



Tesina de investigación

Energía nuclear y transición energética: el caso de la Taxonomía de Inversión Verde de la Unión Europea.

Tesista: Ximena Ugartemendia

Tutor: Dr. Marcelo Saguier

**Licenciatura en Relaciones Internacionales
Escuela de Política y Gobierno**

Universidad Nacional de San Martín

Índice

Índice	2
Resumen	3
I. Introducción	3
II. Energía nuclear & transición energética: un espacio de disputa	5
A. Gestación del espacio de disputa: raíces del debate	7
B. Energía nuclear como energía de transición: Discusiones sobre la inclusión en la Taxonomía de la UE	12
III. Metodología	15
IV. Taxonomía de Inversión Verde y acto delegado de la energía nuclear: un análisis comparativo	16
A. Objetivos	17
B. Alcance	18
C. Metodología de evaluación	19
V. Energía nuclear y principio de no causar daños significativos: estudios sobre el ciclo de vida de la energía nuclear	21
A. Fase 1: extracción de uranio	23
B. Fase 2: Del <i>Yellowcake</i> al enriquecimiento de Uranio.	26
C. Fase 3: Operación de plantas nucleares	27
D. Fase 4: Residuos radiactivos & Radiación, una problemática sin solución	29
E. Principio de No Causar Daños Significativos & Criterios de selección de la Comisión Europea: evaluación de los criterios ambientales con relación a la energía nuclear	31
VI. Conclusión	36
Referencias bibliográficas	40

Resumen

Como respuesta a las tensiones y problemas económicos provocados por la guerra de Ucrania -que afectaron las relaciones energéticas entre Europa y Rusia-, la Unión Europea clasificó la energía nuclear como una "energía de transición" dentro de su Taxonomía de Inversión Verde. La presente tesina de investigación tiene como objetivo identificar en qué medida la definición de la energía nuclear como energía de transición es compatible con el principio de no causar daños significativos (DNSH por sus siglas en inglés) de la Taxonomía de Inversión Verde. El principio, derivado de prácticas médicas y extendido a la política exterior y de seguridad, regula la ayuda humanitaria para evitar efectos negativos y establece que una actividad no debe tener un efecto negativo en otros objetivos ambientales, lo cual parece ser de mayor importancia al examinar su conexión con la energía nuclear. A tal fin, esta tesina revisa el estado actual del debate en torno a la energía nuclear, considerando argumentos tanto desde la perspectiva pro-nuclear como desde la perspectiva antinuclear, abordando la problemática desde una metodología cualitativa mediante un análisis de contenido con la finalidad de recopilar información de investigaciones científicas relevantes sobre la energía nuclear, el principio de no causar daños significativos, la Taxonomía de Inversión Verde de la Unión Europea (Reglamento UE 2019/2088) y el Acto delegado Climático Complementario (Reglamento UE 2021/2139). Se argumenta que la definición de la energía nuclear como una energía de transición es incompatible con el principio de DNHS debido a los riesgos ambientales inherentes a toda su cadena productiva, en especial a la gestión de los residuos radioactivos.

I. Introducción

La guerra de Ucrania afectó las relaciones energéticas entre Europa y Rusia. Una de sus repercusiones fue un alza de los precios de los combustibles fósiles en la Unión Europea (UE) producto del desabastecimiento energético debido a la gran dependencia que tiene la UE de las importaciones de gas de Rusia. Esto generó el temor en los gobiernos de los países europeos de no llegar a cubrir las demandas energéticas de sus ciudadanos y de su industria. Todos estos factores

provocaron una gran volatilidad en los precios de los suministros energéticos, que luego se tradujeron al mercado de bienes y servicios, produciendo costos inflacionarios (Torres 2022).

La respuesta de la UE a esta situación ha sido clara. En un principio se buscó diversificar la dependencia e importación de combustibles fósiles procedentes de Rusia. A su vez, se abrió la posibilidad de aumentar el despliegue de energías renovables a mediano y largo plazo. Esto generó un contexto favorable para el resurgimiento y proliferación de plantas de energía nuclear como una solución a “corto plazo” para el problema energético. En este contexto, en 2022 la Comisión de la UE catalogó a la energía nuclear como una “energía de transición”, incluyéndola dentro de la Taxonomía de Inversión Verde (Reglamento UE 2019/208-8).

Dicha Taxonomía es un mecanismo que establece qué estrategias de inversión de los estados y empresas “deben contribuir a la transición ecológica, incluida la biodiversidad, o a afrontar los retos que se derivan de ella” (Comisión Europea 2021). Asimismo, la Taxonomía establece que las inversiones dentro de este marco deben tener como objetivo principal continuar con las claves explicitadas en el acuerdo de París sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC 2015). Esta normativa impone obligaciones a las empresas para poder seguir operando en los mercados europeos. El fundamento de la decisión de integrar a la energía nuclear dentro de la Taxonomía es que esta energía contribuye a la mitigación de las emisiones de CO₂ que generan el calentamiento global.

En la Taxonomía de Inversión Verde se consagra también el Principio de No Causar Daños Significativos (DNSH por sus siglas en inglés) como una medida fundamental para no apoyar o llevar a cabo actividades económicas que causen un perjuicio significativo a alguno de los seis principios ambientales clave: la mitigación y adaptación al cambio climático, el uso sostenible del agua y los recursos marinos, la transición hacia una economía circular, la prevención y control de la contaminación y la protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas (Hahn y Kolk 2020).

Este trabajo busca identificar en qué medida la definición de la energía nuclear como “energía de transición” adoptada por la UE es compatible con el Principio de No Causar Daños

Significativos (DNSH). Para ello, la investigación se focalizará en la anteriormente mencionada Taxonomía de Inversión Verde de la UE. Se argumenta que la definición de la energía nuclear como una energía de transición es incompatible con el principio DNSH debido a los riesgos ambientales inherentes a toda su cadena productiva.

La metodología empleada en esta investigación está centrada en el análisis de contenido. Se identificarán y recopilarán documentos clave relacionados con la Taxonomía de Inversión Verde y el Acto Delegado Climático Complementario en energía nuclear, realizando un análisis comparativo. Luego, se llevará a cabo la recopilación de datos sobre el ciclo de vida de la energía nuclear para evaluar los impactos ambientales en cada etapa productiva. Finalmente, se compararán los resultados del análisis del ciclo de vida con los criterios de la Taxonomía de Inversión Verde, especialmente en relación con el principio de DNHS.

A tal fin, el trabajo revisará, en primer lugar, el estado actual del debate en torno a la energía nuclear, considerando argumentos tanto desde la perspectiva de los ecologistas nucleares como del movimiento antinuclear y la gestación de la discusión acerca de la energía nuclear. Luego analizaremos las divergencias entre la Taxonomía de Inversión Verde y el Acto delegado Climático Complementario (ADCC) que incluye a la energía nuclear como energía de transición. Por último, nos focalizaremos en la investigación del ciclo de vida de la energía nuclear en cada fase productiva para analizar su compatibilidad con el principio DNSH. Esto nos permitirá analizar en profundidad la conexión de la energía nuclear y su compatibilidad e incompatibilidad con el DNSH. Se puede concluir preliminarmente que la energía nuclear es incompatible con al menos dos de los seis objetivos medioambientales establecidos en el DNHS, y que, además, existe un riesgo inherente a la gestión y almacenamiento de los residuos radiactivos, lo cual es, hoy en día, una de las principales tensiones entre la catalogación de la energía nuclear como una energía “verde”.

II. Energía nuclear y transición energética: un espacio de disputa.

La transición energética hacia fuentes de energía renovable es una de las mayores preocupaciones a nivel mundial debido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto

invernadero y combatir el cambio climático. Las discusiones actuales sobre el modelo de generación eléctrica y la búsqueda de fuentes de energía sostenibles y de bajo impacto ambiental juegan un papel fundamental en el debate sobre la viabilidad y conveniencia de distintos sistemas energéticos. Este proceso dinámico y multifacético constituye el núcleo de las discusiones teóricas y prácticas entre las diversas propuestas de modelos energéticos. En su centro está la idea de sustentabilidad y justicia energética, reconociendo que la disponibilidad y explotación de los recursos energéticos no deben comprometer las necesidades de las futuras generaciones ni exacerbar las desigualdades sociales ya existentes (Wissenburg 2006).

Este desafío de gran envergadura impulsa la necesidad de una gestión prudente y estratégica de los recursos naturales. El objetivo es alcanzar un equilibrio entre la explotación y la regeneración de estos recursos, mitigando las repercusiones negativas en el medio ambiente y las comunidades humanas. En este contexto, es imperativo abordar las cuestiones de justicia social y ambiental. Ello implica identificar y tratar las desigualdades sociales y asegurar una distribución equitativa de responsabilidades y las consecuencias derivadas de la insostenibilidad, lo que representa un paso esencial hacia un futuro más equilibrado y justo (Luke 2005).

Un ejemplo de ello es la energía nuclear, discutida y aprobada como una energía de transición en el *complementary delegated act* de la Taxonomía de Inversión Verde. La energía nuclear es una fuente de energía que genera electricidad a partir de la fisión de núcleos atómicos liberando grandes cantidades de energía (Varro et al. 2021). Este proceso se logra mediante la colisión de un núcleo de uranio (^{235}U), un elemento altamente radiactivo, con un neutrón. Como resultado de esta descomposición, los neutrones se mueven a alta velocidad y la energía térmica o calorífica derivada de su exceso de energía cinética se aprovecha para generar energía eléctrica. De hecho, tanto la generación de electricidad a través de la energía nuclear como mediante la quema de combustibles fósiles se basa en la producción de vapor causado por el intenso calor. Es este vapor el que impulsa las turbinas que generan electricidad (Conesa 2011).

La consideración de la energía nuclear como una energía de transición en la Taxonomía Verde implica una evaluación cuidadosa de su capacidad para cumplir con los objetivos medioambientales establecidos sin causar daños significativos a otros aspectos ambientales. En

este marco se inserta el principio de No Causar Daños Significativos (DNSH), un criterio clave en la Taxonomía de Inversión Verde de la UE. Este establece que, para que una actividad económica sea considerada "sostenible" y pueda ser incluida en la Taxonomía Verde, no solo debe contribuir significativamente a al menos uno de los seis objetivos medioambientales establecidos en ella -a saber, la mitigación y adaptación al cambio climático, el uso sostenible del agua y los recursos marinos, la transición hacia una economía circular, la prevención y control de la contaminación y la protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas - sino que también debe evitar causar daño significativo a cualquiera de los otros objetivos medioambientales (Reglamento UE 2019/2088). Dicho en otras palabras, significa que una actividad no puede ser considerada sostenible si causa daño a otros objetivos ambientales. Por ejemplo, una actividad que contribuye a la mitigación del cambio climático, pero causa daño a la biodiversidad no se calificaría como 'sostenible' según la Taxonomía.

Dicho principio ha suscitado diversas controversias que se centran en la definición de "daño significativo", el alcance de su aplicación y su interacción con las necesidades prácticas y económicas. En este sentido, el daño ambiental puede ser definido como "cualquier cambio adverso, medible y significativo, directo o indirecto, inmediato o a largo plazo, en el ambiente físico (aire, agua, suelo), en la biodiversidad, o en una función ecológica significativa, causado por un factor antropogénico" (Boer 2015: 45). Una de las mayores dificultades que presenta está basada en el "balance" de la medición y los tipos de daños, por lo que puede ser difícil de aplicar en situaciones donde una actividad tiene múltiples impactos, algunos de los cuales pueden ser vistos como positivos y otros negativos.

A. Gestación del espacio de disputa: raíces del debate

El debate sobre los usos de la energía nuclear no es reciente, sino que se remonta a sus primeros momentos. A pesar del gran optimismo que suscitó a finales de los años cincuenta como una nueva alternativa energética, la energía nuclear fue inicialmente objeto de controversia. Esto se debió, en gran medida, a la imagen negativa asociada con sus aplicaciones militares en la Segunda Guerra Mundial, donde los acontecimientos de Hiroshima y Nagasaki ejemplificaron el

potencial destructivo de esta forma de energía cuando se emplea con fines no pacíficos (Tognoli 2017).

En el ámbito académico, el debate sobre la energía nuclear tiene sus raíces en la década de 1980. Sin embargo, la discusión sobre la energía nuclear fue particularmente marcada por el fuerte activismo que comenzó a manifestarse desde la década de 1970, especialmente en países como Alemania y Francia, donde las poblaciones cercanas a las nuevas instalaciones nucleares expresaron preocupaciones significativas. Durante ese período, la oposición a la energía nuclear fue generalizada pero fragmentada, con organizaciones que se formaron de manera informal o semi-informal. Sin embargo, más adelante, los activistas antinucleares de todo el mundo argumentaron que los problemas en una planta de energía nuclear en cualquier parte del mundo podrían tener repercusiones de gran alcance a escala regional, continental e incluso planetaria, como lo han demostrado repetidamente los accidentes en Harrisburg en 1979, Chernóbil en 1986 y Fukushima en 2011, por lo que se empezó a gestar un movimiento más generalizado en el seno de ONGs profesionales que se asociaron íntimamente con el medio ambiente a partir de la década de 1980 (Tompkins 2016).

A mediados de la década de 1970, las comunidades cercanas a las futuras centrales nucleares de Austria, Dinamarca, Francia, Italia, Japón, Países Bajos, España, Suecia, Suiza, el Reino Unido, los Estados Unidos y Alemania Occidental se encontraron casi simultáneamente con cuestionamientos similares acerca del impacto potencial de la energía nuclear en su salud, medio ambiente y forma de vida (Tompkins 2016). La contingencia también contribuyó a reforzar estos acontecimientos. El accidente en la central nuclear de Three Mile Island en 1979 aumentó enormemente la preocupación por los riesgos de la energía nuclear, lo que conllevó a un aumento drástico en la participación y manifestación en contra de la energía nuclear (Tompkins 2016).

Este fue el comienzo de la consolidación un movimiento de protesta antinuclear en Alemania, que se vio cimentado por la primera gran manifestación antinuclear en la capital del país. Tal es el caso, que la coalición entre socialdemócratas y verdes estableció un acuerdo con la industria nuclear en el año 2000 para desmantelar gradualmente las plantas, que se convirtió en ley en 2002. En 2010, una coalición de democristianos y liberales, que habían sido hostiles a la

eliminación gradual desde el principio, la desaceleró significativamente, pero luego la aceleró nuevamente después del accidente nuclear de Fukushima en 2011 (Tompkins 2016).

Si la coincidencia ayudó a protestar en Alemania, la amortiguó en Francia. Allí, las protestas aisladas contra las centrales nucleares continuaron en todas partes, pero hubo poca movilización efectiva más allá del nivel local hasta una gran manifestación en La Haya. Las protestas que tuvieron lugar en 1980 se convertirían en emblemáticas de los resultados políticos finalmente divergentes en Alemania y Francia (Tompkins 2016).

B. Energía nuclear como energía de transición: Debates sobre su inclusión en la Taxonomía de la UE

El debate sobre la energía nuclear ha vuelto a reaparecer luego de la crisis energética producida por la guerra en Ucrania. La falta de gas ruso en muchos países impulsó a aquellos discursos partidarios de reabrir y legitimar nuevamente esta opción dentro de las estrategias para descarbonizar la economía y reducir las emisiones para atenuar el calentamiento. En el año 2021, la Unión Europea logró un acuerdo histórico con el fin de transformar su economía y reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en un 55% para el año 2050 en comparación con los niveles de 1990, estableciendo así el "Objetivo 55". Aunque la Comisión Europea ha propuesto la inclusión de la energía nuclear en este objetivo, el paquete de medidas no asigna financiación específica para esta fuente de energía (Comisión Europea, 2021).

A principios de 2021, la Comisión lanzó un comunicado reconociendo que, para ser más "ambiciosa" con el Objetivo 55, se debe incluir la energía nuclear con el fin de transicionar hacia una economía verde para 2050 y lograr así la reducción de más de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este compromiso ha situado al sector energético en el centro de la atención política, dado que absorbe aproximadamente el 28% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea, según datos de Eurostat en 2018 (Comisión Europea, 2021).

Sin embargo, en abril de 2021, tras consultas a las partes interesadas y la comunidad científica, la Comisión Europea adoptó, mediante un acto delegado, la sección de la Taxonomía

relacionada con la energía y el clima, dejando pendiente la decisión sobre el tratamiento del gas natural y la energía nuclear, sobre las cuales existía un amplio desacuerdo. Alemania y otros países de Europa central, dependientes del gas ruso y con inversiones significativas en gasoductos e infraestructura, defendieron el gas natural como una energía de bajas emisiones para facilitar la transición a las energías renovables, dejando atrás el carbón y la energía nuclear. La defensa de la energía nuclear como una energía "limpia", por no generar emisiones de carbono en funcionamiento, fue liderada por Francia, el país que tiene mayor peso en el mix energético y una industria nuclear más fuerte. Sin embargo, para muchos Estados miembros y movimientos ambientalistas, ambas fuentes de energía no podrían ser consideradas "verdes" (Sanahuja 2022).

A pesar de la rigurosidad inicial del criterio de la Taxonomía, se introdujo un acto complementario en 2022 mediante el llamado acto delegado de Taxonomía climática. Este acto amplió el alcance de las actividades de transición para incluir ciertas actividades económicas que emplean tecnologías específicas relacionadas con el gas y la energía nuclear, las cuales no estaban inicialmente contempladas. La introducción de esta modificación se presentó como una respuesta aparente a la urgencia de abordar el cambio climático, aunque resulta paradójico que se haya lanzado la iniciativa en medio de la crisis energética desencadenada por el conflicto entre Rusia y Ucrania.

En febrero de 2022, tras una última ronda de consultas y ante la falta de acuerdo, la Comisión adoptó un acto delegado adicional sobre clima referido a ambas fuentes de energía, considerándolas "sostenibles" como instrumentos de transición, bajo condiciones muy estrictas y con un plazo para nuevas plantas que para la energía nuclear se extiende hasta 2045 (Spinaci 2022). Según la Comisión Europea, esta inclusión se basa en criterios científicos rigurosos, respaldados por informes y argumentos elaborados por el Grupo Técnico de Expertos (TEG), así como por informes elaborados por miembros de la sociedad civil, la academia y diversos sectores financieros y empresariales.

La decisión de la Comisión fue ampliamente cuestionada por varios Estados miembros, la sociedad civil y diversos inversores y empresas, alegando que reforzaba la dependencia europea

del gas ruso y que otorgar el sello de sostenibilidad podría socavar la credibilidad internacional y europea de la Taxonomía desde su inicio (Sanahuja 2022).

En este sentido, algunos actores políticos y económicos pueden ver en la energía nuclear una opción viable y atractiva debido a su potencial para reducir las emisiones de CO₂ y proporcionar una fuente de energía confiable (Konings et al. 2021), otros pueden oponerse a ella por los riesgos y desafíos que presenta, entre éstos: el manejo de residuos nucleares, los riesgos de seguridad de transporte y almacenamiento y los posibles impactos negativos en la biodiversidad (Casasola 2014).

Así entonces, el debate puede observarse desde dos grandes posiciones: las perspectivas del ecologismo nuclear y del movimiento antinuclear. Estas perspectivas representan un conjunto diverso de enfoques y consideraciones que deben tenerse en cuenta al tomar decisiones a la hora de considerar a la energía nuclear como una fuente de energía viable para la transición energética. Ambos lados plantean puntos críticos y relevantes que pueden informar de manera integral las políticas y estrategias en torno a la energía nuclear y su papel en el futuro energético.

Por un lado, el ecologismo nuclear sostiene que la energía nuclear puede ser una solución viable para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y garantizar la seguridad energética en el corto y mediano plazo. En este sentido, plantea como premisa principal que las inversiones en este sector reducirían la dependencia de combustibles fósiles y la consecuente emisión de Dióxido de Carbono (CO₂). Esto se debe a que la energía nuclear resulta ser una energía “más limpia” en términos de emisiones de CO₂ (Spinaci 2022). Sumado a esto, según el argumento de la Unión Europea (2022), la energía nuclear podría disminuir la dependencia energética de Rusia, otorgando a los países una mayor soberanía en materia energética.

Estos argumentos se basan en el supuesto de la eficiencia y confiabilidad de la energía nuclear, así como en su capacidad para generar electricidad de manera continua sin interrupciones. Además, Konings et al. (2021) destacan que la energía nuclear puede contribuir a la mitigación del cambio climático sin causar un daño significativo a la salud humana o al medio ambiente. Esto la ubicaría en los lineamientos de sustentabilidad a los que adhiere la UE dado que, según este

criterio, la energía nuclear contribuiría al objetivo de política climática de alcanzar la neutralidad en las emisiones de CO₂ hacia 2050. A esto agregan que existe una ausencia de evidencia científica que revele mayores daños provocados por la energía nuclear en la salud humana o ambiental en comparación con otras tecnologías de producción de electricidad ya incluidas en la Taxonomía como actividades de apoyo a la mitigación del cambio climático (Konings et al. 2021).

Por otro lado, el movimiento antinuclear critica la catalogación de la energía nuclear como una fuente de transición energética, argumentando que esta tecnología no es verdaderamente sostenible ni compatible con los objetivos medioambientales del Pacto de París¹. Algunos críticos, como Zentner (2022), sostienen que la toma de decisiones políticas en materia energética está influenciada por narrativas a favor de la energía nuclear respaldadas por argumentos sesgados o incompletos. La inclusión de la energía nuclear fue deliberada, respaldada por informes y argumentos elaborados por el Grupo Técnico de Expertos (TEG), así como por informes elaborados por miembros de la sociedad civil, la academia y diversos sectores financieros y empresariales. Aunque se trata de un grupo promotor de la energía nuclear, sus contribuciones al debate sobre el perfil energético de la UE son consideradas como criterios objetivos. En este sentido, una de las críticas del movimiento antinuclear a estas contribuciones es que solo consideran las emisiones de CO₂ durante el proceso de generación de energía por fisión, ignorando toda la cadena productiva de la energía nuclear (Zentner, 2022). En este sentido, este trabajo tiene como objetivo identificar en qué medida la definición de la energía nuclear como “energía de transición” adoptada por la UE es compatible con el principio DNSH, teniendo en cuenta toda la cadena productiva de la energía nuclear.

En este marco se insertan los trabajos de Luis Sánchez Vázquez. Según el autor, los estudios actuales sobre las problemáticas ambientales de la energía nuclear se pueden abordar desde los análisis del ciclo de vida que estudian la cadena productiva -también conocidos como *life cycle analysis*- (Sánchez Vázquez 2011). Estos son utilizados para evaluar el impacto ambiental de diferentes tecnologías o procesos de producción. En los últimos años, se han llevado

¹ A saber: limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C, preferiblemente a 1,5°C; mejorar la adaptación al cambio climático; reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para alcanzar un equilibrio con los sumideros de carbono; promover un desarrollo sostenible y una transición justa hacia economías bajas en carbono; implementar un sistema de transparencia para rastrear el progreso y ajustar los esfuerzos; y fomentar la cooperación internacional mediante el intercambio de conocimientos y tecnología (UNFCCC 2015).

a cabo varios estudios sobre el ciclo de vida de las principales fuentes de producción de energía. Sin embargo, estos estudios tienden a enfocarse principalmente en las emisiones de CO₂ (Sánchez Vázquez 2011).

Si se tiene en cuenta el “ciclo de vida nuclear”, la energía nuclear es mucho más intensiva en carbono que otras fuentes de energía renovable. El ciclo de vida de energía nuclear comprende una serie de actividades encadenadas en la totalidad del ciclo productivo que incluye desde la minería, la construcción de nuevas plantas y puesta en marcha de plantas envejecidas hasta la conversión del uranio en combustible nuclear, su transporte hacia las centrales nucleoelectricas y el posterior almacenamiento de los residuos nucleares (Kaineder 2020). Además, es esencial considerar el manejo de la radiactividad residual del material, incluyendo su enfriamiento y otras medidas necesarias. En términos de contaminación, también es relevante el procesamiento, almacenamiento y manejo de todos los subproductos, desechos y emisiones generados durante el proceso de fisión nuclear en los reactores (Picquart 2016). A esto se suma la cuestión de los residuos radiactivos y los riesgos que presenta para la seguridad ambiental, tanto la generación continua de toneladas de residuos radiactivos como la gestión de los residuos nucleares. Al seguir emitiendo radiación por cientos de años, esos residuos deben ser almacenados de forma segura durante períodos de tiempo extremadamente largos, pero en la actualidad no existen dispositivos de almacenamiento finales de residuos nucleares. Ello plantea riesgos a largo plazo para el ambiente y las comunidades cercanas, ya que no se descarta que puedan ocurrir rupturas en los almacenamientos o derrames por la erosión del suelo (Picquart 2016). En este trabajo tendremos en cuenta todas las fases enumeradas anteriormente y la inconsistencia que plantea en relación con los objetivos medioambientales del principio DNSH.

A su vez, los accidentes nucleares pueden tener efectos devastadores en el ambiente y en la biodiversidad. En particular, la contaminación radiactiva puede afectar a la flora y la fauna, alterando los ecosistemas y reduciendo la biodiversidad. Los accidentes ocurridos en Chernóbil (1996) y Fukushima Daiichi (2011) pusieron de manifiesto los riesgos de la energía nuclear y la necesidad de mejorar la seguridad de las centrales nucleares. Además de los efectos inmediatos del accidente, la liberación de radiación también tuvo impactos a largo plazo en la salud humana y el medio ambiente (Galán 2013).

Este debate sobre la energía nuclear también tiene importantes implicaciones políticas más allá de las discusiones sobre su sustentabilidad climática y criterios de seguridad energética. La financiación y el respaldo político son elementos cruciales para el desarrollo de cualquier sistema energético. También existe el argumento de que la inversión en energía nuclear podría desviar recursos financieros y políticos necesarios para desarrollar las energías renovables, retrasando así la transición hacia una energía verdaderamente sostenible. Buján (2018) sostiene que la revitalización de la energía nuclear podría no ser beneficiosa para la transición a las energías renovables, ya que la inversión que se podría destinar a energías verdes y limpias se desvía hacia la energía nuclear.

Teniendo en cuenta los conceptos hasta aquí expuestos, es esencial comprender la complejidad de la transición energética y la búsqueda de fuentes de energía sostenible, que se enfrentan al desafío de garantizar la justicia energética sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. En este marco, el principio DNSH de la Taxonomía de Inversión Verde de la Unión Europea representa un criterio clave para evaluar la verdadera sostenibilidad de las inversiones en energía, incluyendo la energía nuclear que plantea dilemas significativos en términos de seguridad y gestión de residuos radiactivos, como se ha mencionado.

Por tanto, la investigación de la compatibilidad entre la Taxonomía de la energía nuclear y el DNSH es crucial, requiriendo un análisis equilibrado de los beneficios y costos ambientales-sociales a lo largo de todo el ciclo de vida de la energía nuclear. Este análisis detallado tiene en cuenta las implicancias de la energía nuclear en términos de justicia social y ambiental, evaluando la manera en la cual los impactos no pueden alinearse con el principio DNSH ni promover un futuro más sostenible y justo.

III. Metodología

El presente trabajo de investigación es abordado mediante un enfoque cualitativo caracterizado por la utilización del análisis de contenido como herramienta principal para la interpretación. Este enfoque se considera adecuado para el estudio detallado de la energía nuclear y su relación con el

principio de no causar daños significativos (DNHS), así como el ciclo de vida de la energía nuclear y la Taxonomía de Inversión Verde de la Unión Europea (Reglamento UE 2019/2088).

El análisis se realizó en dos pasos. En primer lugar, se identificaron y recopilamos documentos clave relacionados con la Taxonomía de Inversión Verde de la Unión Europea y el Acto Delegado Climático Complementario (ADCC) en energía nuclear, los cuales se han seleccionado debido a su relevancia y aportaciones al marco regulatorio y conceptual de la inversión verde. Luego, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los criterios establecidos en la Taxonomía de Inversión Verde, comparándolos con los del ADCC en puntos clave que hemos establecido a fines prácticos, a saber: objetivos, alcance y metodología de evaluación.

El objetivo de analizar ambos documentos es discernir los temas y argumentos desplegados tanto en la Taxonomía como en el ADCC, examinando si existen similitudes o diferencias en los conceptos y usos de estos términos en las normativas de Taxonomía de Inversión Verde y el ADCC. El análisis de contenido se enfoca en lograr desarmar las perspectivas que orientan las políticas y directrices de la UE respecto a la energía nuclear y su inclusión como energía de transición en el mecanismo de inversión verde. En específico, nos permitirá evaluar los sesgos conceptuales, si los hay, entre la Taxonomía de Inversión Verde y el ADCC con relación al principio de no causar daños significativos y los seis objetivos medioambientales que conforman dicho principio.

En segundo lugar, para comprender los impactos de la energía nuclear y su relación con el principio DNSH, se llevó a cabo una recopilación de datos relevantes sobre el ciclo de vida de dicha energía, utilizando el enfoque de Life Cycle Analysis. Este enfoque permite observar el ciclo productivo de la energía nuclear en su totalidad, desde la extracción de uranio y su posterior enriquecimiento hasta la gestión de residuos. A través de esta evaluación, se analizaron los impactos ambientales asociados con cada etapa del ciclo de vida de la energía nuclear. Los resultados de este análisis fueron posteriormente comparados con los criterios establecidos en la Taxonomía de Inversión Verde, examinando los seis principios clave incluidos en el principio de No Causar Daños Significativos para determinar si la energía nuclear cumple con los estándares de dicho principio.

IV. Taxonomía de Inversión Verde y acto delegado de la energía nuclear: un análisis comparativo.

Este apartado se centrará en las divergencias entre la Taxonomía de Inversión Verde y el Acto Delegado Climático Complementario (ADCC) que incluye a la energía nuclear como "energía de transición", ambos diseñados para fomentar inversiones sostenibles. La Taxonomía ha experimentado diversas modificaciones a través de los actos delegados de la Comisión, siendo el ADCC de gas y energía nuclear a principios de febrero de 2022 uno de los más relevantes ya que modifica la legislación vigente en la Taxonomía sobre las energías de transición. En esta legislación, la Comisión Europea regula específicamente qué productos financieros pueden considerarse "verdes" y "sostenibles" con el propósito de ofrecer seguridad de planificación a los inversores y dirigir el capital privado hacia inversiones en energía sostenible (Comisión Europea, 2021).

La Taxonomía original de Inversión Verde tiene criterios más estrictos para asegurar que las actividades clasificadas no causen daños significativos al medio ambiente. En contraste, el ADCC flexibiliza estos criterios para incluir energías como la nuclear y el gas, argumentando su papel en la transición energética, pero a costa de potenciales riesgos ambientales. Además, mientras que la Taxonomía busca una definición más estricta y clara de sostenibilidad, el ADCC amplía esta definición para incluir tecnologías que, si bien pueden ser necesarias a corto plazo, no están exentas de causar daños significativos a largo plazo. La relación entre estos conceptos y el principio DNSH radica en las diferentes interpretaciones y aplicaciones de este principio dentro de las políticas de sostenibilidad. La Taxonomía de Inversión Verde intenta mantener un estándar alto y claro para evitar daños ambientales, mientras que el ADCC introduce flexibilidad en estos estándares, lo que puede comprometer, según algunos críticos, la integridad del principio de no causar daños significativos. En este sentido, evaluaremos de modo comparativo las interpretaciones de ambos documentos en relación con dicho principio.

A pesar de compartir el objetivo general de promover la transición hacia una economía baja en carbono, estas dos iniciativas difieren significativamente en términos de sus objetivos, alcance y metodología de evaluación.

Objetivos

La Taxonomía de Inversión Verde tiene como objetivo establecer un marco claro para identificar qué actividades económicas son consideradas sostenibles, abarcando áreas como la mitigación del cambio climático, la adaptación al mismo, el uso sostenible de recursos y la prevención de la contaminación. En este sentido, se define como un sistema de clasificación que “[...] introduce criterios de desempeño claros para determinar qué actividades económicas contribuyen de manera sustancial a los objetivos del Pacto Verde [...]” (Comisión Europea 2021: 2). Estos criterios crean “[...] lenguaje común que permite a empresas e inversores comunicar sobre las actividades ecológicas con mayor credibilidad y los ayuda a navegar por la transición que ya está teniendo lugar. [...]” (Comisión Europea 2021: 2).

Por su parte, el ADCC se enfoca específicamente en la energía nuclear y el gas natural como componentes de la transición energética, sin abordar otros aspectos de la sostenibilidad. El acto delegado sobre Taxonomía climática de la UE, que está sometido al examen del Parlamento Europeo y del Consejo, proporciona la primera serie de criterios técnicos para definir las actividades que contribuyen de forma sustancial a la mitigación del cambio climático y a la adaptación al mismo, que son los dos primeros objetivos medioambientales de los seis previstos por el principio DNSH de la UE (Comisión Europea 2022).

En este sentido, la Taxonomía Verde de la UE, a través del principio DNSH, establece un marco riguroso para evaluar la sostenibilidad de las actividades económicas. Aunque la energía nuclear puede tener ventajas en términos de bajas emisiones de CO₂ y bajas tasas de mortalidad, los problemas asociados con la gestión de residuos radiactivos plantean desafíos significativos para su inclusión como una opción verdaderamente sostenible dentro de este marco. La evidencia y los argumentos presentados por la Comisión Europea y otros estudiosos subrayan la necesidad de abordar estos desafíos de manera integral para garantizar que la transición energética no comprometa otros objetivos medioambientales y de salud pública (Comisión Europea 2021; 2022).

Alcance y objetivos específicos

Para comprender en que se diferencia la Taxonomía de inversión verde inicial y el Acto delegado Climático Complementario, debemos delimitar el alcance de actividades en las que busca estar involucrada cada uno. En el caso de la Taxonomía de Inversión Verde, la Comisión Europea busca que, al realizar inversiones significativas en tecnologías, se reduzca el impacto ambiental y así se logre respaldar a las industrias en sus esfuerzos por innovar y adoptar prácticas más sostenibles. Un aspecto fundamental es la transformación del sector del transporte, tanto público como privado, hacia opciones más limpias y eficientes. Esto implica el despliegue de sistemas de transporte público que reduzcan las emisiones de carbono y promuevan una movilidad más accesible y saludable. Además, se fomenta el desarrollo de vehículos privados más ecológicos y la implementación de infraestructuras que apoyen la movilidad sostenible (Comisión Europea 2021).

En el ámbito energético, la descarbonización del sector es primordial, promoviendo el uso de fuentes de energía renovable y la adopción de prácticas más eficientes. Esto incluye el alcance de medidas para mejorar la eficiencia energética de los edificios, garantizando que sean más sostenibles y reduciendo así su impacto ambiental. Asimismo, se busca colaborar con socios internacionales para establecer normas medioambientales globales más rigurosas y promover la adopción de prácticas sostenibles en todo el mundo (Comisión Europea 2021).

Además de sus objetivos ambientales, busca generar beneficios económicos y sociales significativos. Se estima que el alcance de la implementación de la Taxonomía de Inversión Verde podría generar hasta 12 millones de puestos de trabajo en sectores relacionados con la economía verde lo que, según la Comisión Europea, contribuiría no solo a la protección del medio ambiente, sino también al crecimiento económico y la creación de empleo en la Unión Europea. (Comisión Europea 2019: 12).

El alcance del acto delegado, en cambio, se limita a definir aquellas actividades que se consideran “transicionales” dentro de la energía nuclear y el gas natural, “[..] dado que es posible que todavía no se disponga de alternativas hipocarbónicas viables desde el punto de vista tecnológico y económico a una escala suficiente para satisfacer la demanda de energía de manera

continua y fiable [...]” (Comisión Europea 2022: 2). En este sentido, el alcance de actividades en las que esta involucrada el ADCC está limitado a la energía nuclear y el gas natural. Estas actividades, para adherirse al acuerdo de inversión verde deberían cumplir con ciertas rigurosidades en lo que respecta a los objetivos medioambientales y el principio de no causar daños significativos.

Metodología de evaluación

La metodología de evaluación de la Taxonomía de Inversión Verde de la Comisión Europea constituye un proceso multidisciplinario y riguroso que aborda la identificación y evaluación de actividades económicas sostenibles. Este proceso se caracteriza por varias etapas que proponen garantizar la coherencia, la transparencia y la eficacia en la determinación de qué actividades pueden considerarse ambientalmente sostenibles y, por lo tanto, merecedoras de un tratamiento preferencial en el ámbito de la inversión y financiamiento. En este sentido, lo que se intenta lograr mediante este proceso es evitar el “*Green washing*”².

En primer lugar, se inicia con la identificación de actividades económicas que cumplan con el principio de no causar daños significativos, lo que implica que se adapten a los criterios de sostenibilidad de dicho principio, a saber: la mitigación y adaptación al cambio climático, el uso sostenible del agua y los recursos marinos, la transición hacia una economía circular, la prevención y control de la contaminación y la protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas. Esta fase se apoya en una amplia revisión de literatura y análisis de expertos en los campos relevantes de estudio, tales como economía, ciencias ambientales y políticas públicas (Comisión europea 2019).

Posteriormente, se procede al desarrollo de criterios técnicos específicos para cada sector económico identificado. Estos criterios establecen los estándares y requisitos que una actividad económica debe cumplir para ser considerada sostenible. Este proceso implica la integración de los conocimientos científicos más actualizados disponibles, así como la consulta con expertos en

² El concepto de “greenwashing” —traducido al español como “lavado de cara verde”— se refiere a las actividades que buscan crear una imagen positiva en cuanto al cuidado del medioambiente, a pesar de que detrás de ellas se esconde una industria que no es en absoluto sostenible. Su objetivo principal es cumplir con estándares internacionales de producción que aparentan tener un impacto neutral, generando en los consumidores una falsa sensación de empatía hacia el medioambiente. Sin embargo, esta percepción resulta ser engañosa.

los campos relevantes para garantizar la robustez y pertinencia de los criterios establecidos (Comisión europea 2020).

Una vez desarrollados, los criterios técnicos se someten a consultas públicas y expertas para recabar opiniones y retroalimentación de una amplia gama de partes interesadas, incluyendo a la industria, la sociedad civil, la comunidad científica y los reguladores. Esta fase garantiza la inclusión de múltiples perspectivas y la consideración de diversos intereses en el proceso de formulación de criterios. Posteriormente, los criterios técnicos validados y aprobados se aplican en la evaluación de inversiones para determinar si una actividad económica cumple con los requisitos de sostenibilidad establecidos (Comisión europea 2020).

Este proceso implica un análisis exhaustivo del impacto ambiental, social y de gobernanza de la actividad en cuestión, utilizando herramientas y métodos específicos de evaluación. Finalmente, las actividades económicas que cumplen con los criterios técnicos de la Taxonomía de Inversión Verde pueden recibir una certificación o etiquetado verde que las identifica como inversiones sostenibles. Este reconocimiento puede facilitar su financiamiento por parte de inversores, instituciones financieras y fondos de inversión que priorizan criterios ambientales, sociales y de gobernanza (Comisión europea 2020).

Para del Acto delegado Climático Complementario sobre energía nuclear y gas natural, el Grupo de Expertos Técnicos (GET) jugó un papel crucial en asesorar a las Comisiones Europeas sobre la Taxonomía y su Acto delegado Climático Complementario, lo que resultó en la inclusión de la energía nuclear y el gas natural en la Taxonomía como actividades financieras consideradas "sostenibles". El Comité Científico Independiente (CCI), un grupo permanente de expertos técnicos dependiente de la Comisión se encargó de proporcionar pruebas adicionales para respaldar estas decisiones políticas (Zentner 2022). Dicho comité, recibió el encargo de abordar si la energía nuclear comprometía el principio DNSH en relación con los objetivos medioambientales, una cuestión central planteada por el Grupo Técnico de Expertos. Su informe respaldó la inclusión de la producción de energía nuclear en la Taxonomía y sirvió como base para la aplicación prevista por la Comisión. En términos generales, el comité examinó a fondo la cuestión y las pruebas asociadas a las emisiones de las centrales nucleares, destacando su baja

emisión de gases de efecto invernadero, óxidos nitrosos y dióxido de azufre, en línea con los objetivos ambientales establecidos. Sin embargo, persisten preocupaciones sobre la disposición final segura de los residuos radiactivos. Tras consultas exhaustivas con partes interesadas y expertos, el Grupo Técnico de Expertos recomendó la inclusión del gas natural en la Taxonomía, reconociendo su importancia para la producción de energía en varios Estados miembros y su contribución a la mitigación del cambio climático como fuente de energía con menores emisiones de carbono.

V. Energía nuclear y principio de no causar daños significativos: estudios sobre el ciclo de vida de la energía nuclear.

En este apartado procederemos a realizar un análisis detallado en torno a la energía nuclear y su correlación con el principio de DNSH. La principal preocupación subcita de nuestra observación sobre el criterio de evaluación del ADCC, el cual se centra en los costos asociados con las emisiones de gases de efecto invernadero, destacando constantemente que las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de la generación de electricidad a partir de energía nuclear (en funcionamiento) se sitúan por debajo del umbral de 100 g CO₂e/kWh.

Esto refuerza su posición como una opción que cumple con los criterios de sostenibilidad y mitigación del cambio climático establecidos por la Taxonomía, aunque considera de manera limitada las demás fases del ciclo de vida de la energía nuclear. Es por ello que en este apartado se examinan las fases del ciclo de vida de la energía nuclear y se contrasta con los parámetros establecidos por el DNSH. Dicho principio se posiciona como un elemento crucial al explorar su intersección con la energía nuclear. Dentro de este marco, la Comisión ha optado por aplicar el principio de DNSH el cual dicta que ninguna inversión sostenible de productos financieros bajo la Taxonomía deberá infringir de manera significativa los objetivos medioambientales en áreas clave como la mitigación del cambio climático, la adaptación al cambio climático, el uso sostenible y la protección de los recursos hídricos y marinos, la transición a una economía circular, la prevención y el control de la contaminación y la protección y restauración de la biodiversidad y los

ecosistemas, tal como se estipula en el artículo 34 del Reglamento sobre la Taxonomía (Reglamento UE 2019/2088).

En este sentido, el artículo 34 aclara explícitamente que: “[...] Uno de los elementos de los criterios uniformes debe ser evitar cualquier perjuicio significativo a alguno de los objetivos medioambientales establecidos en el presente Reglamento. Se pretende así evitar que una inversión se considere medioambientalmente sostenible cuando las actividades económicas a las que beneficia provoquen en el medio ambiente daños más importantes que la contribución que aportan a un objetivo medioambiental. [...]” (Reglamento UE 2019/2088).

La palabra "significativamente" permite una interpretación flexible sobre lo que constituye un daño ambiental importante o insignificante, siempre y cuando existan pruebas que respalden la noción de un daño insignificante. Este enfoque otorga un margen de apreciación para evaluar la magnitud del impacto ambiental, lo que implica que se deben considerar múltiples factores. Por un lado, la flexibilidad puede facilitar decisiones más matizadas que tomen en cuenta contextos específicos y las particularidades de cada situación. Por otro lado, este enfoque también puede abrir la puerta a la minimización de daños que, aunque puedan ser considerados insignificantes desde una perspectiva técnica, podrían tener repercusiones acumulativas o de largo plazo que no son evidentes a simple vista.

Según la Comisión Europea “[...] Dichos criterios deben tomar en consideración el ciclo de vida de los productos y servicios que proporciona dicha actividad económica, además de los efectos medioambientales de la propia actividad económica, teniendo en cuenta también los datos de las evaluaciones del ciclo de vida de las que se disponga, en particular habida cuenta de la producción, uso y final de vida útil de los productos. [...]” (Reglamento UE 2019/2088).

En este sentido, la aparente flexibilidad interpretativa que ofrece la palabra "significativamente" en la evaluación del daño ambiental permite un análisis más matizado, pero también exige un cuidado extremo en su aplicación. Esta dualidad entre flexibilidad y rigor es fundamental para garantizar que las decisiones tomadas a favor de la sostenibilidad a largo plazo

sean realmente efectivas y alineadas con los objetivos de mitigación del cambio climático y protección ambiental.

Hasta la propia Comisión Europea reconoce la dificultad del principio DNSH y la necesidad constante de reevaluar la Taxonomía mediante actos delegados. A pesar de la rigurosidad aparente, en relación con la energía nuclear permiten que se introduzcan algunas modificaciones en la Taxonomía en cuanto a los criterios técnicos de selección. En términos generales, considera que estas fuentes de energía son esenciales para alcanzar los objetivos de mitigación del cambio climático, dado que la energía nuclear presenta emisiones de carbono significativamente menores durante su funcionamiento en comparación con el carbón, además de desempeñar un papel como fuente de energía de transición.

Sin embargo, una central nuclear no opera como un sistema autónomo, sino que esta constituye solo un elemento visible dentro de una secuencia de procesos industriales cruciales para su funcionamiento y la gestión segura de los residuos nucleares. Estos procesos están intrínsecamente vinculados con la energía nuclear y forman lo que se conoce como "cadena del proceso nuclear" o "ciclo de vida de energía nuclear". De hecho, a modo de ejemplos, las emisiones de CO₂ asociadas con la energía nuclear provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles y reacciones químicas en todos los procesos de la cadena y suceden por fuera del reactor nuclear.

Fase 1: extracción de uranio y procesamiento.

La primera fase del ciclo de energía nuclear se conforma por los ciclos de producción de combustible nuclear que incluyen la extracción de uranio natural -extracción y molienda de uranio- para luego realizar la conversión y el enriquecimiento de este (Alwaeli y Mannheim 2022). La minería de uranio puede realizarse mediante minería a cielo abierto, subterránea o lixiviación in situ (ISR). La minería a cielo abierto y subterránea implican la remoción de grandes cantidades de roca y tierra, lo que provoca erosión y pérdida de hábitats naturales. Además, estos métodos generan residuos de roca y relaves que contienen materiales radiactivos y metales pesados, los cuales pueden contaminar el suelo y las aguas subterráneas, afectando la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos (Sánchez Vázquez 2011). La lixiviación in situ, aunque menos invasiva en la superficie, conlleva el riesgo de contaminar las aguas subterráneas con las soluciones

químicas utilizadas para disolver el uranio y extraerlo del subsuelo (World Nuclear Association 2021).

Después de la extracción, el uranio debe ser procesado para convertirlo en un combustible utilizable, comenzando con la molienda, donde el mineral de uranio extraído se tritura y muele en una planta de procesamiento para extraer el uranio para luego producir un concentrado conocido como "yellowcake" (Alwaeli y Mannheim 2022). Este proceso genera residuos de molienda que contienen radiactividad residual y productos químicos, los cuales deben ser gestionados cuidadosamente para evitar la contaminación ambiental (National Research Council 2012). El siguiente paso es la conversión del concentrado de uranio en gas hexafluoruro de uranio (UF₆), necesario para el enriquecimiento. La conversión consume grandes cantidades de energía y produce residuos químicos y radiactivos. El UF₆ se somete a un proceso de enriquecimiento para aumentar la concentración de uranio-235, el isótopo que sustenta la reacción de fisión nuclear. Este proceso, llevado a cabo en instalaciones especializadas, también implica riesgos de seguridad y contaminación ambiental (World Nuclear Association 2021).

La minería y el procesamiento del uranio plantean varios desafíos ambientales que afectan directamente el uso sostenible y la protección de los recursos hídricos y marinos (uno de los objetivos medioambientales del principio DNSH), como lo establece la Taxonomía Verde de la Unión Europea (UE). La contaminación del agua es una preocupación principal, ya que la minería y el procesamiento generan residuos que pueden filtrarse en las aguas superficiales y subterráneas. Las soluciones de lixiviación y los residuos de molienda contienen radiactividad y productos químicos tóxicos que pueden afectar los suministros de agua potable y los ecosistemas acuáticos. Esto va en contra de los objetivos de la Taxonomía Verde de la UE, que busca proteger los recursos hídricos y marinos, asegurando que las actividades económicas no contribuyan a la contaminación y deterioro de estos recursos (Comisión Europea 2020).

Además, aunque la energía nuclear es baja en carbono durante la fase de generación de electricidad, la minería y el procesamiento del uranio son intensivos en energía y pueden contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero. La conversión y el enriquecimiento del uranio

requieren grandes cantidades de electricidad que a menudo se generan a partir de combustibles fósiles, exacerbando así el impacto ambiental (World Nuclear Association 2021). Este consumo intensivo de energía también puede generar una demanda excesiva de agua para enfriamiento, lo que agrava los problemas de uso sostenible de los recursos hídricos.

Mediante un análisis llamado "acantilado de energía" (Storm 2017), se puede observar la relación entre la energía consumida en la extracción de uranio y la energía generada a partir del uranio recuperado. Los recursos de uranio deben cumplir con este criterio: la energía requerida para extraerlo de la corteza terrestre debe ser menor que la que se puede generar a partir del uranio recuperado. Sin embargo, el análisis físico de los procesos de recuperación de uranio revela que la energía consumida por kilogramo de uranio natural recuperado aumenta exponencialmente con la disminución de las concentraciones de mineral. Esto implica el agotamiento de los recursos energéticos de uranio. Con el tiempo, la cantidad de uranio disponible para usar como fuente de energía se va reduciendo. Este proceso está relacionado con la termodinámica, que es la ciencia que estudia cómo se transforma la energía. En términos simples, cuando utilizamos uranio para generar energía, estamos transformando su energía en otra forma (como electricidad). A medida que lo usamos, se va agotando, y eso es un proceso natural. (Storm 2017).

Como queda en evidencia, la extracción y procesamiento de uranio son etapas críticas en el ciclo de vida de la energía nuclear que conllevan riesgos ambientales: la contaminación del agua, las emisiones de gases de efecto invernadero y los riesgos para la salud de los trabajadores y las comunidades cercanas son desafíos que deben ser gestionados cuidadosamente. Estos impactos deben ser minimizados para cumplir con el principio de DNSH mediante un uso sostenible y la protección de los recursos hídricos y marino y alinearse con los objetivos de la Taxonomía Verde de la UE. La evaluación y mitigación de estos riesgos son esenciales para considerar la energía nuclear como una opción viable y sostenible en la transición energética.

Fase 2: Del *Yellowcake* al enriquecimiento de Uranio. Conversión en combustible

El enriquecimiento de uranio se realiza por difusión y parte de sus requerimientos energéticos son cubiertos por plantas de producción eléctrica basadas en el carbón obteniendo una contribución a la emisión de gases invernadero de cerca de 40kg/MWh, según la World Nuclear Association (WNA 2010 en Sanchez Vazquez 2011). Por el contrario, la misma WNA puntualiza que en Francia, que tiene la mayor planta de enriquecimiento por difusión, la energía necesaria es suministrada por una central nuclear anexa, por lo que la contribución de gases invernadero de los reactores que usan el uranio enriquecido francés es de menos de 20 kg/MWh en total (Sánchez Vázquez 2011).

Dicho proceso de enriquecimiento involucra la conversión del *yellowcake* en hexafluoruro de uranio (UF₆), su enriquecimiento y la fabricación final del combustible. Esta conversión forma parte de una etapa en la cual se consumen grandes cantidades de energía y produce residuos químicos y radiactivos. Durante la conversión, el *yellowcake* se somete a una serie de reacciones químicas que lo transforman en gas. Este gas es crucial para el siguiente paso del proceso, pero su manejo y almacenamiento presentan riesgos significativos debido a su naturaleza corrosiva y su potencial para liberar materiales radiactivos en el ambiente (World Nuclear Association 2021).

El enriquecimiento del gas es otra fase intensiva en energía. El uranio natural contiene aproximadamente un 0.7% de uranio-235, el isótopo fisionable necesario para las reacciones nucleares en los reactores. Para ser utilizado como combustible nuclear, la concentración de dicho isótopo debe ser incrementada a alrededor del 3-5%. Este proceso de enriquecimiento se realiza utilizando técnicas como la difusión gaseosa o la centrifugación, las cuales son altamente energéticas y también generan residuos radiactivos. Las instalaciones de enriquecimiento deben operar bajo estrictas regulaciones de seguridad para prevenir fugas de material radiactivo y minimizar los impactos ambientales (World Nuclear Association 2021). Una vez enriquecido, el gas se convierte nuevamente a estado sólido, el cual es compactado en pequeños *pellets*, que se ensamblan en varillas de combustible, que luego se agrupan en conjuntos de combustible para su uso en los reactores nucleares.

El proceso completo de producción de combustible nuclear, desde la conversión hasta la fabricación, genera diversos tipos de residuos, incluidos desechos radiactivos de baja, media y alta actividad. La gestión de estos residuos es un desafío significativo ya que deben ser almacenados

y, en última instancia, dispuestos de manera segura para evitar cualquier impacto adverso en el medio ambiente y la salud humana. La producción de combustible nuclear también tiene implicaciones para el uso sostenible y la protección de los recursos hídricos y marinos, conforme uno de los seis objetivos del DSNH de la Taxonomía Verde de la Unión Europea (UE).

El consumo intensivo de agua para enfriamiento en las instalaciones de conversión y enriquecimiento puede ejercer una presión significativa sobre los recursos hídricos locales, especialmente en áreas donde el agua es escasa. Además, el riesgo de contaminación del agua por materiales radiactivos y productos químicos utilizados en el proceso es una preocupación constante. Para cumplir con los objetivos de la Taxonomía Verde de la UE, es esencial implementar prácticas de gestión del agua que minimicen el uso de este recurso y prevengan la contaminación (Comisión Europea 2020).

Fase 3: Operación de plantas nucleares

Esta fase implica la gestión diaria de los reactores nucleares, la generación de electricidad y la supervisión de la seguridad y el mantenimiento. Aunque es cierto que las plantas nucleares son una fuente de energía de baja emisión de carbono durante su operación, su ciclo de vida completo plantea desafíos significativos en términos de seguridad, gestión de residuos radiactivos y conflictos socioambientales.

La operación de una planta nuclear requiere una vigilancia constante para garantizar que los reactores funcionen de manera segura y eficiente. Esto incluye la supervisión de los sistemas de refrigeración, el control de las reacciones nucleares y la gestión de los residuos radiactivos generados. Los sistemas de seguridad están diseñados para prevenir accidentes, pero eventos como el desastre de Chernóbil en 1986 y el accidente de Fukushima en 2011 han demostrado que los fallos en estos sistemas pueden tener consecuencias que permanecen afectando la salud humana y el medio ambiente durante décadas. Alwaeli y Mannheim (2022) plantean que la operación segura de plantas nucleares requiere no solo tecnología avanzada sino también una cultura de seguridad robusta, donde la capacitación del personal y la adherencia estricta a los protocolos de seguridad son fundamentales para prevenir incidentes.

Así como la fase de extracción, la fase de operación de plantas nucleares también tiene implicaciones para el uso sostenible y la protección de los recursos hídricos y marinos, uno de los seis objetivos medioambientales del DNSH de la Taxonomía Verde de la UE. Las plantas nucleares utilizan grandes cantidades de agua para enfriar los reactores, lo que puede ejercer presión sobre los recursos hídricos locales. Este consumo intensivo de agua puede afectar la disponibilidad de agua para otros usos y alterar los ecosistemas acuáticos. Además, el riesgo de contaminación del agua por materiales radiactivos, aunque generalmente bajo debido a las estrictas medidas de seguridad, sigue siendo una preocupación. La Taxonomía Verde de la UE enfatiza la necesidad de gestionar estos impactos de manera sostenible, promoviendo tecnologías y prácticas que minimicen el uso de agua y eviten la contaminación (Comision Europea 2020).

Aunque en la praxis las masas de agua de alta temperatura son arrojadas a mar abierto, la comisión de la UE enfatiza que la actividad se ajusta a los criterios establecidos en el objetivo acerca de uso sostenible y la protección de los recursos hídricos y marinos, determinando que se deben abordar los riesgos de degradación ambiental relacionados con la preservación de la calidad del agua y la evitación del estrés hídrico, de conformidad con un plan de gestión del uso y protección del agua, elaborado en consulta con las partes interesadas afectadas (Comision Europea 2021). Según esta directiva, el control de la temperatura se realiza de conformidad con las condiciones de las licencias específicas concedidas para las operaciones concretas, cuando proceda, o con los valores umbral en consonancia con el Derecho de la Unión, donde las actividades nucleares se desarrollan de conformidad con los requisitos relativos a las aguas destinadas al consumo humano de la Directiva 2000/60/CE y de la Directiva 2013/51/Euratom por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.

Fase 4: Residuos radiactivos y radiación, una problemática sin solución.

La gestión de los residuos radiactivos es uno de los aspectos más desafiantes y controvertidos del ciclo de vida de la energía nuclear. Estos residuos, que incluyen materiales altamente radiactivos, deben ser aislados del medio ambiente durante períodos de tiempo extremadamente largos para evitar daños significativos. Los métodos actuales de gestión, como el

almacenamiento temporal y el almacenamiento geológico profundo, presentan riesgos de fugas y contaminaciones a largo plazo. La falta de soluciones definitivas y la incertidumbre sobre la seguridad a largo plazo de los almacenes geológicos cuestionan la compatibilidad de la energía nuclear con el principio DNSH.

La existencia de “residuos nucleares de alta actividad” requiere de soluciones, siendo necesario que los mismos no se depositen con carácter fragmentado. El almacenamiento de los residuos radiactivos se desarrolla mediante tres opciones. Dos de ellas son a medio plazo: el Almacén Temporal Individualizado (ATI) y el Almacén Temporal Centralizado (ATC). La restante es una opción a largo plazo: el Almacén Geológico Profundo (AGP) (Rodríguez 2020).

En la etapa de almacenamiento temporal (las dos opciones de mediano plazo), los residuos suelen ser almacenados en piscinas de enfriamiento y posteriormente en contenedores secos que son diseñados para proporcionar enfriamiento pasivo y contención de la radiación. Esta fase puede durar varias décadas, durante las cuales la radiactividad de los residuos disminuye significativamente. Sin embargo, el almacenamiento temporal no es una solución definitiva y los residuos nucleares a menudo se almacenan cerca de las zonas residenciales sin abordar adecuadamente las preocupaciones de salud y medio ambiente, lo que agrava la oposición pública (Rosa et al. 2010). Además, aún no se ha encontrado una solución definitiva y permanente para el depósito de residuos nucleares, especialmente residuos de alta actividad (HLW), debido a los cambios en los materiales de contención causados por la radiación (Ewing, Weber y Clinard 2019). Las soluciones provisionales a menudo se convierten en arreglos a largo plazo sin cumplir con los requisitos de seguridad necesarios. Sanders y Sanders (2020) han subrayado que la vida media de muchos materiales radiactivos es de al menos diez mil años, lo que complica aún más la gestión segura de estos residuos a largo plazo.

La UE sostiene que el almacenamiento geológico profundo representa la solución más avanzada y segura. Esta alternativa cuenta con un amplio respaldo en la comunidad de expertos a nivel mundial. Los informes de los Estados miembros correspondientes al año 2021 señalan avances significativos en la construcción de instalaciones de almacenamiento geológico profundo

en la Unión Europea (Comisión Europea 2022). No obstante, es importante destacar que actualmente estos proyectos se encuentran en la etapa de planificación y desarrollo, anticipándose que la primera instalación de este tipo, ubicada en Suecia, entrará en operación en 2025. En este sentido, cabe destacar que no hay un dispositivo de disposición final de residuos nucleares en la actualidad.

En el artículo 14 de la exposición de motivos (Comisión Europea 2022), la Comisión Europea precisa que, en el contexto donde las actividades económicas vinculadas a la energía nuclear son llevadas a cabo, es imperativo asegurar que el almacenamiento a largo plazo de los residuos no ocasione daños significativos y perdurables en el medio ambiente (Comisión Europea 2022). Por lo tanto, resulta fundamental establecer criterios específicos en los aspectos técnicos de selección para la gestión de estos residuos, lo que incluye la creación de un fondo destinado a la gestión de residuos radiactivos y otro para la clausura de instalaciones nucleares que no cuentan con las precauciones necesarias en lo que respecta a la eliminación de residuos. Este enfoque concuerda con el principio de que aquellos que generan los residuos deben hacerse responsables de los costos asociados con su manejo.

Las centrales nucleares tienen la ventaja de contar con bajas tasas de mortalidad (en funcionamiento), pero el almacenamiento de residuos de alta actividad (HLW) sigue estando relacionado con incertidumbres técnicas, además de tener en cuenta los efectos devastadores de los residuos nucleares en el medio ambiente y la salud pública. Los accidentes de Chernóbil y Fukushima sirven como trágicos ejemplos de las posibles consecuencias de la energía nuclear. Amplias zonas de tierra se han vuelto inhabitables debido al envenenamiento radiactivo y muchas personas aún sufren los efectos de la radiación (Zentner 2020). La evidencia científica muestra que los argumentos para la inclusión de la energía nuclear en la Taxonomía Verde de la UE incluyen factores como las emisiones de CO₂ a lo largo del ciclo de vida, que son más bajas en comparación con los combustibles fósiles y la baja letalidad relativa de las plantas nucleares en comparación con otras fuentes de energía. Sin embargo, la cuestión del almacenamiento de residuos nucleares se destaca como un problema significativo. La falta de conocimientos y la incertidumbre en torno al depósito geológico de residuos de alta actividad son argumentos importantes para señalar la

"falta de disponibilidad de pruebas" señalada por la Comisión Europea (European Commission 2021) en relación con la gestión de residuos radiactivos.

E- Principio de No Causar Daños Significativos & Criterios de selección de la Comisión Europea: evaluación de los criterios ambientales con relación a la energía nuclear

Cómo se desarrolló anteriormente, la Comisión Europea ha adoptado el principio de No Causar Daños Significativos, que establece que ninguna inversión sostenible de productos financieros bajo la Taxonomía debe infringir significativamente los objetivos medioambientales, tal como se estipula en el artículo 34 del Reglamento sobre la Taxonomía (Reglamento UE 2019/2088). En primer lugar, se establece que una actividad contribuye a la mitigación del cambio climático en tanto “[...] contribuya de forma sustancial a estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera en un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático en consonancia con el objetivo a largo plazo referente a la temperatura del Acuerdo de París, mediante la elusión o reducción de las emisiones de tales gases o el incremento de su absorción, en su caso mediante la innovación en los procesos o productos [...]” (Comisión Europea 2020: 17).

A su vez, una actividad económica orientada hacia el objetivo medioambiental de adaptación al cambio climático debe hacer una “contribución significativa” para reducir o prevenir las actuales o futuras repercusiones adversas del clima, así como los riesgos asociados a estas repercusiones, tanto dentro de la propia actividad como en relación con las personas, la naturaleza o los activos. Este objetivo medioambiental debe ser interpretado en concordancia con la legislación vigente de la Unión Europea y con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (Comisión Europea 2020: 20).

Ahora bien, la energía nuclear puede contribuir a alguno de los seis objetivos medioambientales, pero también plantea desafíos y riesgos en otros aspectos que deben abordarse para considerarse completamente compatible con la Taxonomía. Según la exposición de motivos elaborados por la comisión europea (2022), la energía nuclear es compatible con los criterios generales relativos a la contribución sustancial a la mitigación del cambio climático ya que las

emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear se sitúan por debajo del umbral de 100 g CO₂e/kWh (Comisión Europea 2022), lo que puede contribuir significativamente a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las plantas de energía que dependen de combustibles fósiles.

En cuanto a la adaptación al cambio climático, según la Taxonomía de inversión sostenible, se considerará que una actividad económica contribuye de forma sustancial a la adaptación al cambio siempre y cuando dicha actividad “[...] incluye soluciones de adaptación que o bien reducen de forma sustancial el riesgo de efectos adversos del clima actual y del clima previsto en el futuro sobre dicha actividad económica o bien reducen de forma sustancial esos efectos adversos, sin aumentar el riesgo de efectos adversos sobre las personas, la naturaleza o los activos [...]” (Comisión Europea 2020: 21). Según el informe, la actividad se ajusta a los criterios establecidos: se atribuye como una fuente de energía estable y resistente a los eventos climáticos extremos que puede ser beneficiosa para la infraestructura energética en regiones propensas a tales eventos. En este sentido, según la Comisión Europea, cumple los requisitos de la Directiva 2009/71/Euratom, aplicada de conformidad con las orientaciones internacionales del OIEA y de la WENRA en relación con los peligros de origen natural extremos, incluidas las inundaciones y las condiciones meteorológicas extremas.

Sin embargo, la energía nuclear no tiene un papel directo en la adaptación al cambio climático. Aunque la energía nuclear puede proporcionar una fuente de energía estable, las instalaciones nucleares también son vulnerables a eventos climáticos extremos como tormentas, inundaciones y olas de calor. Estos eventos pueden causar daños a las plantas nucleares y afectar su capacidad para operar de manera segura, como se evidenció en el caso de Fukushima en 2011. A su vez, la generación de energía nuclear requiere grandes cantidades de agua para el enfriamiento de los reactores, lo que puede ser problemático en regiones propensas a la escasez de agua y sequías. En algunas situaciones, la disponibilidad de agua para enfriar las plantas nucleares puede verse comprometida, lo que afecta su capacidad para operar de manera segura y confiable (Lyman 2021).

Para el uso sostenible y protección de los recursos hídricos y marinos, la Taxonomía dice que se considerará que una actividad contribuye al uso sostenible y a la protección de los recursos hídricos y marinos “[...] siempre cuando contribuya sustancialmente a lograr el buen estado de las masas de agua, incluidas las superficiales y las subterráneas, o a prevenir su deterioro cuando estén ya en buen estado, o bien cuando contribuya sustancialmente a lograr el buen estado medioambiental de las aguas marinas o a prevenir su deterioro cuando estén en buen estado medioambiental [...]” (Comisión Europea 2020: 21). Este, tiene como objetivo en primer lugar proteger al medioambiente y la sociedad de los efectos adversos del vertido de residuos urbanos e industriales, en segundo lugar, proteger el agua potable destinada a consumo humano y por último potenciar la protección de los recursos hídricos a largo plazo, reduciendo los contaminantes tanto en aguas superficiales como subterráneas (Comisión Europea 2020).

A su vez, se considera que una actividad contribuye a la prevención y control de la contaminación al reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera, el agua o la tierra, distintas de los gases de efecto invernadero. Esto se logra mediante la mejora de los niveles de calidad del aire, agua o suelo en las áreas afectadas por la actividad económica, minimizando los efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente. Además, se busca prevenir o reducir al mínimo cualquier efecto negativo causado por la producción, uso y eliminación de productos químicos, así como realizar labores de limpieza de residuos abandonados y otras formas de contaminación (Comisión Europea 2020: 22).

En este sentido, en cuanto al uso sostenible y protección de los recursos hídricos y marinos y la prevención y control de la contaminación, la actividad nuclear plantea desafíos significativos que deben abordarse para cumplir con los criterios establecidos. La exposición de motivos (2022) señala que es necesario abordar los riesgos de degradación ambiental relacionados con la preservación de la calidad del agua y la evitación del estrés hídrico. Esto implica la implementación de un plan de gestión del uso y protección del agua, el cual debe ser elaborado en consulta con las partes interesadas afectadas.

No obstante, la aplicación de estos criterios es ambigua ya que establece que, potencialmente, si se abordan las problemáticas y se regulan las anomalías, la energía nuclear cumpliría con el criterio. Esta ambigüedad plantea interrogantes sobre la efectividad de las medidas de mitigación y control propuestas en la práctica. Además, se requiere una supervisión y regulación rigurosas para garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales y la protección de los ecosistemas acuáticos vulnerables.

El uso de agua para el enfriamiento de las plantas nucleares constituye un importante punto de conflicto en términos de sostenibilidad hídrica. Este proceso puede acarrear impactos negativos en la biodiversidad acuática, ocasionando la mortalidad de peces y otros organismos marinos debido al calentamiento del agua y la liberación de efluentes térmicos. Además, las diversas modalidades de generación de energía nuclear pueden afectar directamente tanto el agua dulce como la marina mediante la contaminación química, térmica y radiactiva, contribuyendo a la acidificación, eutrofización y ecotoxicidad, provocadas por las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂). Estos efectos pueden ser particularmente significativos en ecosistemas sensibles y protegidos, como estuarios y zonas costeras (International Atomic Energy Agency 2018).

En cuanto a la contribución a la transición hacia una economía circular, se considera que una actividad está fomentando este cambio cuando se implementa un programa integral que abarca la prevención, reutilización y reciclaje de residuos. Esto implica adoptar métodos de producción más eficientes en términos energéticos y en el uso de materias primas, promoviendo además la durabilidad, reparabilidad y posibilidades de actualización o reutilización de los productos fabricados. Asimismo, se enfatiza en la promoción de la reciclabilidad de los productos, la sustitución de sustancias peligrosas por alternativas más seguras a lo largo de todo su ciclo de vida, la extensión del uso de productos y el incremento en el uso de materias primas secundarias o reutilizadas. Asimismo, busca minimizar la incineración y evitar el vertido de residuos, incluida la descarga en vertederos, en línea con los principios de la jerarquía de residuos. Por último, evitar y reducir la dispersión de residuos en el medio ambiente, garantizando así una gestión responsable y sostenible de los recursos (Comisión Europea 2020: 22).

En estos términos, la Comisión Europea ha reconocido la necesidad de abordar la gestión de los residuos radiactivos como parte de su transición hacia una economía circular. Según el acto delegado de la Taxonomía, existe un plan de gestión de residuos tanto no radiactivos como radiactivos que garantiza la máxima reutilización o reciclado de dichos residuos al final de la vida útil de acuerdo con la jerarquía de residuos, incluido mediante acuerdos contractuales con los asociados en la gestión de los residuos, la incorporación en las proyecciones financieras o la documentación oficial del proyecto (Comisión Europea 2022). Aun así, a pesar de la existencia de planes de gestión de residuos radiactivos, se observa que estos no se cumplen eficazmente en la práctica. Se siguen desechando toneladas de desechos radioactivos en lugares que no cumplen con los estándares de seguridad requeridos. Además, el proceso de reciclaje de residuos radiactivos a menudo implica el transporte hacia países como Rusia, donde se lleva a cabo el enriquecimiento de las partículas que pueden ser reutilizadas, mientras que gran parte del material desechable es descartado. Este proceso conlleva riesgos significativos de transporte y peligros de derrame, lo que plantea preocupaciones adicionales sobre la seguridad y la gestión adecuada de los residuos radiactivos (Greenpeace 2020). A su vez, la aceptación pública de la disposición final de residuos radiactivos es baja en muchos lugares debido a preocupaciones sobre la contaminación del suelo y del agua, así como los riesgos asociados con la liberación accidental de materiales radiactivos al medio ambiente. En términos de reciclaje, las centrales nucleares activas cuentan con una capacidad de reciclaje menor al 30% (Lyman 2021).

Por último, se considera que una actividad económica contribuye de forma sustancial a la protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas cuando se compromete significativamente con la conservación de la naturaleza y la biodiversidad. Esto implica lograr un estado de conservación favorable de los hábitats naturales y especies, así como proteger y restaurar ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos para mejorar su estado y capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos. Además, se debe promover el uso y gestión sostenibles de la tierra, incluida la protección de la biodiversidad del suelo y la neutralidad en la degradación de las tierras. Las prácticas agrícolas sostenibles, que contribuyan a mejorar la biodiversidad y frenar la

degradación de suelos y hábitats, son esenciales, al igual que una gestión forestal sostenible que evite la deforestación y pérdida de hábitats (Comisión Europea 2020: 23).

En este sentido, el acto delegado de la Taxonomía de Inversión Verde establece requisitos específicos. Se exige que se realice una evaluación de impacto ambiental antes de la construcción de una central nuclear, en conformidad con la Directiva 2011/92/UE. Además, se aplican medidas de mitigación y compensación necesarias para reducir el impacto ambiental derivado de la actividad nuclear. En el caso de emplazamientos y operaciones situados en zonas sensibles en términos de biodiversidad, se requiere una evaluación adecuada y la aplicación de medidas de mitigación adicionales. Asimismo, se garantiza que los emplazamientos y operaciones no perjudiquen el estado de conservación de hábitats o especies presentes en zonas protegidas. Esta garantía se basa en una evaluación adecuada, si procede, y en la implementación de las medidas de mitigación necesarias (Comisión Europea 2022).

A pesar de las regulaciones establecidas, la actividad nuclear puede tener impactos negativos significativos en la biodiversidad y los ecosistemas. Además de la minería de uranio, utilizada como combustible nuclear, también puede tener impactos ambientales significativos. Estos incluyen la pérdida de biodiversidad asociada con la fragmentación del paisaje causada por la construcción de infraestructuras nucleares y la expansión de las áreas de exclusión alrededor de los sitios de disposición final de residuos nucleares. Estos cambios en el paisaje pueden interrumpir los corredores migratorios de la vida silvestre y reducir la conectividad entre hábitats, lo que a su vez puede afectar la diversidad genética y la capacidad de adaptación de las poblaciones animales y vegetales (Blowers 1999).

VI. Conclusión

El principio DNSH parece ser de mayor importancia al examinar su conexión con la energía nuclear. Este principio, derivado de prácticas médicas y extendido a la política exterior y de seguridad, regula la ayuda humanitaria para evitar efectos negativos. La Comisión Europea decidió aplicar el principio de DNSH estableciendo que ninguna inversión sostenible infringirá

significativamente los objetivos medioambientales establecidos. Como se mencionó anteriormente, la distinción de "significativamente" permite un margen de interpretación sobre lo que constituye un daño significativo o insignificante a los objetivos medioambientales de la UE, siempre que haya pruebas que respalden la ausencia de daño significativo. La evidencia muestra que, aunque la energía nuclear puede contribuir a la mitigación del cambio climático debido a su baja emisión de dióxido de carbono -en funcionamiento-, su compatibilidad con otros objetivos del principio DNSH es cuestionable.

Uno de los principales obstáculos para la catalogación de la energía nuclear por la Comisión Europea como energía de transición radica en la gestión de los recursos nucleares. Enfatizamos la importancia de gestionar adecuadamente los desechos nucleares ya que la viabilidad de la energía nuclear depende de la capacidad para eliminar estos residuos de manera segura. Esto subraya la complejidad y los desafíos asociados con el uso de la energía nuclear como parte de una estrategia energética sostenible. El principio DNSH establece que una actividad no debe tener un efecto negativo en otros objetivos ambientales y la falta de una solución definitiva y con garantías para la disposición final de los residuos nucleares es contraria a ese principio. La gestión de residuos radiactivos sigue siendo una cuestión no resuelta, al igual que los conflictos planteados en torno al uso de la energía nuclear, lo que deviene en pensar en los efectos potencialmente devastadores como los observados en los accidentes de Chernóbil y Fukushima. Estos incidentes han dejado amplias zonas de tierra inhabitables, destruyendo todo el ecosistema que se desarrollaba en esas áreas y han causado problemas de salud a largo plazo para las personas, animales y plantas expuestas a la radiación. Además, la falta de transparencia y de participación pública en la toma de decisiones relacionadas con el almacenamiento de residuos nucleares ha generado desconfianza y oposición pública (Rosa et al. 2010; Ewing, Weber y Clinard 2019).

Por otra parte, se argumenta que la inclusión de la energía nuclear en la Taxonomía Verde de la UE presenta una aparente contradicción con el principio DNSH, planteando desafíos para la protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas. La propia Comisión Europea, aunque se reconoce la necesidad de ajustes en los criterios técnicos de selección de la Taxonomía, considera que esta forma de energía es necesaria para abordar el cambio climático. Sin embargo, la falta de claridad sobre el impacto ambiental de esta forma de energía y la falta de soluciones

para la gestión de residuos plantean interrogantes sobre su inclusión en la Taxonomía (Zentner 2022).

A su vez, la catalogación de la energía nuclear como una energía "verde" y su inclusión en la Taxonomía de inversión sostenible de la UE pueden verse afectadas por un sesgo de análisis, evidente en la medición de los daños según el ADCC. Como demostramos anteriormente, se observa que el criterio de evaluación se enfoca principalmente en los costos asociados con las emisiones de gases de efecto invernadero. Se destaca que las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de la generación de electricidad a partir de energía nuclear se sitúan por debajo del umbral de 100 g CO₂e/kWh, lo que refuerza su posición como una opción que cumple con los criterios de sostenibilidad y mitigación del cambio climático establecidos por la Taxonomía. Sin embargo, según la Comisión Europea, la energía nuclear cumple con las condiciones necesarias para incluirse en la Taxonomía de Inversión Verde porque forma parte de las «actividades de transición», lo que significa que no hay otras técnicas bajas en carbono disponibles. La decisión de la Comisión Europea es discutible, pero las actividades sobre las que hay tanta diferencia de opinión no pueden pertenecer a un estándar para inversiones verdes solo por esa razón. Esta situación crea inseguridad jurídica y, desde luego, tampoco ayuda a generar la confianza necesaria para los próximos desarrollos ecológicos de la Taxonomía.

La energía nuclear no es la solución para la crisis climática, sino un obstáculo para el progreso de las energías renovables. Construir una planta nuclear lleva alrededor de diez años y su vida útil es de aproximadamente 35 años, por lo que no representa una inversión encontrada bajo «actividades de transición» ya que la proyección de vida inherente a la energía nuclear es a largo plazo. Esto significa que la energía nuclear implica costos de inversión, operación y desmantelamiento significativos, así como incertidumbres en torno a los precios futuros del combustible nuclear y los riesgos financieros. En este sentido, aunque se promueve como una energía estable y de transición, el tiempo y los recursos necesarios para su implementación son significativos. Además, su uso plantea preocupaciones éticas y de justicia climática al afectar tanto a generaciones presentes como futuras.

La UE debe reevaluar si la inclusión de la energía nuclear en la Taxonomía de Inversión Verde es ecológicamente viable. Dada la naturaleza transfronteriza de los problemas relacionados con la energía nuclear, es esencial que la UE colabore estrechamente con otros actores internacionales para promover la seguridad nuclear, compartir mejores prácticas y fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías nucleares avanzadas. La cooperación internacional también puede ayudar a abordar riesgos y a garantizar que los países en desarrollo tengan acceso a poder diversificar aquellas soluciones energéticas que sean sostenibles y asequibles.

Los riesgos modernos son inherentemente globales y no se pueden controlar completamente debido a su naturaleza transnacional e interdependiente. En este sentido, el concepto de *landscapes of risk* de Beck (1992) se refiere a la idea de que el riesgo no puede ser considerado simplemente como un fenómeno localizado, sino como una cuestión que afecta a todo el planeta y a la humanidad en su conjunto. En el contexto de la transición energética y la energía nuclear, este concepto se aplica al reconocimiento de que las implicaciones ambientales y de seguridad de la energía nuclear no se limitan a las áreas cercanas a las centrales nucleares, sino que se extienden a nivel global. Por lo tanto, es importante considerar no sólo los riesgos y beneficios de la energía nuclear en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, residuos radiactivos, seguridad y diversificación energética, sino también en términos de su impacto en la salud y el medio ambiente a nivel mundial. Este enfoque amplio es fundamental para comprender los desafíos y oportunidades asociados con la energía nuclear como opción de transición energética, y para evaluar su compatibilidad con el principio de no causar daños significativos y la Taxonomía de Inversión Verde de la UE.

Referencias bibliográficas

Abousahl, Said, Paul Carbol, Brian Farrar, Hana Gerbelova, Rudy Konings, Katia Lubomirova, Manuel M. Ramos, et al. 2021. "Evaluación técnica de la energía nuclear con respecto a los criterios de 'no causar daños significativos' del Reglamento (UE) 2020/852 ('Reglamento de Taxonomía')." *Oficina de Publicaciones de la Unión Europea*.

Alwaeli, Mohamed y Viktoria Mannheim. 2022. "Investigation into the Current State of Nuclear Energy and Nuclear Waste Management—A State-of-the-Art Review" *Energies* 15, no. 12: 4275. <https://doi.org/10.3390/en15124275>

Beck, Ulrich. 1992. *Risk Society: Towards a New Modernity*. Translated by Mark Ritter. Sage Publications.

Blowers, Andrew. 1999. "Nuclear waste and landscapes of risk". *Landscape Research*, 24(3), 241–264.

Bujan, Ana. 2018. "La Energía Nuclear en la Lucha Contra el Cambio Climático." *Foro Nuclear* 30:17-23. <https://www.foronuclear.org/sites/default/files/biblioteca/documentos/30/la-energia-nuclear-en-la-lucha-contra-el-cambio-climatico.pdf>.

Boer, Ben. 2015. *Environmental law dimensions of human rights*. Oxford: Oxford University Press.

Conesa, Juan. 2011. "ENERGÍA NUCLEAR fundamentos, reactores, residuos. Alicante, España: Universidad Delaware Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/17063>.

EUR-Lex. 2022 "Decisión de Ejecución (UE) 2022/631 de la Comisión de 22 de abril de 2022." EUR-Lex. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=PI_COM:C\(2022\)631&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=PI_COM:C(2022)631&from=EN).

EUR-Lex. 2021. "Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Aprovechar el potencial de la biotecnología moderna". EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550>

Ewing, L., Weber, M., & Clinard, J. (2019). "Nuclear energy." *Journal of Environmental Radioactivity*. 208: 1-16

Galán, Antonio S. 2013. "La energía nuclear no es un componente en la mitigación del Calentamiento Global Antropogénico." *Revista de Ciencias y Humanidades*, 4(6). Centro de Investigación y Docencia en Humanidades del Estado de Morelos (CIDHEM). <http://www.critica.org.mx/revistas/tamoanchan4/sarmiento.pdf>.

Hernández Sampieri, Roberto, Carlos Fernández Collado, y Pilar Baptista Lucio. 1998. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.

Kaineder, Stefan. 2020. "Comunique European Union teg nuclear 2 april 2020." Nuclear Consulting Group (NCG), Alliance of Regions for Phasing out Nuclear Power Across Europe.

Lyman, Edwin. 2021. "Advanced" Isn't Always Better: Assessing the Safety, Security, and Environmental Impacts of Non-Light-Water Nuclear Reactors. Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists. <https://www.ucsusa.org/resources/advanced-isnt-always-better>.

Luke, Timothy. 2005. "Neither sustainable nor development: reconsidering sustainability in development". *Sustainable Development*, 13(4): 228-238.

Marradi, Alberto, Nélica Archenti y Juan Piovani. 2010. *Metodología de las ciencias sociales*. Buenos aires: Cengage Learning.

Naciones Unidas (ONU). 2015. "Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)." Diciembre 12, 2015. <https://www.refworld.org/es/docid/602021b64.html>.

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. 2020. "Estimaciones de energía, electricidad y energía nuclear para el período hasta 2050." *Serie de datos de referencia n.º 1*, no. OIEA.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. 2020. "Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de junio de 2020, relativo al establecimiento de un marco

para facilitar las inversiones sostenibles y por el que se modifica el Reglamento (UE) 2019/2088”. Diario Oficial de la Unión Europea. 2020. L 198. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. 2021. “Reglamento Delegado (UE) 2021/2139 de la Comisión, de 4 de junio de 2021, por el que se completa el Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se establecen los criterios técnicos de selección para determinar las condiciones en las que se considera que una actividad económica contribuye de forma sustancial a la mitigación del cambio climático o a la adaptación al mismo, y para determinar si esa actividad económica no causa un perjuicio significativo a ninguno de los demás objetivos ambientales” Diario Oficial de la Unión Europea. 2022. L 442. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2021:442:FULL#TN1>.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. 2021. “Taxonomía de la UE, divulgación de información corporativa en materia de sostenibilidad, preferencias de sostenibilidad y obligaciones fiduciarias: Orientar la financiación hacia el Pacto Verde Europeo”. Diario Oficial de la Unión Europea. 2021. L 188. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0188&from=EN>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. 2022. “REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2022/1214 DE LA COMISIÓN, de 9 de marzo de 2022, por el que se modifica el Reglamento Delegado (UE) 2021/2139 en lo que respecta a las actividades económicas en determinados sectores energéticos y el Reglamento Delegado (UE) 2021/2178 en lo que respecta a la divulgación pública de información específica sobre esas actividades económicas” Diario Oficial de la Unión Europea. 2022. L 198. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1214>.

Picquart, Michele, Marco A. Zepeda, and Izayana Carrasco. 2016. *Energía nuclear, contaminación radioactiva y sus efectos en la salud*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

<https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/Energia-nuclear.pdf>.

Rodríguez Penalonga, Laura. "Modelo para la gestión sostenible del combustible nuclear gastado." Comillas: Revista Científica, 19(2), 53-72. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/53202>

Rosa, Eugene A., Thomas Dietz, y Richard York. 2010. "The Human Footprint on the Global Environment: Threats to Sustainability." *MIT Press*.

Unión Europea. Parlamento de la Unión Europea. "Establishing a Framework for Achieving Climate Neutrality and Amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 (European Climate Law)." Regulación (EU) 2021/241 del Parlamento Europeo y del Consejo. 2021. Diario Oficial de la Unión Europea L 064/3.

Sanahuja, José Antonio. 2022. "El Pacto Verde, NextGenerationEU y la nueva Europa geopolítica". Fundación Carolina. <https://docta.ucm.es/entities/publication/57c8df7e-7fe8-49a1-9984-eeb008f80d3f>

Sanchez Vázquez, Luis. 2011. "Conflictos socioambientales en torno a la energía nuclear. Perspectivas desde la Investigación para la Paz." *Revista de Paz y Conflictos* 4:80-100.

Sanders, Mark, y Charlotta Sanders. 2019. *Nuclear Waste Management Strategies: An International Perspective*. Elsevier ISBN 978-0-12-813738-3.

Spinaci, Stefano. 2022. "EU taxonomy: Delegated acts on climate, and nuclear and gas." *European Parliamentary Research Service*. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698935/EPRS_BRI\(2022\)698935_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/698935/EPRS_BRI(2022)698935_EN.pdf).

Storm, Willem. 2017. "Climate change and nuclear power. An analysis of nuclear greenhouse gas emissions" World Information Service on Energy WISE International. Amsterdam, The Netherlands.

Tompkins, Andrew. 2016. *Better active than radioactive!: anti-nuclear protest in 1970s France and West Germany*. Oxford University Press.

Tognoli, Joaquín. 2017. "Los Estados y la producción de energía nuclear: el debate sobre los riesgos y beneficios vinculados a esta práctica." *Anuario en Relaciones Internacionales del IRI* 2017.

Torres, Raymond. 2022. "Crisis energética: las respuestas de Alemania, España, Francia e Italia." *Cuadernos de Información económica* N° 288:11-18. ISSN 1132-9386.

Wissenburg, Marcel. 2006. "Justicia global y ecológica: priorización de demandas conflictivas." *Valores ambientales* 15 (4): 425–439. <https://doi.org/10.3197/096327106779116131>.

World Nuclear Association. 2021. The Nuclear Fuel Cycle. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle>

Zentner, Maik. 2022. "The Role of Scientific Evidence in the European Commission's Decision to the Inclusion of Natural Gas and Nuclear Energy in the Taxonomy Regulation – A Question of Bias?" *Faculty for Behavioural, Management and Social Science Institute*.