave, lo que implicó relegar la regulación a un segundo plano para liberar el conocimiento sobre el terreno y facilitar la mejora espontánea. Se evitó una oleada de edictos técnicos elaborados por la NRC tras el desastre de Three Mile Island.

La regulación comunitaria del INPO estaba orientada a la operación continua.¹⁷⁵ Las interrupciones no planificadas se redujeron a la mitad en la década de 1980.¹⁷⁶ La utilización promedio, que había alcanzado su punto máximo en 1977-78, se reanudó a finales de la década de 1980 y mejoró posteriormente. Los factores de capacidad superaron el 70 % a principios de la década de 1990 y el 80 % a finales de la década. La capacidad alcanzó el 90 % por primera vez en 2002 y se ha mantenido por encima de ese nivel desde entonces.

Los frutos del INPO estaban dando sus frutos, pero también lo estaba el aumento de incentivos. Con más reactores convirtiéndose en plantas comerciales sin regulación de precios, los propietarios que buscaban maximizar sus ganancias hicieron lo correcto. Esto funcionó hasta que se produjeron retiros prematuros de reactores debido a los menores márgenes de beneficio de las instalaciones eólicas y solares subvencionadas por el gobierno.

La Asociación Nuclear Mundial informó de "avances notables en la utilización de las centrales eléctricas [estadounidenses] gracias a mejores sistemas de reabastecimiento de combustible, mantenimiento y seguridad en las centrales existentes".

Los costos promedio de generación nuclear han bajado de \$51,22/MWh en 2012 a \$30,92/MWh en 2022. Esta reducción del 40% en los costos de generación nuclear desde entonces

El año 2012 estuvo impulsado por una disminución del 41% en los costos de combustible, una disminución del 51% en los gastos de capital y una disminución del 33% en los costos operativos.

Una mayor eficiencia permitió a la energía nuclear conservar su cuota de mercado del 20 % en la creciente generación estadounidense. «Es como si el parque nuclear se hubiera duplicado sin llegar a construir nuevas plantas». 177

Error de experto

“En los consejos de gobierno, debemos protegernos de la adquisición de influencia injustificada, ya sea buscada o no, por parte del complejo militar-industrial”, advirtió el presidente Eisenhower seis años después de su discurso Átomos para la Paz. “El potencial para el desastroso ascenso del poder desproporcionado existe y persistirá”.

Ike no se imaginaba que sus ambiciones nucleares civiles generarían su propio complejo de poder, con el gobierno habilitando una nueva industria mientras la voz invisible del libre mercado decía: todavía no, ve despacio, espera y ve. ¹⁷⁸

Entra en escena el fracaso experto, definido como “cualquier desviación de una expectativa normativa asociada con el asesoramiento del experto”, dentro del enredado estado profundo. ¹⁷⁹

Quienes recibieron pagos para compartir sus conocimientos fracasaron repetidamente. ¿Qué dosis de radiación de un reactor nuclear era segura? Las teorías en pugna resultaron en un veredicto erróneo (el modelo lineal sin umbral).

¿Cuál fue el costo de un nuevo reactor? Otra vez equivocado, desde los contratos llave en mano de GE y Westinghouse en la década de 1960 hasta los proyectos conforme a la EPAct de 2005.

¿Qué regulación modificada fue necesaria para garantizar la seguridad? Una gran cantidad de regulación compleja provino de la Comisión de Energía Atómica y su sucesora, la Comisión Reguladora Nuclear, en sus publicaciones (Opiniones, Decisiones, Directivas, Directrices, Peticiones, Reglamentos).

“Cuando los expertos no están de acuerdo, ¿a quién debemos creer?”, preguntaban los editores de un libro de 1982 sobre los pros y los contras de la energía nuclear.¹⁸⁰ Al explorar el fracaso de los expertos varias décadas después, Roger Koppl diferencia entre el conocimiento impuesto al sistema desde arriba y el conocimiento de abajo hacia arriba, fragmentado e incluso inarticulado, que fluye como señales de precios y ganancias/pérdidas.¹⁸¹

El error de los expertos prospera allí donde “el dominio del objeto es complejo, incierto, indeterminado o ambiguo”, explica Koppl, donde “los mecanismos de retroalimentación pueden ser débiles o estar totalmente ausentes”. ¹⁸² Esto ciertamente se aplica a la comercialización nuclear, donde los resultados naturales fueron anulados por legisladores impulsados por empresas con intereses propios.

Los científicos se sumaron, fascinados por un nuevo dominio y en busca de “identidad, simpatía, aprobación y elogio”. ¹⁸³

En el mundo mágico de la electricidad, las grandes empresas se unieron. Pero se requirió una importante intervención gubernamental a nivel federal y estatal para que el error experto prevaleciera. El consejo final de Koppl: «Valora la experiencia, pero teme el poder experto». 184

Reforma de políticas públicas

“Derogar la Ley Price-Anderson y utilizaría la amenaza de responsabilidad por accidentes para disciplinar las actividades nucleares del sector privado”, escribió un autor progresista de izquierda hace casi 30 años. “Exigiría que las empresas de servicios públicos y los inversores nucleares asumieran la totalidad de los costes de cualquier proyecto futuro de energía nuclear y los riesgos de sobrecostes”. 185 Esta es también la visión liberal clásica del libre mercado frente a la visión bipartidista de la reforma y los subsidios gubernamentales, que refleja el optimismo tecnológico de algunos y la desconfianza en la generación de energía a partir de combustibles fósiles de otros.

Sin embargo, el espíritu de un cambio fundamental hacia un mercado libre acecha. «Los responsables políticos deberían crear un marco completamente nuevo para la energía nuclear comercial», afirma el defensor de la energía nuclear Jack Spencer, «que esté totalmente arraigado en la libre empresa, la innovación y la competencia». 186

¿Qué reformas específicas se requieren? En primer lugar, la industria nuclear debería retirarse del apoyo gubernamental, tanto a nivel nacional como internacional (a través del EXIM). Tres reactores propiedad de la Autoridad del Valle de Tennessee, perteneciente al gobierno estadounidense, deberían venderse y quedar bajo gestión privada. La política gubernamental, a todos los niveles, debería ser neutral respecto a todas las energías y tecnologías relacionadas, incluida la energía nuclear.

Las actividades de promoción nuclear dentro del Departamento de Energía de los Estados Unidos deberían terminar, mientras que la Comisión Reguladora Nuclear debería eliminar sus programas civiles, dejando las actividades relacionadas con lo militar para transferirlas al Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

Retirar la financiación de la energía nuclear civil para poner fin a los programas de subsidios implicaría abandonar el límite sagrado de la Ley Price-Anderson de 1957 sobre la exposición a la responsabilidad civil nuclear, prorrogado siete veces hasta la fecha. Lejos de perturbar la industria, la eliminación de la Ley Price-Anderson podría ser beneficiosa para todos. Los fondos recaudados en el fondo nuclear (8000 millones de dólares) ayudarían a financiar la transición a un seguro totalmente privado. Cada propietario de un reactor obtendría un seguro y, de no ser así, asumiría una posible responsabilidad civil contra el capital de la empresa.

Los inversores y otros actores financieros juzgarían la fiabilidad y la seguridad, no Washington, D.C. La radiación (como el controvertido límite lineal sin umbral) y otras normas serían determinadas por las partes con base científica. ¿Qué opinaría un juez o un jurado al respecto?

El Instituto de Operaciones de Energía Nuclear, de carácter cuasi gubernamental, mencionado anteriormente, sería fundamental en un entorno posterior a la NRC. La experiencia y la reputación del INPO hacen que esta transición sea viable y atractiva.

“Para lograr condiciones de libre mercado para la energía nuclear”, en la estimación de Spencer,

El gobierno federal debe crear un entorno regulatorio predecible y razonable, implementar un programa de gestión de residuos basado en el mercado y dejar de subsidiar tecnologías y empresas específicas. Quizás lo más importante es que Washington debe dejar de subsidiar a los competidores de la energía nuclear.¹⁸⁷

El retiro prematuro de la capacidad nuclear de los subsidios a la energía eólica y solar, concretamente el Crédito Fiscal a la Producción y el Crédito Fiscal a la Inversión, cesaría. La energía nuclear ya no recibiría los mismos subsidios que actualmente contempla la Ley de Reducción de la Inflación de 2022.

“Nadie sabe realmente cuán económica (o no) podría ser la energía nuclear si se permitiera su existencia en un mercado libre”, admite Spencer. ¿Se obstaculizaría la entrada de nuevos reactores? Ese veredicto depende de las condiciones del libre mercado, sin subsidios por un lado y sin sobreregulación por el otro.

V. CONCLUSIÓN

La búsqueda constante de una política energética nacional —un enfoque gubernamental centralizado que subvenciona algunas energías y/o penaliza otras— ha incluido de forma destacada la comercialización nuclear. La energía nuclear recibió casi todos los fondos federales para investigación y desarrollo relacionados con la energía en la segunda mitad del siglo XX.¹⁸⁸ Hoy, bajo el gobierno de Trump II, los subsidios nucleares han vuelto a cobrar importancia.

¿Ha tenido éxito esta importante incursión gubernamental? La sustitución de la energía nuclear por carbón y la nuclear por petróleo ha beneficiado la calidad del aire. Sin embargo, el compromiso de recursos de la energía nuclear, incluyendo los costos futuros de desmantelamiento, ha sido enorme, incluso sin precedentes. Esta prima económica es lo que podría haberse destinado a otros usos más importantes en un mundo de recursos escasos frente a necesidades ilimitadas. Un costo de oportunidad ha sido la mejora tecnológica y la modernización de las centrales de carbón para reducir las emisiones de contaminantes.

El pasado es un costo hundido. Se puede presumir que las centrales nucleares actualmente en funcionamiento son rentables. Ameritan poca oposición política o rencor ideológico. Su continuidad debe juzgarse en términos de ingresos incrementales frente a costos incrementales (incluidos los costos de desmantelamiento), con un tratamiento fiscal neutral entre las energías y tecnologías de generación de energía.

En cuanto a la nueva capacidad, los reactores de agua ligera aún no han demostrado su viabilidad económica frente a otras formas de generación térmica. El Reactor Modular Pequeño (SMR), actualmente en boga, es una tecnología de respaldo gubernamental para la generación eléctrica (rentable). En las economías de planificación nacional, por otro lado, los proyectos nucleares se eligen y se completan por razones propias.

Las tres dimensiones de la energía nuclear comercial son la ciencia, la tecnología y la economía.

“No hay que sobreenfatizar la ciencia ni subestimar la ingeniería”, advirtieron tres tecnólogos energéticos.¹⁸⁹ A esto se puede añadir: No hay que sobreenfatizar la ingeniería ni subestimar la economía. De las posibilidades tecnológicas, solo un pequeño subconjunto es económico, definido como la creación de más valor que el costo, en un mercado libre. En este sentido, Vaclav Smil ha calificado la energía nuclear como un fracaso exitoso, “un éxito parcial (aunque muy costoso).”¹⁹⁰

Economía Política 101 explica la promoción, e incluso la facilitación, de la energía nuclear no militar por parte del gobierno desde la década de 1950. El problema del conocimiento sobre la intervención gubernamental resultó en múltiples fallos de expertos. La complejidad generó consecuencias imprevistas de la intervención gubernamental. Ampliar la intervención gubernamental para abordar los problemas creados por interferencias previas los agravó e impidió una reforma fundamental.

La concentración de beneficios y la dispersión de costos impulsaron un mercado no mercantil. La captura regulatoria estuvo presente en ambos bandos en diferentes momentos, desde la industria regulada hasta el movimiento antinuclear. La economía mixta del capitalismo político proporcionó el marco, no la propiedad y el control gubernamentales, como algunos legisladores pretendían inicialmente.

Lo que los críticos llaman el Complejo Industrial Nuclear continúa con apoyo político bipartidista. Los ambientalistas críticos con la industrialización y el crecimiento ahora encuentran oposición por parte de otros grupos “verdes” que favorecen la energía nuclear como una fuente mucho mayor y escalable de electricidad libre de emisiones. Una verdadera solución de libre mercado aún no forma parte del debate.

“El primer paso para resolver la controversia nuclear”, señaló un estudio de hace más de 40 años, “es cerrar la brecha entre lo que saben los expertos y lo que el público necesita saber”. Esto debería haber sucedido desde el principio, añadieron los autores, para haber evitado gran parte del problema.¹⁹¹

Este problema persiste con declaraciones públicas optimistas de la industria y el gobierno, que no se acompañan de contratos viables ni de ejecución. La complejidad inherente de la fisión nuclear, en comparación con otras formas de generación térmica, sugiere un problema que no desaparecerá pronto.

Una reforma fundamental del libre mercado es la mejor manera de avanzar. Como se mencionó en la sección anterior sobre reformas políticas, los subsidios gubernamentales actuales deberían cesar y la supervisión regulatoria debería privatizarse en el (existente) Instituto de Operaciones de Energía Nuclear. Las plantas nucleares propiedad del gobierno bajo la Autoridad del Valle de Tennessee deberían venderse, y los programas extranjeros dependientes del banco EXIM deberían terminarse.

El parque nuclear existente (94 reactores) estaría sujeto a una prueba financiera en un mercado verdaderamente libre. La capacidad asequible cubriría los costos del seguro privado en lugar de la protección actual de Price-Anderson. Los fondos recaudados bajo la ley federal para el almacenamiento de residuos y el desmantelamiento futuro se devolverían a las empresas, manteniendo sus obligaciones intactas.

Los márgenes mejorarían con el fin de los precios predatorios de facto aplicados a la energía eólica y solar con ventajas fiscales, lo que evitaría el retiro prematuro de la energía nuclear (como en el pasado). Sin embargo, cesaría el crédito fiscal a la producción.

La nueva capacidad nuclear también estaría determinada por las fuerzas del mercado. Se eliminarían las actuales ventajas fiscales para nuevas inversiones, al igual que la investigación y el desarrollo financiados por el gobierno. Los subsidios a los seguros también desaparecerían por parte del gobierno, dejando en manos de acuerdos privados las operaciones nucleares supuestamente seguras.

«No es el empresario sobriamente calculador, sino el tecnócrata romántico el culpable de una engañosa incompreensión de la realidad», observó el economista Ludwig von Mises antes de la llegada de la energía nuclear. Con el átomo pacífico, el pensamiento romántico y mágico se impuso con la intervención gubernamental, asegurando su rápida introducción y crecimiento, y posteriormente el estancamiento y el bajo rendimiento.

La experiencia nuclear estadounidense hasta la fecha se ha caracterizado por fallos analíticos y gubernamentales. El fallo del mercado no fue el culpable. El futuro invita a un enfoque práctico, inédito y de dejar que el mercado decida en la política nuclear civil. Un enfoque liberal clásico se caracteriza por un gobierno imparcial, la neutralidad del contribuyente y la libertad de elección del consumidor. Se aguarda una reforma política fundamental para alcanzar estos objetivos.

Notas finales

- 1 Vaclav Smil, *Energy Myths and Realities: Bringing Science to the Energy Policy Debate* (Washington, DC: AEI Press, 2010), pág. 40. Autor de casi cincuenta libros, Smil es profesor emérito distinguido de la Facultad de Medio Ambiente de la Universidad de Manitoba en Winnipeg, Canadá.
- 2 Boyd Norton, "Breve historia: Los primeros años", en *Energía nuclear: ambos lados*, ed. Michio Kapu y Jennifer Trainer (Nueva York: W. W. Norton, 1982), pág. 15.
- 3 Norton, "Una breve historia", pág. 26.
- 4 Jack Spencer, *Nuclear Revolution: Powering the Next Generation* (Ottawa, Ontario, Canadá; y Washington, DC: Optimum Publishing, 2024), pág. xiv.
- 5 Spencer, *Revolución nuclear*, pág. xi.
- 6 Robert Zubrin, *The Case for Nukes* (Lakewood, CO: Polaris Books, 2023), pág. 248. Ingeniero nuclear de formación, Zubrin es más conocido como el fundador de la Mars Society.
- 7 James E. Hansen, *Tormentas de mis nietos: La verdad sobre la catástrofe climática que se avecina y nuestra última oportunidad para salvar a la humanidad* (Nueva York: Bloomsbury Press, 2009), págs. 200-204.
- 8 Bill Gates, *Cómo evitar un desastre climático: Las soluciones que tenemos y los avances que necesitamos* (Nueva York: Alfred A. Knopf, 2021), pág. 84.
- 9 Pete V. Domenici, *Un mañana más brillante: Cumpliendo la promesa de la energía nuclear* (Lanham, MD: Rowman & Littlefield, 2004), pág. 181.
- 10 Ralph Nader y John Abbotts, *La amenaza de la energía atómica* (Nueva York: WW Norton, 1977), pág. 368.
- 11 Nader y Abbotts, pág. 367.
- 12 Nader y Abbotts, pág. 369.
- 13 MV Ramana, *La energía nuclear no es la solución: la locura de la energía atómica en la era del cambio climático* (Nueva York: Verso, 2024), págs. 224, 231.
- 14 Al Gore, *La Tierra en equilibrio: ecología y espíritu humano* (Nueva York: Houghton Mifflin, 1992), págs. 317, 328.
- 15 Mark Z. Jacobson, *No se necesitan milagros: cómo la tecnología actual puede salvar nuestro clima y limpiar nuestro aire* (Nueva York: Cambridge University Press, 2023), págs. xv, 164–66.
- 16 El gasto nuclear estuvo estrechamente vinculado a Los Álamos Laboratorio Nacional (Nuevo México: establecido en 1943); Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee: establecido en 1943); Laboratorio Nacional de Argonne (Illinois: establecido en 1946); Laboratorio Nacional de Brookhaven (Nueva York: establecido en 1947); y Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (California: establecido en 1952).
- 17 Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, *Cuarto Informe Semestral* (Washington DC: GPO, 1948), pág. 48. Citado en Arjun Makhijani y Scott Saleska, *The Nuclear Power Deception* (Nueva York: Institute for Energy and Environmental Research, 1999), pág. 53.
- 18 Arjun Makhijani y Scott Saleska, *El engaño de la energía nuclear*, pág. 1. Makhijani es presidente del antinuclear Instituto de Investigación Energética y Ambiental. Saleska es profesor de ecología en la Universidad de Arizona.
- 19 Pub. L. 83-703, 68 Stat. 919 en 921 (1954).
- 20 George T. Mazuzan y J. Samuel Walker, *Controlando el átomo: Los inicios de la regulación nuclear, 1946–1962* (Berkeley, CA: University of California Press, 1984), págs. 21-22. Mazuzan y Walker eran entonces empleados de la Comisión Reguladora Nuclear. «Los fanáticos [pronucleares], incluyendo a muchos científicos e ingenieros prominentes... perseveraron hasta la década de 1970». Smil, *Mitos y realidades de la energía*, pág. 32.
- 21 David Lilienthal, el primer presidente de la AEC, se vio impulsado por la repulsión hacia las armas nucleares en este sentido, aunque no tuvo nada que ver con la decisión de usar la bomba en la Segunda Guerra Mundial. Vaclav Smil, *Inventión e Innovación: Una Breve Historia de la Exageración y el Fracaso* (Cambridge, MA: The MIT Press, 2023), pág. 81.
- 22 Mazuzan y Walker, *Controlando el átomo*, págs. 13, 22–23, 280, 313–14.
- 23 James M. Jasper, *Política nuclear: energía y Estado en los Estados Unidos, Suecia y Francia* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1990), pág. 43.
- 24 Glenn T. Seaborg, presidente de la Comisión de Energía Atómica, *Energía nuclear civil: un informe al presidente, 1962*. Carta de presentación, primera página, 20 de noviembre de 1962. 1962.
- 25 AEC, *Energía nuclear civil: un informe al Presidente, 1962*, pág. 5.
- 26 William Tucker, *Energía terrestre: cómo la energía nuclear*

- Liderará la revolución verde y pondrá fin a la odisea energética de Estados Unidos (Savage, MD: Bartleby Press, 2008), pág. 277.
- 27 Smil, Invención e Innovación, pág. 83. Al preguntársele sobre el alto costo en comparación con las centrales nucleares propuestas, cuyo costo proyectado era mucho menor, el gerente de construcción (John Gray) respondió: «Se construyó Shippingport y llevamos la contabilidad». Citado en Ramana, La energía nuclear no es la solución, pág. 213.
- 28 Richard Rhodes, Renovación nuclear: sentido común sobre la energía (Nueva York: Whittle Books, 1993), pág. 40.
- 29 Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, pág. 77.
- 30 Mazuzan y Walker, Controlando el Átomo, págs. 77 y 78. El programa finalizó en 1963. Los estados acogieron con beneplácito un nuevo y glamoroso campo tecnológico con subsidios esporádicos. Mazuzan y Walker, Controlando el Átomo, pág. 302.
- 31 Mazuzan y Walker, Controlando el Átomo, capítulo V. Una fusión parcial en el Fermi 1 de Detroit Edison en 1966 se describe en James Mahaffey, Accidentes Atómicos: Una Historia de las Fusiones Nucleares y Desastres (Nueva York: Pegasus Books, 2014), pp. 208-218. James Mahaffey, ingeniero nuclear, fue investigador principal del Instituto de Investigación de Georgia Tech durante 25 años.
- 32 Proyecto de Seguro Atómico, Informe preliminar sobre la protección financiera contra los riesgos atómicos (Nueva York: Atomic Industrial Forum, 1956), pág. 16. El autor principal, Arthur W. Murphy, fue profesor de derecho en la Universidad de Columbia.
- 33 Edward J. Calabrese, "LNT y la evaluación del riesgo de cáncer: sus fundamentos defectuosos. Parte I; Radiación y leucemia: dónde comenzó la LNT". Environmental Research 197 (junio de 2021), artículo 111025.
- 34 Mazuzan y Walker, Controlling the Atom, pág. 93. La predilección del sistema judicial privado hacia los daños excesivos por agravios estaba en segundo plano.
- 35 Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, capítulo IV.
- 36 Citado en Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, pág. 103.
- 37 Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, pág. 112.
- 38 Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, pág. 8.
- 39 Citado en Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, pág. 95.
- 40 Pub. L. 85-256, 71 Stat. 576 (1957). Las cifras en dólares pueden multiplicarse por diez para ajustarse a la inflación (dólares de 2025).
- 41 Wilson Clark, Energía para la supervivencia: la alternativa a la extinción (Garden City, NY: Anchor Books, 1974), pág. 278. Clark fue un consultor energético que asesoró al gobernador de California, Jerry Brown.
- 42 Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, pág. 199.
- Las ampliaciones del puente Price-Anderson continuaron en 1975 (12 años), 1988 (15 años), 2002 (una ampliación del puente de 17 meses), 2003 (una ampliación del puente de 14 meses), 2005 (20 años) y 2024 (40 años).
- 44 La revisión de 1964-65 de WASH-740 utilizó medidas extremas supuestas y sería reemplazado por el Informe Rasmussen en 1975 y luego actualizado en los informes de 1982 y 1991.
- 45 Mazuzan y Walker, Controlando el átomo, pág. 419.
- 46 Clark, Energía para la supervivencia, pág. 278.
- 47 Irvin C. Bupp y Jean-Claude Derian. Light Water: How the Nuclear Dream Dissolved (Nueva York: Basic Books, 1978), pp. 91-92. Bupp fue profesor en la Harvard Business School; Derian fue asesor científico del gobierno francés. Véase también Stephen Mark Cohn, Too Cheap to Meter: The Economic and Philosophical Analysis of the Nuclear Dream (Albany, NY: State University of New York Press, 1997), pp. 36, 39-40. Cohn fue profesor de economía "heterodoxo" (es decir, de izquierda radical) en el Knox College de Illinois. Too Cheap to Meter comenzó como su tesis de economía de 1986 en la Universidad de Massachusetts, bajo la tutela del marxista Samuel Bowles.
- 48 William J. Barber, "La política energética de Eisenhower: una intervención reticente", en Política energética en perspectiva: los problemas de hoy, las soluciones de ayer, ed. Craufurd D. Goodwin (Washington, D.C.: Brookings Institution, 1981), págs. 281-282. Barber fue profesor de economía en la Universidad Wesleyana de 1957 a 1993. La concesión de permisos fue muy laxa en el período posterior a la sentencia Price-Anderson. J. Samuel Walker, Containing the Atom: Nuclear Regulation in a Changing Environment, 1963-1971 (Berkeley: University of California Press, 1992), pág. 35. Walker fue el historiador oficial de la Comisión Reguladora Nuclear durante 31 años, de 1979 a 2010. Este libro es una secuela de Controlling the Atom, de Mazuzan y Walker.
- 49 Barber, "La política energética de Eisenhower", pág. 282.

- 50 Cohn, Demasiado barato para medir, pág. 32.
- 51 Thomas R. Wellock, ¿Suficientemente seguro? Una historia de la energía nuclear y el riesgo de accidentes (Oakland: University of California Press, 2021), pág. 15. Este contrato se ajustó a la inflación, pero por lo demás era llave en mano; los contratos posteriores omitieron las garantías de precio y entrega. (Wellock es el historiador oficial de la Comisión Reguladora Nuclear de EE. UU.)
- 52 "Discurso de graduación en Holy Cross College", 10 de junio de 1964, Documentos públicos de los presidentes: Lyn-don B. Johnson 1964 (Washington, DC: Oficina de Imprenta del Gobierno, 1965), págs. 763-64.
- 53 Alvin M. Weinberg y Gale Young, "La revolución de la energía nuclear — 1966", Actas de la Academia Nacional de Ciencias 57, n.º 1 (enero de 1967), pág. 1.
Weinberg y Young fueron físicos destacados asociados primero con el Proyecto Manhattan y más tarde con el Laboratorio Nacional de Oak Ridge.
- 54 Bupp y Derian, Light Water, págs. 42-44. Esta tecnología tuvo rivales, pero la temprana cooperación público-privada resultó en una intervención gubernamental que limitó a la industria a enfoques tecnológicos que definen principalmente la industria y las políticas actuales.

Spencer, Revolución nuclear, pág. 72.
- 55 Cohn, Demasiado barato para medir, págs. 32-33.
- 56 Cohn, Demasiado barato para medir, pág. 33.
- 57 Joseph V. Rees, Rehenes unos de otros: La transformación de la seguridad nuclear desde Three Mile Island (Chicago, IL: University of Chicago Press, 1994), pág. 13.
"Las campañas promocionales de la AEC, la JCAE y los vendedores de reactores ayudaron a inducir una psicología de arrastre entre las empresas pasivas". Cohn, Too Cheap to Meter, pág.
47 Las revistas especializadas y los materiales de AEC elogiaron "la tecnología venidera". Cohn, Too Cheap to Meter, 48, 50.
- 58 Cohn, Demasiado barato para medir, pág. 9.
- 59 Smil, Invención e innovación, pág. 85.
- 60 Philip Sporn, "Avances en la economía de la energía nuclear, enero de 1968-diciembre de 1969", Informe preparado para el Comité de Energía Atómica. Citado por H. Peter Metzger, The Atomic Establishment (Nueva York: Simon & Schuster, 1972), pág. 246. Sporn era un entusiasta de la energía nuclear, pero un realista económico.
- 61 "Cada planta nuclear de 1.000 MW puede reducir la demanda mundial de petróleo en 9,4 millones de barriles al año". Audiencias de supervisión sobre el Banco de Exportación e Importación: Audiencias ante Subcomité de Comercio Internacional, Inversiones y Política Monetaria del Comité de la Cámara de Representantes sobre Banca, Moneda y Vivienda, 94.º Congreso, 2.ª sesión, 10 y 11 de mayo de 1976 (Declaración de Stephan M. Minikes, Vicepresidente Sénior, Investigación y Comunicaciones, Export-Import Bank, 10 de mayo de 1976), pág. 159.
- 62 "Informe de la GAO al Congreso: Se necesita un sistema de información gerencial mejorado para el programa de préstamos de capital de los bancos de exportación e importación", 12 de febrero de 1973. Citado en Audiencias de Supervisión sobre el Banco de Exportación e Importación. Informe del personal y recomendaciones sobre el Banco de Exportación e Importación de Estados Unidos ("Participación del Exim en los préstamos para reactores nucleares: Panorama general"), pág. 83. El informe del personal consideró que la declaración de la GAO "podría no ser del todo exacta considerando el dominio estadounidense en el sector nuclear", pág. 83.
- 63 Audiencias de supervisión sobre el Banco de Exportación e Importación (declaración de Stephan M. Minikes), págs. 166-67.
- 64 Comparación de la financiación gubernamental de las exportaciones de reactores. Universidad de Columbia, Centro de Política Energética Global, agosto de 2022, pág. 28. EXIM sigue en el negocio con proyectos nucleares en mente, ensalzando sus más de cinco décadas de experiencia.
- 65 Audiencias de supervisión sobre el Banco de Exportación e Importación (Preguntas presentadas al Banco EXIM por el Presidente del Subcomité Thomas M. Rees [D-CA], junto con sus respuestas), pág. 206.
- 66 Nader y Abbotts, La amenaza de la energía atómica, pág. 298. El Departamento de Estado y la Administración de Investigación y Desarrollo Energético (fundada en 1975) también facilitaron proyectos nucleares extranjeros.
- 67 Vaclav Smil, Energías: una guía ilustrada de la biosfera y la civilización (Cambridge, MA: The MIT Press, 1999), pág. 152.
- 68 Jasper, Política nuclear, págs. 60-1.
- 69 Administración de Información Energética, Cancelaciones de plantas nucleares: causas, costos, consecuencias, DOE/EIA-0392 (Washington, DC: DOE, abril de 1983), px Preparado por la firma consultora de DC JA Reyes, investigador principal Robert L. Borlick.
- 70 Wellock, ¿Suficientemente seguro? pág. 78.
- 71 "Planta nuclear casi terminada será convertida para quemar carbón", New York Times, 22 de enero de 1984.
- 72 "Planta nuclear de Indiana a medio construir fue abandonada a un costo de 2.500 millones de dólares", New York Times, 17 de enero de 1984.

- Otros proyectos de reactores con problemas citados en este artículo fueron Shoreham (Long Island Lighting Company) y Seabrook (Public Service of New Hampshire).
- 73 Leslie Eaton, "Las empresas de servicios públicos se esfuerzan por vender reactores", *New York Times*, 14 de julio de 1994.
- 74 Richard C. Hellman y Caroline JC Hellman, *The Competitive Economics of Nuclear and Coal Power* (Lexington, MA: LexingtonBooks, 1983), págs. 4–7. Richard Hellman (1913–2005) fue profesor de economía en la Universidad de Rhode Island.
- 75 Vaclav Smil, *Energía, Alimentos, Medio Ambiente: Realidades, Mitos, Opciones* (Oxford: Oxford University Press, 1987), pág. 73. El proyecto del reactor reproductor del río Clinch, «el mayor proyecto de obras públicas de Estados Unidos», iniciado en 1971, se canceló en 1983 tras incurrir en costes de 8000 millones de dólares. Smil, *Inventos e Innovación*, pág. 90.
- 76 Jasper, *Política nuclear*, págs. 55–6.
- 77 Presidente Jimmy Carter, "Discurso pronunciado ante una sesión conjunta del Congreso sobre el Plan Nacional de Energía", 20 de abril de 1977. Citado en Jay E. Hakes, *Crisis energéticas: Nixon, Ford, Carter y las decisiones difíciles en la década de 1970* (Norman: University of Oklahoma Press, 2021), pág. 213. La directiva de Carter contra el reprocesamiento privado de combustible gastado "supuso uno de los mayores reveses para la industria". Spencer, *Revolución nuclear*, pág. 76.
- 78 Price, *Political Electricity*, pág. 108. Price (1921–2013) fue un asesor científico de alto rango del gobierno británico.
- 79 La campaña para el acceso abierto obligatorio se analiza en Robert Bradley, *Enron Ascending: The Forgotten Years* (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons/Scrivener Publishing, 2018), págs. 596–605. En esta reestructuración, las empresas de servicios públicos desagregaron las tarifas de transmisión, en lugar de una sola tarifa para los servicios básicos y de transmisión-distribución.
- 80 Cohn, *Too Cheap to Meter*, pág. 47. Véase *ibid.*, págs. 104-105 para errores de previsión de costes.
- 81 Spencer, *Nuclear Revolution*, pág. 19. Estas cifras provienen de la Administración de Información Energética (Departamento de Energía de EE. UU.).
- 82 "Locuras nucleares", *Forbes* (11 de febrero de 1985).
- 83 Michael Shellenberger, *Apocalipsis nunca: por qué el alarmismo ambiental nos perjudica a todos* (Nueva York: Harper-Collins, 2020), pág. 151.
- 84 Petr Beckmann, *The Health Hazards of Not Going Nuclear* (Boulder, CO: Golem Press, 1979, 1976), pág. El daño y la limpieza en TMI costaron mil millones de dólares, y 35 empresas de servicios nucleares formaron la empresa autofinanciada Nuclear Electric Insurance Limited, un paso hacia la autoayuda. Jasper, *Política nuclear*, pág. 212.
- 85 Kaku y Trainor, *Energía nuclear: ambos lados*, pág. 84.
- 86 Smil, *Mitos y realidades de la energía*, pág. 37. Setenta centrales de carbón también fueron canceladas en este período. Terence Price, *Electricidad política: ¿Qué futuro tiene la energía nuclear?* (Nueva York: Oxford University Press, 1990), pág. 10.
- 87 Citado en Kaku y Trainor, *Nuclear Power: Both Sides*, pág. 84.
- 88 Price, *Electricidad política*, págs. 227–28.
- 89 "La estandarización [del diseño] requiere la colaboración industrial, algo que la legislación antimonopolio estadounidense ha desalentado. Sin estandarización, no solo aumentan los costos de construcción (casi todos los reactores son prototipos únicos), sino que también se retrasa el proceso de aprendizaje, esencial para la seguridad". Price, *Political Electricity*, pág. 12.
- 90 Smil, *Energías*, pág. 152. Véase también Richard Hellman y Caroline JC Hellman, *The Competitive Economics of Nuclear and Coal Power*, pág. 7.
- 91 Para cinco tecnologías alternativas que no se probaron y que perdieron frente al reactor de agua ligera de Rickover, véase Thom-as H. Lee, Ben C. Ball Jr. y Richard D. Tabors, *Energy Aftermath: How We can Learn from the Blunders of the Past to Create a Hopeful Energy Future* (Boston, MA: Harvard Business School Press, 1990), pág. 84.
- 92 Cohn, *Too Cheap to Meter*, pág. 109. Véase también Hellman y Hellman, *The Competitive Economics of Nuclear and Coal Power*, págs. 17-18. «Históricamente, el proceso de desmantelamiento lleva décadas y las estimaciones de costos suelen superar los mil millones de dólares». Ramana, *Nuclear Is Not the Solution*, pág. 118.
- 93 Rees, *Rehenes unos de otros*, pág. 17.
- 94 Clark, *Energía para la supervivencia*, págs. 289–90.
- 95 Rees, *Rehenes unos de otros*, pág. 15.
- 96 Carl Walske, *Foro Industrial Atómico*. Citado en Rees, *Hostages of Each Other*, pág. 18.
- 97 Lee, Ball y Tabors, *Energy Aftermath*, pág. 88.
- 98 Smil, *Mitos y realidades de la energía*, págs. 42–43.

- 99 Smil, Mitos y realidades de la energía, pág. 43. En dólares de 1998, la inversión nuclear fue de 145 000 millones de dólares. En dólares de 2025, esta cifra sería de unos 300 000 millones de dólares.
- 100 Victor Gilinsky, Comisión Reguladora Nuclear (1982). Citado en Hellman y Hellman, *The Competitive Economics of Nuclear and Coal Power*, pág. 3.
- 101 Hellman y Hellman, *La economía competitiva de Energía nuclear y del carbón*, pág. 17.
- 102 Tucker, *Energía terrestre*, pág. 280.
- 103 Jasper, *Política nuclear*, págs. 108–9.
- 104 Jack Devanney, *Por qué la energía nuclear ha sido un fracaso* (Stevenson, WA: CTX Press, 2022), pág. 213.
- 105 Shellenberger, *Apocalipsis nunca*, pág. 161.
- 106 Spencer, *Revolución nuclear*, pág. 73.
- 107 Spencer, *Revolución nuclear*, pág. 73.
- 108 AB Lovins, *Caminos de energía suave: Hacia una paz duradera* (San Francisco, CA: Amigos de la Tierra, 1977), cap. 2. Lovins acuñaría el término negavatio para cuantificar la electricidad no utilizada.
- 109 Smil, *Energía, Alimentación, Medio Ambiente*, pág. 73.
- 110 Arnold P. Fickett, Clark W. Gellings y Amory B. Lovins, "Uso eficiente de la electricidad", *Scientific American*, septiembre de 1990, pág. 31.
- 111 Price, *Electricidad política*, pág. 13.
- 112 Lee, Ball y Tabors, *Energy Aftermath*, pág. 84.
- 113 Cohn, *Too Cheap to Meter*, pág. 116. Cohn estimó el error de pronóstico en 0,04 dólares por kWh y los subsidios gubernamentales en varios centavos por kWh. *Ibid.*, pág. 123.
- 114 Cohn, *Demasiado barato para medir*, pág. 97.
- 115 Cohn, *Demasiado barato para medir*, pág. 105.
- 116 Cohn, *Demasiado barato para medir*, pág. 107.
- 117 Cohn, *Demasiado barato para medir*, pág. 105.
- 118 Hellman y Hellman, *The Competitive Economics of Nuclear and Coal Power*, pág. 158. Esta fue la última frase de su libro.
- 119 Lee, Ball y Tabors, *Energy Aftermath*, págs. 88-89.
- 120 Mazuzan y Walker, *Controlando el átomo*, págs. 29-30.
- 121 Mazuzan y Walker, *Controlando el átomo*, pág. 215.
- 122 Mazuzan y Walker, *Controlando el átomo*, págs. 56–58.
- 123 Wellock, *¿ Suficientemente seguro?* p. xiii. La AEC se centró en Diseño de nueva generación. Bupp y Derian, *Light Water*, pág. 51.
- 124 Wellock, *¿ Suficientemente seguro?* pág. 16.
- 125 Wellock, *¿ Suficientemente seguro?* pág. 17.
- 126 Bernard L. Cohen, *La opción de la energía nuclear: una alternativa para los años 90* (Nueva York: Plenum Press, 1990), pág. 152.
- 127 Metzger, *El establecimiento atómico*, pág. 15.
- 128 Metzger, *El establecimiento atómico*, pág. 17.
- 129 Jasper, *Política nuclear*, pág. 57.
- 130 Aaron Wildavsky, *En busca de seguridad* (New Brunswick, NJ: Transaction Books, 1988), págs. 21, 53.
- 131 Wildavsky, *En busca de seguridad*, pág. 54.
- 132 Wildavsky, *En busca de seguridad*, pág. 134.
- 133 Wildavsky, *En busca de seguridad*, págs. 206-207.
- 134 Price, *Political Electricity*, págs. 114, 105, 115. En la década de 1970, el tiempo de construcción aumentó a diez años o más. Spencer, *Revolución nuclear*, pág. 74.
- 135 Rees, *Rehenes unos de otros*, págs. 19-20.
- 136 Rees, *Rehenes unos de otros*, págs. 21, 20, 23.
- 137 Normalización del Diseño de Centrales Nucleares. Audiencias ante el Subcomité de Conservación de Energía y Energía del Comité de Energía y Comercio. Cámara de Representantes, 99.º Congreso, 1.ª sesión (25 de julio, 10 de diciembre de 1985), pág. 165 (Declaración de John H. Crowley, gerente de ingeniería avanzada, United Engineers and Contractors).
- 138 Normalización del Diseño de Centrales Nucleares, pág. 207 (Crowley). Wildavsky señaló, con respecto a la energía nuclear, que aumentar la seguridad en un área puede conllevar una menor seguridad en otra... *En busca de la seguridad*, pág. 137.
- 139 Normalización del Diseño de Centrales Nucleares, págs. 165, 166 (Crowley). Crowley enumeró 11 áreas de requisitos (Crowley, pág. 178).
- 140 Price, *Electricidad política*, pág. 9.
- 141 Price, *Political Electricity*, pág. 54. Esta es una visión que Price rechaza por completo, pp. 294-295.
- 142 Price, *Political Electricity*, pág. 170. Nuevamente, esta es una visión que el propio Price rechaza.
- 143 Véase, en general, Charles Seife, *Sun in a Bottle: The*

- Extraña Historia de la Fusión y la Ciencia de las Ilusiones (Nueva York: Viking, 2008). El proyecto del Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER), con 40 años de antigüedad, ni siquiera puede considerarse una tecnología de respaldo para la generación eléctrica. Seife es profesor de periodismo en la Universidad de Nueva York.
- 144 Departamento de Energía de los Estados Unidos, Estrategia Nacional de Energía (Washington, DC: Oficina de Imprenta del Gobierno, 1991/1992), pág. 13.
- 145 Estrategia Nacional de Energía, pág. 108. Se preveía que el costo de la electricidad generada por energía nuclear, de 9,9 centavos por kWh, disminuiría a 6,6 centavos, comparable al de otras fuentes. Estrategia Nacional de Energía, pág. 109.
- 146 Declaración de la Asociación Nacional del Carbón a la JCAE. Citada en Nucleonics 21, n.º 5 (mayo de 1963), pág. 21. Citado en Cohn, Too Cheap to Meter, págs. 50-51.
- 147 Vaclav Smil, Gas natural: combustible para el siglo XXI (Sussex, Reino Unido: Wiley, 2015), pág. 83. Robert H. Williams y Eric D. Larson, "Generación de energía con turbinas de gas alimentadas con gas natural", en Gas natural: su papel y potencial en el desarrollo económico, ed. Walter Vergara et al. (Boulder, Colorado: Westview Press, 1990), pág. 138.
- 148 Smil, Gas Natural, págs. 83-84.
- 149 Smil, Natural Gas, pág. 85. Véase también Bradley, Enron Ascending, pág. 165.
- 150 Lee, Ball y Tabors, Energy Aftermath, pág. 128.
- 151 Lee, Ball y Tabors, Energy Aftermath, págs. 128, 137.
- 152 Helen Caldicott, La energía nuclear no es la respuesta (Nueva York) Nueva York: The New Press, 2006), pág. 129.
- 153 Política Nacional de Energía, Informe del Grupo de Desarrollo de Políticas Energéticas Nacionales (mayo de 2001), Apéndice Uno, Capítulo 5. Los críticos de la energía nuclear señalaron cómo Bush minimizó el calentamiento global excepto para promover la energía nuclear. fuerza.
- 154 Caldicott, La energía nuclear no es la respuesta, pág. 129.
- 155 Spencer, Revolución nuclear, págs. 56-57.
- 156 Alan M. Herbst y George W. Hopley, Nuclear Energy Now (Hoboken, Nueva Jersey: John Wiley & Sons, 2007), pág. 30. Se estimó que una planta de carbón de tamaño similar costaría 1.200 millones de dólares, y una planta de gas de ciclo combinado, 500 millones de dólares, y que su construcción demoraría entre tres y cuatro años.
- 157 Spencer, Nuclear Revolution, pág. 57. El coste de las dos plantas se acerca a los 40.000 millones de dólares cuando la Westinghouse
- Se incluye la pérdida (quiebra).
- 158 Spencer, Nuclear Revolution, pág. 92. «Los subsidios socavan las dos cosas que cualquier empresa comercial exitosa requiere», añadió: «una comprensión concreta del mercado actual y la capacidad de prepararse para un futuro esencialmente incognoscible». Spencer, Nuclear Revolution, pág. 93.
- 159 Spencer, Nuclear Revolution, pág. 70. El crédito fiscal a la producción y el crédito fiscal a la inversión permitieron que la energía eólica... y la entrada de energía solar a la red y la reducción de tarifas y márgenes para la capacidad nuclear heredada.
- 160 Peter Z. Grossman, La política energética de Estados Unidos y la búsqueda del fracaso (Nueva York: Cambridge University Press, 2013), pág. 319.
- 161 Citado en Ramana, La energía nuclear no es la solución, pág. 159.
- 162 Price, Electricidad política, pág. 297.
- 163 Spencer, Revolución nuclear, pág. 106.
- 164 Ramana, La energía nuclear no es la solución, pág. 202.
- 165 Smil, Inversión e innovación, pág. 90.
- 166 Departamento de Energía de EE. UU., "9 conclusiones clave de las órdenes ejecutivas del presidente Trump sobre energía nuclear", 10 de junio de 2025.
- 167 Spencer, Revolución nuclear, pág. 107.
- 168 Spencer Kimball, "La planta nuclear de Michigan muestra los desafíos que enfrentará Estados Unidos para reiniciar de forma segura los reactores antiguos", CNBC, 22 de marzo de 2025.
- 169 Spencer, Revolución nuclear, pág. 72.
- 170 Lee, Ball, Tabors, Consecuencias energéticas, pág. 126.
- 171 Rees, Reheneos unos de otros, pág. ix.
- 172 Rees, Reheneos unos de otros, pág. 20.
- 173 Rees, reheneos unos de otros, px
- 174 Rees, Reheneos unos de otros, pág. 43.
- 175 Rees, Reheneos unos de otros, págs. 23, 49.
- 176 Price, Electricidad política, pág. 250.
- 177 Daniel Yergin, La búsqueda: energía, seguridad y la reconstrucción del mundo moderno (Nueva York: Penguin Press, 2011), pág. 407.
- 178 "Después de la Segunda Guerra Mundial, varias grandes corporaciones raciones en los Estados Unidos... volverían sus espadas

en rejas de arado... Se desarrolló una especie de sacerdocio paternal entre los científicos, ingenieros y miembros de agencias gubernamentales como la antigua Comisión de Energía Atómica". Karl Z. Morgan, "Subestimando los riesgos", *Energía nuclear: ambos lados*, pág. 44.

179 Roger Koppl, *Expert Failure* (Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2018), págs. 189, 222.

180 Kaku y Trainor, *Energía nuclear: ambos lados*, pág. 57.

181 Koppl, *Expert Failure*, pp. 7, 236. Postula (p. 11) que "la división del conocimiento debe estar en el centro de una teoría de expertos".

182 Koppl, *Fallo del experto*, pág. 203.

183 Koppl, *Expert Failure*, pp. 159, 197. Su "ecología de la pericia" (p. 159) abarca sesgos y conflictos de intereses entre los "buscadores puros de la verdad" y los "fraudes intencionales" (pp. 154-155).

184 Koppl, *Fallo del experto*, pág. 237.

185 Cohn, *Demasiado barato para medir*, pág. 319.

186 Spencer, *Revolución nuclear*, pág. 146.

187 Spencer, *Revolución nuclear*, pág. 40.

188 Smil, *Mitos y realidades de la energía*, pág. 43 n47.

189 Lee, Ball y Tabors, *Energy Aftermath*, pág. 212.

190 Smil, *Invencción e innovación*, pág. 92. Véase también Smil, *Mitos y realidades de la energía*, pág. 42.

191 Kaku y Trainor, *Energía nuclear: ambos lados*, pág. 250.

192 Ludwig von Mises, *La acción humana* (New Haven: Yale University Press, 1949), pág. 510.



250 Division Street | Apartado postal 1000
Great Barrington, MA 01230-1000
Teléfono: 1-888-528-1216 | Fax: 1-413-528-0103
Contacto de prensa y otros medios de comunicación
888-528-1216
prensa@aier.org