

## Uranio: la otra cadena crítica de valor

Gonzalo Escribano | Analista principal | @g\_escribano 

### Tema

Se analiza el ciclo de vida del uranio, desde su minería hasta la obtención del combustible nuclear, destacando el papel de los principales actores y sus implicaciones para la autonomía estratégica europea, como reconoce *REPowerEU*, con especial atención a Rusia.

### Resumen

El análisis destaca la necesidad de incorporar la cadena de suministro nuclear al concepto de [autonomía estratégica europea](#), diferenciando para alcanzarla entre dos sendas complementarias: una senda mineral basada en alianzas con socios y afrontar la competencia china en otros productores; y otra industrial en las fases de mayor valor añadido económico y estratégico de la cadena, con apoyo estatal y participaciones público-privadas.

### Análisis

Las urgencias de la descarbonización y la necesidad de un rápido [desacoplamiento energético de Rusia](#) han intensificado la preocupación europea por los riesgos de suministro de las cadenas de valor energéticas. El problema más inmediato consiste en diversificar los suministros rusos de carbón, gas, petróleo y sus derivados, pero la autonomía estratégica de la Unión Europea (UE) se juega también en los minerales estratégicos. Entre ellos, el grueso de la atención la han recibido los denominados [minerales de transición necesarios para la descarbonización](#), como el litio, el cobalto o las tierras raras, entre muchos otros. En cambio, la cadena de valor del uranio que abastece a la industria nuclear había atraído menos interés que las de los hidrocarburos o las renovables...hasta que la invasión rusa de Ucrania modificó también el panorama estratégico nuclear europeo.

Debido a la crisis energética ocasionada por la agresión rusa, centrales nucleares europeas cuyo cierre estaba programado han visto prorrogada su vida, transitoriamente en Alemania y por una década en Bélgica. Al tiempo, las centrales europeas construidas por Rusia (viejas y nuevas) corren el riesgo de sufrir sus represalias restringiendo el suministro de combustible. El apetito por extender las prohibiciones de importación aplicadas a algunos hidrocarburos rusos a los suministros nucleares y otros minerales críticos, solicitada repetidamente por Ucrania ([y recientemente por el Parlamento Europeo](#)), es escaso a corto plazo mientras no se reconfiguren las cadenas de valor. Fuera de Europa, Estados Unidos (EEUU) acaba de aprobar nuevos incentivos a la industria nuclear, incluidos determinados combustibles avanzados en los que depende de Rusia, en su *Inflation Reduction Act*.

China, por su parte, mantiene desde hace tiempo la estrategia de los tres tercios: un tercio de su uranio proviene del suministro interno, otro de importaciones directas y el tercero de proyectos mineros en el extranjero de empresas chinas.

Aunque en ausencia de una ola de aperturas de nuevas centrales sería exagerado hablar de un renacimiento de la energía nuclear en Europa, el giro estratégico europeo debe incluir la seguridad de su cadena de suministro. En 2022, casi el 22% de la electricidad de la UE fue generada por el centenar de centrales nucleares situadas en 13 de sus Estados miembros (EM). En EEUU (y en España) contribuye con un porcentaje similar a la matriz eléctrica, mientras que a nivel global supone un 10% de la generación. Algunos EM tienen planes nucleares importantes, como los de Francia para revertir su reciente desfallecimiento; otros tienen proyectos más problemáticos, como las dos nuevas plantas compradas por Hungría a Rosatom. La propia Rusia, China o India desarrollan programas nucleares mucho más ambiciosos, mientras que EEUU está centrado en el desarrollo de reactores avanzados y modulares. Todo ello en un contexto europeo de fuerte oposición ciudadana, pero también de retrasos y sobrecostes en las últimas centrales construidas, que despiertan dudas sobre la viabilidad económica de los reactores de última generación.

Cualquiera que sea el papel que la energía nuclear desempeñe en la descarbonización de la UE y sus EM (el actual, mayor o progresivamente menor, no estando de más que se aclarara cuanto antes), su carácter es lo suficientemente estratégico como para no seguir siendo la cadena de suministro olvidada de la descarbonización. En España, el actual Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) planifica los primeros cierres para 2028, siempre que la seguridad de suministro esté garantizada, por lo que la proyección estratégica de la energía nuclear se mantendrá al menos a medio plazo.

El análisis explora primero el ciclo de vida del uranio, sus fases y externalidades negativas (y algunas positivas, como la desproliferación de armas nucleares). A continuación, se analizan los principales actores de la minería del uranio y del resto de la cadena de valor (conversión, enriquecimiento y obtención del combustible). Las conclusiones derivan como principal implicación la necesidad de incorporar la cadena de suministro nuclear a la autonomía estratégica europea, diferenciando para alcanzarla dos sendas complementarias: una mineral basada en alcanzar alianzas con socios y afrontar la competencia china; y otra industrial en las fases de mayor valor económico y estratégico de la cadena, con apoyo estatal y participaciones público-privadas.

## **El ciclo de vida del uranio**

El ciclo de vida del uranio comienza (1) con la extracción del mineral y su procesado inicial antes de (2) su conversión para el posterior (3) enriquecimiento y (4) producción de combustible nuclear. Cada una de esas cuatro fases implica complejos procesos extractivos e industriales con largos periodos de maduración que se ven afectados por elementos geopolíticos y geo-económicos. Su cadena de valor se ha ido adaptando a esos elementos, pero dados los plazos manejados por la industria y las fuertes inversiones que requiere, la dependencia de la senda dificulta una rápida adaptación a circunstancias geopolíticas cambiantes como las actuales.

La cadena de suministro se inicia con las actividades de *exploración y prospección* minera, cuya principal particularidad es que el uranio puede ser detectado mediante estudios radiométricos de superficie. Una vez localizado un yacimiento mineralífero económico se procede a su *extracción minera*, tras lo cual el mineral se procesa y muele produciendo un polvo seco formado por concentrado de mineral de uranio llamado pasta o torta amarilla (*yellowcake*). La extracción puede ser por lixiviación *in situ* (LIS), por minería a cielo abierto o subterránea. Todos estos métodos plantean **problemas medioambientales** cuya prevención y remedio imponen costes muy elevados en las jurisdicciones con legislaciones ambientales estrictas. Además, las actividades extractivas (especialmente de minerales radioactivos destinados a la fisión nuclear) tienen una fuerte oposición social en Europa y EEUU, en gran parte por su poco edificante historial en salud pública y medioambiental, tanto en suelo propio como en los yacimientos situados en el extranjero.

La minería a cielo abierto y la subterránea producen grandes cantidades de roca de desecho que contienen productos radiactivos y tóxicos del uranio, y emiten gas radón, relacionado con el cáncer de pulmón. El viento puede esparcir el polvo y contaminar el medio ambiente. Para mantener secas las minas debe bombearse el agua al exterior, con el riesgo añadido de contaminación. La LIS es el otro método más utilizado: el líquido de lixiviación se inyecta a través de pozos en el depósito de uranio y se vuelve a bombear para recuperarlo. No genera tanta roca de desecho, apenas forma polvo ni afecta al paisaje, y supone una menor exposición radiactiva de los trabajadores que la minería subterránea y de superficie. En cambio, el fluido inyectado contiene contaminantes que amenazan los acuíferos y no es posible restablecer la condición natural en el área minera una vez terminada la explotación.

Las primeras evidencias de asociación entre la minería del uranio y la salud se registraron entre los mineros europeos, que llevaban siglos extrayéndolo en Alemania y Checoslovaquia para la fabricación de metales y tintes. En 1932 ambos designaron el cáncer de estos mineros como una enfermedad laboral. Pese a estos precedentes, en EEUU y los países del Pacto de Varsovia las urgencias extractivas de la carrera armamentística, primero de la Segunda Guerra Mundial y luego de la Guerra Fría, tuvieron costes irremediables para la salud pública y el medioambiente. Dada su dependencia inicial de fuentes extranjeras, tras la Segunda Guerra Mundial EEUU anunció que garantizaría un precio y compraría todo el mineral de uranio que se extrajera en el país, dando lugar a un auge minero en Nuevo México, Utah, Colorado y Arizona. La falta de información y seguridad tuvo efectos mortales sobre los mineros, en especial los Navajos, dejando además un rastro indeleble de degradación medioambiental con más de 500 minas abandonadas que siguen planteando serios problemas ambientales y de salud pública.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Véase, por ejemplo, Holaday, D. A. (1969): "History of the exposure of miners to radon", *Health Physics*, 16:547–552; y Brugge, D. y R. Goble (2002): "The History of Uranium Mining and the Navajo People", *American Journal of Public Health* 92: 1410-1419, <https://doi.org/10.2105/AJPH.92.9.1410>

En Europa, [la experiencia soviética fue semejante](#), pero prolongada hasta tiempos recientes. Probablemente el mayor desastre ambiental europeo de contaminación de aguas subterráneas se produjo por LIS en Stráž pod Ralskem, en la actual República Checa. Desde finales de la década de los años 60 hasta mediados de los 90 se bombearon cuatro millones de toneladas de ácido sulfúrico, contaminando gravemente aguas subterráneas y terrenos en varios kilómetros a la redonda. Se estima que la remediación en curso llevará 40 años y costará más de 2.200 millones de euros. En Hungría, la limpieza de la mina Mecsek, cerrada en 1997, tuvo también un coste muy elevado sufragado en parte por fondos PHARE europeos. Costes ambientales y reservas limitadas han desplazado progresivamente la minería fuera de la UE y EEUU hacia productores con mejor recurso y menores costes de extracción.

En la etapa de *conversión* el concentrado de uranio debe ser convertido en hexafluoruro de uranio (UF<sub>6</sub>), la forma requerida por la mayoría de las plantas de enriquecimiento para obtener uranio enriquecido (U-235). La fase de *enriquecimiento* es necesaria para producir el combustible nuclear destinado a reactores y armas nucleares. En el caso de las centrales, el nivel de enriquecimiento depende del reactor: normalmente, para un reactor de agua ligera suele estar enriquecido al 5% de U-235, pero algunos reactores requieren uranio enriquecido a concentraciones más bajas. Muchos de los reactores avanzados en desarrollo también usarán uranio enriquecido al 3-5%, pero algunos diseños requerirán U-235 con niveles de enriquecimiento de hasta casi un 20%, denominado HALEU (*High Assay, Low Enriched Uranium*). La fase final de *producción del combustible nuclear* es en realidad una segunda fase de (re)conversión, en la que el uranio enriquecido se convierte de nuevo en polvo y es compactado en pastillas cerámicas que luego conforman las barras de combustible que se utilizan en las centrales bajo diferentes configuraciones según el tipo de reactor.

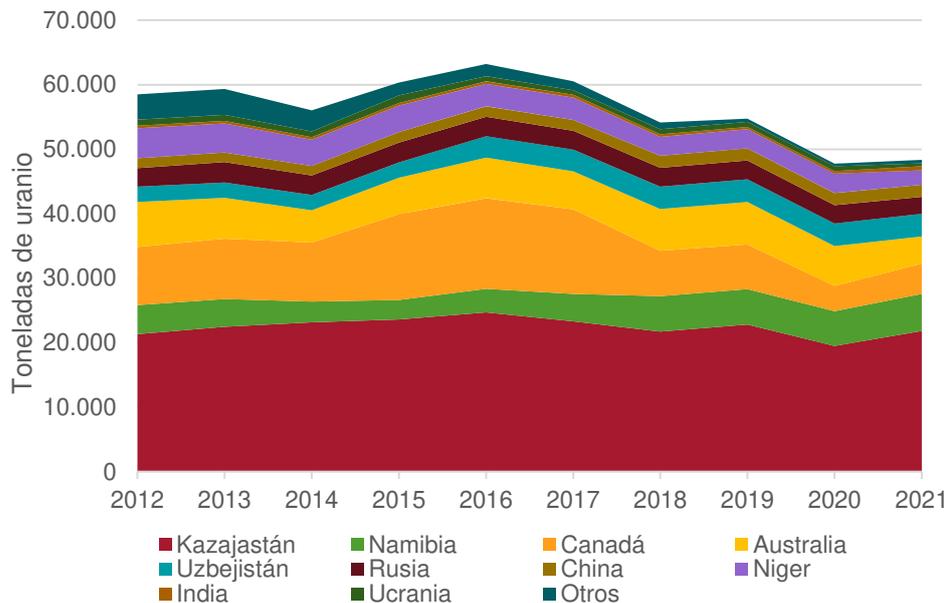
El uranio enriquecido también puede proceder del desarme de *armas nucleares*. El programa más conocido fue el bautizado, de manera ciertamente gráfica, “[de Megatonas a Megavatios](#)”, que reutilizó casi 500 toneladas de uranio procedente de armamento nuclear soviético para destinarlo a centrales estadounidenses, sin duda el mayor esfuerzo civil de des-proliferación nuclear hasta la fecha. A cambio, generó un patrón de importaciones de uranio ruso que se mantuvo tras finalizar el programa y ahora resulta difícil revertir. El ciclo de vida del uranio tiene una fase final no productiva (pero sí económica en el sentido de generar costes y actividades asociadas), puesto que los *residuos* deben almacenarse de forma segura en instalaciones construidas al efecto o, en su defecto, en las propias centrales hasta exportarse hacia países que cuenten con aquéllas.

## La minería del uranio y sus actores

Los costes económicos, de salud pública y ambientales de la minería del uranio han desplazado la extracción de uranio fuera de la UE y EEUU. En todo caso, las mayores reservas del mineral se encuentran en depósitos de Australia (28% de las reservas mundiales), Kazajistán (15%) y Canadá (9%), seguidos de lejos por Rusia, Namibia, Sudáfrica, Níger y, todavía a mayor distancia, por Brasil, China, India y EEUU. En Europa, sólo Ucrania, la República Checa, Dinamarca, y en menor medida España, cuentan con reservas importantes de uranio. La gobernanza de las industrias extractivas difiere mucho entre los diferentes productores, entre los que se encuentran países con ingentes reservas y regulaciones homologables a las europeas y estadounidenses, como Canadá o Australia, pero también productores con marcos extractivos menos exigentes.

Quizás la mejor manera de abordar las implicaciones geopolíticas y geo-económicas de la [distribución geográfica de la producción de concentrado de uranio](#) (que en gran medida refleja el patrón marcado por las reservas), sea analizar brevemente el papel que desempeñan los principales países productores y empresas del sector:

**Figura 1. Distribución geográfica de la producción de concentrado de uranio en toneladas anuales (2012-2021)**



Fuente: World Uranium Mining Production, World Nuclear Association (2021).

1º [Kazajistán](#) fue el principal productor en 2021, representando más del 45% del suministro mundial de concentrado de uranio. La mayor parte se extrae mediante LIS por Kazatomprom, la empresa nacional de extracción de uranio y mayor productor de uranio del mundo por delante de gigantes como Orano, Cameco y Uranium One, con proyectos y asociaciones nacionales y en varios países con las empresas citadas. Su peso en el mercado del uranio pudo apreciarse en la fuerte subida en las cotizaciones ocasionada por las revueltas de principios de 2022, que requirieron del apoyo ruso para estabilizar el país.

2º **Namibia** se ha convertido en el segundo productor mundial (12%) tras **aumentar su producción de manera constante en los últimos años**, en parte debido a las inversiones chinas y compañías internacionales como Rio Tinto o Paladin Energy. En 2011, el gobierno otorgó a la empresa estatal Epangelo Mining el control exclusivo de la extracción de minerales estratégicos, incluido el uranio, aunque no se aplica retroactivamente a las licencias existentes. Las empresas chinas han tomado importantes posiciones, y en 2018 Rio Tinto acordó vender su participación mayoritaria en Rössing Uranium a China National Uranium Corporation (CNUC). India intenta también comprar uranio namibio, pero los compromisos de no proliferación de Namibia lo impiden, otra muestra de las connotaciones geopolíticas del mineral.

3º En **Canadá** la producción cayó drásticamente durante la pandemia por cierres operativos y pese al repunte de 2021 no ha recuperado el segundo puesto que solía ocupar, aportando menos del 10% de la producción mundial. Cuenta con alguna de las minas de uranio más importantes del mundo, operadas por la canadiense Cameco, otra de las principales empresas mineras de uranio, además de un ecosistema institucional favorable a la exploración y la extracción en las regiones con más reservas como Saskatchewan.

4º **Australia** ha disminuido su producción (8,7% del total) en años recientes pese a contar con las mayores reservas de uranio del mundo, destacando Olympic Dam, el depósito de uranio más grande conocido. La minería del uranio es un tema controvertido en el país, planteando incertidumbres sobre su futuro. Recientemente, el gobierno de Australia Occidental decidió mantener los proyectos mineros existentes, pero también que no aprobará ninguno nuevo. Aunque permite la extracción de uranio bajo una fuerte regulación, se opone al uso de la energía nuclear, planteando inconsistencias en un debate con resonancias geopolíticas: la alianza de seguridad trilateral con el Reino Unido y EEUU (AUKUS) de 2021 incluye ayuda para que Australia adquiriera submarinos nucleares, reavivando el debate sobre si el país debe desarrollar su propia capacidad nuclear. Por tradición y recursos mineros, cuenta con importantes empresas en el sector.

5º **Uzbekistán** representó en 2021 el 7,2% de la producción mundial tras años de aumentos graduales gracias a la creación de empresas conjuntas con compañías japonesas y chinas. Navoi Mining & Metallurgy Combinat, parte del *holding* estatal, controla la extracción y el procesamiento.

6º **Rusia** ha mantenido su producción constante en la última década y en 2021 suponía un 5,5% de la mundial. De hecho, esperaba aumentarla para satisfacer tanto sus necesidades como la creciente demanda mundial, pero la guerra en Ucrania y las sanciones resultantes pueden afectar esos planes. En 2020, alrededor del 20% de las importaciones de uranio natural de la UE procedían de Rusia. Rosatom es la empresa rusa más presente en todo el ciclo nuclear, desde la minería a la exportación de reactores. SC ARMZ Uranium es la división minera de Rosatom, responsable de todos los activos de las minas de uranio rusas y de las acciones rusas en empresas conjuntas extranjeras. En 2013 completó la adquisición de la canadiense Uranium One, con fuertes intereses en Kazajistán, para después venderla a otra empresa rusa (Atomenergoprom).

7º [China](#) ha doblado su extracción de uranio en la última década, representando cerca del 5% de la producción mundial. China General Nuclear Power (CGNC) era hasta hace poco proveedor nacional único de uranio del país, además de mantener acuerdos de suministro con Kazajistán y otras compañías extranjeras. Recientemente China National Nuclear Corporation (CNNC) ha reforzado su monopolio en el resto del ciclo del combustible nuclear, convirtiéndose también en suministrador único de uranio y relegando a CGNP a los acuerdos en el exterior. Su objetivo es suministrar un tercio de su ciclo nuclear con uranio nacional, otro tercio con empresas conjuntas en el extranjero y comprar el resto en el mercado. Tiene uno de los mercados nucleares más dinámicos, con más de 50 reactores en funcionamiento y más de 20 en construcción.

8º [Níger](#) ha visto su producción disminuir hasta apenas el 4,5% de la oferta mundial. El país tiene dos minas en producción, SOMAIR y COMINAK, operados por subsidiarias de Orano, heredera de Areva y con propiedad mayoritaria del Estado francés con proyectos en los principales países productores, incluyendo Kazajistán y Canadá.

9º [India](#), que supuso en 2021 el 1,3% de la extracción mundial de uranio, ha mantenido la producción estable durante la última década, acumulando existencias importantes destinadas a suministrar a su veintena de reactores nucleares y a los ocho más en construcción.

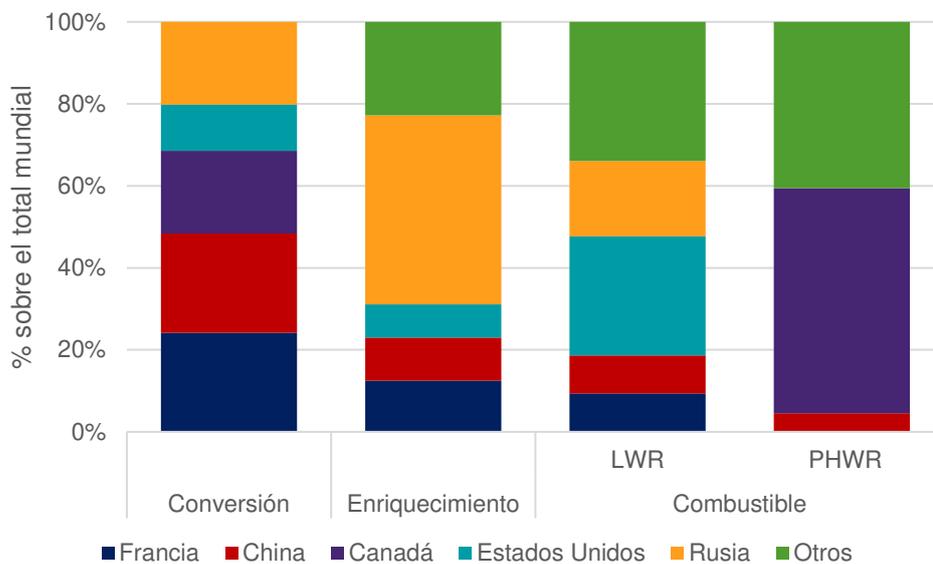
10º [Ucrania](#) ha experimentado un descenso en su producción de uranio en los últimos años, agravada recientemente por la guerra y en 2021 apenas alcanzaba el 1% de la mundial. Por razones obvias, las perspectivas a corto plazo son muy negativas. Aunque los depósitos de uranio se encuentran en el centro del país, buena parte de las empresas participantes en el ciclo del combustible se situaban en el este, en zona de guerra o controlada por Rusia. La situación de las centrales nucleares ucranianas, especialmente la de Zaporíya (la mayor de Europa y con serias dificultades de mantenimiento), es especialmente delicada y muestra sus vulnerabilidades estratégicas. La preocupación se extiende al área de Chernóbil tras su ocupación por las tropas rusas en las primeras semanas de la invasión.

En 2021 los demás productores fueron Sudáfrica, Irán, Pakistán, Irán y EEUU. Desde mediados de la década de 2010 cesó la pequeña producción europea de la República Checa, Rumanía, Francia y Alemania. Sin embargo, ya antes del reciente aumento de los precios del uranio tras las revueltas en Kazajistán y la invasión rusa de Ucrania, la extracción de uranio en Europa volvió a resultar económicamente interesante. Los intentos por reabrir minas o explorar nuevos recursos en la [República Checa](#), [Eslovaquia](#), [Hungría](#), Rumanía o Polonia no han fructificado por la fuerte oposición social entre una población que aún tiene recientes sus costes humanos y ambientales. En aplicación del artículo 10 de la [Ley de Cambio Climático y Transición Energética de 2021](#), España ha denegado recientemente a la minera australiana Berkeley la licencia de explotación de una mina en Salamanca, provocando por parte de ésta un [arbitraje al amparo de la Carta Europea de la Energía](#).

## El núcleo de la autonomía estratégica: conversión, enriquecimiento y combustible

Pese a las escasas reservas y producción de mineral de uranio de la UE y EEUU, la existencia de fuentes alternativas en países aliados (sólo Australia ya supone casi un tercio de las reservas mundiales) desplaza la criticalidad de la cadena hacia las fases de mayor valor añadido y contenido tecnológico e industrial. En esas fases, el posicionamiento europeo y estadounidense es mucho más favorable, aunque no exento de riesgos por el papel central de Rusia y las ambiciones de China.

**Figura 2. Capacidad de procesamiento de uranio en las fases de conversión, enriquecimiento y producción de barras de combustible LWR y PHWR, por país en porcentaje (2021)**



Fuente: *World Nuclear Association Nuclear Fuel Report (2021 edition)*.

Respecto a la [conversión](#), sólo hay plantas operando comercialmente en Canadá, Francia, Rusia y China. En esta fase la influencia de Rusia es mucho mayor que en la extractiva, concentrando casi el 40% de los servicios de conversión mundiales en 2020. No obstante, siempre con datos de 2020, la planta de Rosatom en Seversk trabajaba al 96% de su capacidad, mientras que las instalaciones occidentales mantienen una capacidad ociosa elevada y podrían aumentar la conversión si fuera necesario reemplazar los suministros rusos. Orano mantiene en Francia las instalaciones de Pierrelatte y Malvési, con una capacidad conjunta de 15.000 Tm, pero operando apenas al 17% de capacidad. CNNC tiene en China las plantas de conversión de Lanzhou y Hengyang, con una capacidad conjunta de 15.000 Tm operando al 53%, que se prevé siga aumentando. Cameco tiene en Canadá la planta de Port Hope, con una capacidad de 12.500 Tm y funcionando al 72%, mientras que la planta de ConverDyn en EEUU cerró en 2017 pero se han anunciado [planes para reabrirla](#) con una capacidad de 7.000 Tm anuales si hubiera señal de precios.

Rusia también tiene gran peso en la etapa de [enriquecimiento](#), una actividad estratégica e intensiva en capital y tecnología con importantes barreras de entrada, por lo que hay pocos proveedores de enriquecimiento comercial que operan un número limitado de instalaciones. Actualmente, hay cuatro productores principales (con datos de 2020): la rusa Tenex concentra el 45% de la capacidad mundial de enriquecimiento y proporcionó el 30% de los servicios de enriquecimiento de la UE en 2019; Urenco suministra el 31% del enriquecimiento mundial desde sus plantas en Alemania, los Países Bajos, el Reino Unido y EEUU; les siguen Orano en Francia (12,5%) y la china CNNC, con una cuota del 10% y subiendo. En Japón, Argentina, Brasil, la India y Pakistán las empresas nacionales gestionan capacidades modestas adaptadas a la demanda doméstica. Las capacidades de enriquecimiento iraníes son igualmente modestas, aunque de gran impacto geopolítico.

La cadena de valor del uranio culmina con la [producción de las barras de combustible](#) utilizadas por los reactores, tras cuyo uso deben reprocesarse antes de almacenarse de forma segura durante siglos. Al tratarse de diseños específicos según el tipo, modelo y generación del reactor, los suministros vienen en gran medida determinados por su constructor y cualquier cambio debe certificarse por razones de seguridad. Los reactores de agua ligera (LWR por sus siglas en inglés, que incluyen los modelos rusos conocidos por el acrónimo también ruso VVER) utilizan uranio enriquecido a varios niveles hasta un 5 % de U-235, y la capacidad mundial de fabricación de ese tipo de barras de combustible es de unos 15.500 Tm anuales. El combustible de los reactores de agua pesada a presión (PHWR) suele ser uranio natural no enriquecido (0,7% U-235), y la capacidad de fabricación es bastante menor, de unas 5.000 Tm anuales.

Con datos del [World Nuclear Association Nuclear Fuel Report 2021](#), los fabricantes de combustible para reactores LWR con mayor capacidad son EEUU (28,1%), Rusia (17,8%), Japón (10,3%), Francia (9%), China (6,5%) y el Reino Unido (5,6%), seguidos de Corea del Sur, Alemania, Suecia y España (con un 3,2% por la planta de ENUSA en Juzbado). La industria está dominada por cuatro empresas que atienden la demanda internacional de reactores de agua ligera: Orano, Global Nuclear Fuel (GNF), la rusa TVEL y Westinghouse. Canadá, con Cameco, lidera el mercado de combustibles para reactores PHWR. Los reactores VVER rusos construidos por Rosatom y exportados a todo el mundo utilizan combustible suministrado por TVEL en Rusia. 18 centrales nucleares operativas europeas en Bulgaria, Finlandia, Hungría, Eslovaquia y República Checa son de diseño ruso y todas ellas dependen del combustible ruso. Ante esta situación, [la UE y EEUU han tomado medidas](#) para reforzar este eslabón final de la cadena del uranio, tanto para los combustibles de los reactores rusos exportados por Rusia como para los de tipo HALEU requeridos por las futuras centrales de nueva generación.

En 2014, la Comisión Europea sugirió que cualquier diseño de reactor construido en la UE por empresas no comunitarias debería tener más de una fuente de combustible. La Estrategia Europea de Seguridad Energética de ese mismo año insistió en la diversificación de la cadena del combustible nuclear. En 2015 el Programa de Investigación y Capacitación de Euratom coordinó a Westinghouse y ocho socios europeos para producir combustible nuclear para los reactores de diseño ruso operando en la UE, especialmente los VVER-440.

Como resultado, la planta de Westinghouse en Suecia ha empezado a producirlo recientemente y está aumentando su capacidad para reducir la dependencia de Rusia de los países europeos del este, incluyendo a Ucrania.

Finalmente, en las últimas décadas se han fundado varias empresas privadas en EEUU para comercializar diferentes diseños de reactores avanzados y modulares, una carrera en la que también está inmersa (al parecer con retraso) la industria francesa. Algunos de estos diseños usan uranio con niveles de enriquecimiento más altos (HALEU) que los reactores de agua ligera, de hasta el 15-19,75%. Actualmente, la única fuente comercial de este combustible crítico para la próxima generación de reactores es la empresa rusa Tenex, propiedad de Rosatom, lo que genera [seria preocupación en EEUU](#).

En 2020, el Departamento de Energía estadounidense (DOE, por sus siglas en inglés) anunció un programa de apoyo para algunos de estos desarrolladores de reactores privados, contribuyendo con una parte de los costes de los proyectos de demostración. Dado que Rusia era la única fuente comercial de HALEU, algunos desarrolladores de reactores avanzados planeaban obtener de Tenex su primera carga de combustible. Las empresas de enriquecimiento existentes (Orano o Urenco) podrían fabricarlo, pero no abordarán las grandes inversiones necesarias sin asegurarse un mercado rentable. La compra de las primeras cargas a Rusia habría permitido a los desarrolladores de reactores cumplir con los plazos establecidos y al gobierno federal evaluarlos antes de comprometer mayores ayudas. Ante los riesgos que plantean los suministros rusos, EEUU ha incluido en su *Inflation Reduction Act* [700 millones de dólares para apoyar la producción de HALEU](#).

A diferencia de lo que ocurre con los hidrocarburos o los minerales de transición, los Estados y las empresas cuentan con existencias importantes de combustible nuclear, margen de seguridad facilitado por su elevadísima densidad energética. Aunque la información no está disponible en fuentes abiertas, algunos análisis estiman que si Rusia retuviera el uranio convertido o enriquecido, [las plantas estadounidenses y europeas podrían verse afectadas en unos 18-24 meses](#). En contraste con la minería, donde la estrategia europea y estadounidense apunta más al *friendshoring*, en las fases más estratégicas y con mayor valor añadido prima la localización nacional, el apoyo estatal y la participación público-privada. Hasta que ambas estrategias empiecen a rendir sus frutos, las sanciones occidentales a la cadena de suministro nuclear rusa, sobre todo en las fases de enriquecimiento y obtención del combustible deberán calibrarse cuidadosamente.

## Conclusión

La cadena de valor del uranio está controlada por un reducido grupo de actores. Su *minería* se concentra en pocos países y un grupo reducido de empresas mineras privadas y estatales. Entre los productores de concentrado de uranio figuran de manera prominente países cercanos a Rusia y/o China (ellos mismos productores importantes), como Kazajistán, Namibia o Uzbekistán. No obstante, Australia y Canadá cuentan con grandes reservas y potencial para aumentar significativamente su producción y hay otros productores en los que la presencia de empresas europeas es clave, como Níger y a largo plazo Ucrania. La respuesta estratégica europea en esta fase de la cadena del uranio (como la estadounidense), no consiste en reabrir minas en suelo propio, dados sus elevados costes económicos y ambientales y falta de aceptación social. Más bien se busca asegurar los suministros en países aliados y afrontar la competencia china en el resto de productores, además de adoptar requerimientos más estrictos sobre reservas estratégicas.

La vulnerabilidad europea es mayor en *conversión*, donde Rusia representaba el 40% de los servicios de conversión mundiales en 2020. No obstante, la UE y EEUU mantienen una capacidad ociosa muy importante capaz de evitar crisis graves de suministro. Rusia también concentra el 45% de la capacidad mundial de *enriquecimiento*, incluyendo un porcentaje algo menor pero importante de los servicios de enriquecimiento requeridos por la UE. Su influencia en el mercado de *combustibles* no es tan pronunciada, aunque cuenta con la segunda capacidad de producción de barras de uranio, sólo por detrás de EEUU. Es también el suministrador natural de combustible a las centrales construidas por Rosatom fuera de Rusia, aunque Westinghouse ya esté en condiciones de producir combustible para algunos reactores rusos VVER de las plantas europeas con apoyo de la UE. Rusia también controla la única empresa que produce comercialmente el combustible necesario para alimentar los futuros reactores avanzados. Como medida de diversificación, el *Inflation Reduction Act* incluye medidas de apoyo para incentivar ese tipo de combustible.

Ambas respuestas, la de la UE y la estadounidense, muestran que el giro hacia la autonomía estratégica en la cadena de valor del uranio era previo a la invasión rusa de Ucrania, pero que ésta lo ha acelerado al poner en juego suministros clave para los sistemas eléctricos europeo y estadounidense. Independientemente de que el papel que la energía nuclear desempeñe en la descarbonización europea durante la próxima década sea el mismo, haya un renacimiento nuclear o un declive gradual, su carácter estratégico exige prestar a su cadena de suministro tanta atención como a la de las energías renovables y sus minerales de transición. Respecto a la minería de uranio, deben asegurarse los suministros trabajando con países aliados y afrontando la competencia de China, además de monitorizar los mercados y aumentar las reservas estratégicas. Pero el componente más estratégico reside en las fases industriales finales de la cadena de valor, que deberán reforzarse con apoyo público para catalizar las necesarias inversiones privadas. Mientras tanto, un desacoplamiento inmediato de Rusia de la cadena de suministro del uranio, sea por represalias rusas o por [sanciones occidentales](#), representaría un reto extremadamente complejo y de costosa solución.