



**TRABAJO FIN DE GRADO  
GRADO EN ECONOMÍA  
CURSO ACADÉMICO 2023-2024  
CONVOCATORIA DE JUNIO**

**EL ESTIGMA SOBRE LA ENERGÍA NUCLEAR**

AUTOR(A): Maeso Cuesta, Javier

DNI: 03476004Z

En Madrid, a 14 de junio de 2024





# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Contexto de la energía nuclear.....	1
Justificación del estudio sobre la energía nuclear.....	1
Objetivos de la investigación.....	1
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>2</b>
Historia y desarrollo de la energía nuclear.....	2
Estado actual de la industria nuclear.....	4
Tecnologías y tendencias emergentes en la energía nuclear.....	5
Aspectos ambientales y sociales de la energía nuclear.....	6
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
Conceptos económicos relacionados con la energía nuclear.....	10
<b>4. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR</b> .....	<b>18</b>
Generación de empleo.....	18
Contribución al PIB.....	19
El uranio.....	20
<b>5. RIESGOS Y DESAFÍOS</b> .....	<b>20</b>
Riesgos financieros.....	20
Nuevas formas de gestionar residuos nucleares.....	20
Factores externos.....	21
<b>6. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD</b> .....	<b>22</b>
Análisis de sensibilidad.....	22
Escenarios presentes y futuros.....	22
<b>7. COMPARACIÓN CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA</b> .....	<b>24</b>
Análisis de producción total de energía en España.....	24
Energía solar vs energía nuclear.....	26
Energía eólica vs energía nuclear.....	26
Gas natural vs energía nuclear.....	27
Petróleo vs energía nuclear.....	28
<b>8. LA REALIDAD DE LOS ACCIDENTES NUCLEARES</b> .....	<b>28</b>
<b>9. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y SOCIALES</b> .....	<b>30</b>
Impacto en la seguridad y salud pública.....	30
Descarbonización a largo plazo.....	31
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>32</b>
<b>11. REFERENCIAS</b> .....	<b>32</b>

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **Contexto de la energía nuclear**

En España existen diversas maneras en las que se produce energía. De entre ellas las que más destacan en el proceso de producción de electricidad son la energía hidráulica, la energía eólica y la energía nuclear. En el caso de la energía nuclear sabemos que no tiene buena aceptación por parte de la mayoría de la sociedad actual. Probablemente esto se debe a la historia que le precede sobre las famosas detonaciones sucedidas en Japón y el accidente de Chernóbil principalmente.

A todo esto le tenemos que sumar que el uso de la energía nuclear no está exento de controversias y preocupaciones. Los riesgos asociados con la seguridad de los reactores nucleares, la gestión de los desechos radiactivos, la proliferación nuclear y los posibles accidentes nucleares han generado debates intensos sobre la viabilidad y la seguridad de esta forma de energía.

En el caso de España, este tipo de energía tiene un peso importante sobre el total de energía que genera el país a lo largo de un año y lo lleva haciendo desde hace varias décadas.

La realidad es que, por el momento y si no cambian los planes del Gobierno, existe un plan mediante el cual se quieren cerrar las centrales nucleares operativas que aún quedan en España de manera progresiva y aumentar la producción de energía mediante otro tipo de procesos de producción que en principio conllevan menos riesgo para las personas y el medioambiente.

## **Justificación del estudio sobre la energía nuclear**

El desconocimiento que tengo sobre este tema me creó la curiosidad de querer aprender más sobre este tipo de fuente de energía para poder tener una opinión propia. La energía nuclear no es algo sobre lo que se suele debatir en conversaciones banales de mi rutina diaria, no lo veo en las noticias y creo que no se le da la importancia que realmente tiene.

## **Objetivos de la investigación**

El objetivo principal de la investigación es entender y aclarar si la realidad sobre la energía nuclear es que realmente es tan peligrosa como se cree hablando de ella desde el desconocimiento, o si por el contrario, estamos desaprovechando la oportunidad de usar una fuente de energía que tiene un gran potencial de explotación que se puede aprovechar para el beneficio humano.

En cuanto a los objetivos secundarios se investigará si es una energía limpia y sostenible, si se ha investigado lo suficiente como para determinar que no es viable su producción, qué tipo de aplicaciones puede tener en otros apartados que no sea la producción de electricidad o cómo se gestionan sus residuos.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **Historia y desarrollo de la energía nuclear**

Según el Consejo de Seguridad Nuclear la energía nuclear se define como la energía contenida en el núcleo de un átomo. Los átomos son las partículas más pequeñas en que se puede dividir un elemento químico manteniendo sus propiedades. En el núcleo de cada átomo hay dos tipos de partículas (neutrones y protones) que se mantienen unidas. La energía nuclear es la energía que mantiene unidos neutrones y protones (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.).

El filósofo griego Demócrito de Abdera fue el primero en dar una definición de átomo: la parte más pequeña constituyente de la materia. Esto fue en el siglo V a. de C. Átomo proviene del griego y significa “no-divisible”. Aunque más tarde aparecería el concepto de fisión nuclear que precisamente se trata de obtener energía dividiendo átomos. En 1897, J. J. Thompson anunció el descubrimiento de una partícula cargada negativamente a la que llamó electrón. Fue capaz de deducir también la relación entre la carga de una partícula ( $e$ ) y su masa ( $m$ ). Los electrones son elementos que cargados negativamente que van orbitando alrededor de un núcleo como si se tratara de planetas orbitando alrededor del Sol. El conjunto de núcleo y electrones forman el átomo como descubrirá más adelante Rutherford (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

#### **Descubrimiento de la radioactividad**

Antoine Henri Becquerel padre de la energía nuclear. El científico francés estaba trabajando en su laboratorio y dejó descuidadamente unas sales de uranio junto a unas placas fotográficas que aparecieron posteriormente reveladas, a pesar de estar protegidas de la luz solar. Después de investigar la razón del revelado de las fotografías se dio cuenta que el causante resultó ser el uranio. Gracias a su descubrimiento Becquerel se convirtió en el “padre de la energía nuclear”. En la misma época, el matrimonio francés formado por Pierre y Marie Curie dedujeron con sus investigaciones la existencia de otro elemento de actividad más elevada que el uranio, que en honor a su patria fue llamado polonio. También fueron los descubridores de un segundo elemento al que denominaron radio (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

#### **La constante de Planck (1900)**

La ley de Planck establece que la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación electromagnética multiplicada por dicha constante universal. Los descubrimientos de Planck representaron el nacimiento de un nuevo campo para la física, conocido como mecánica cuántica y proporcionaron las bases para la investigación en campos como el de la energía nuclear (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

#### **Teoría de la relatividad de Albert Einstein (1905)**

Albert Einstein relacionó la energía nuclear con la masa. Su conocida ecuación  $E=mc^2$  formulada resultó ser revolucionaria para los posteriores estudios de física nuclear, aunque en aquellos tiempos no se disponía de medios para demostrarla experimentalmente. Así,  $E$  representa la energía y  $m$  la masa, ambas interrelacionadas a través de la velocidad de la luz

c. Esta ecuación relacionaba las conversiones másicas de energía, de forma que se podía afirmar, que ambas entidades son distintas manifestaciones de una misma cosa (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

### **El modelo de Böhrr (1913)**

Para el físico danés, los electrones giraban en órbitas estacionarias desde las que no se emitía ninguna radiación, enterrándose así el viejo concepto del átomo como algo indivisible, inerte y simple, y apareciendo la hipótesis de una estructura compleja que daría posteriormente complicadas manifestaciones energéticas (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

### **El descubrimiento del neutrón (1932)**

Chadwick “midió” la masa de la nueva partícula deduciendo que era similar a la del protón pero con carga eléctricamente neutra. Así, se observó que el núcleo atómico estaba compuesto por neutrones y protones, siendo el número de protones igual al de electrones. Con su descubrimiento, Chadwick consiguió un “proyectil” de características ideales para provocar reacciones nucleares (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

### **El descubrimiento de la radioactividad artificial (1934)**

Las conclusiones a las que llegó el matrimonio Joliot-Curie, se basaban en la idea de que la radioactividad, hasta entonces de carácter natural, podía ser producida por el hombre, construyendo elementos radiactivos mediante el bombardeo con partículas alfa de algunos elementos químicos. (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

### **Descubrimiento de la fisión nuclear (1938)**

A finales de 1938, en los umbrales de la Segunda Guerra Mundial, un equipo de investigadores alemanes interpretó el fenómeno de la fisión nuclear, a través de la identificación del elemento bario como consecuencia de la escisión del núcleo de uranio. Los primeros estudios sobre la fisión nuclear fueron llevados a cabo por Otto Hahn y Lise Meitner, basándose en los resultados obtenidos por el matrimonio Joliot-Curie, que mediante análisis muy cuidadosos, encontraron un elemento de número atómico intermedio en una muestra de uranio bombardeado con neutrones (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

Lise Meitner y Otto Frisch pudieron deducir que al bombardear el uranio con neutrones (proceso de fisión nuclear), éste capturaba un neutrón y se escindía en dos fragmentos, emitiendo de una gran cantidad de energía. Se había descubierto la fisión nuclear (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

### **El Proyecto Manhattan – Inicios de la bomba nuclear (1939)**

En los inicios de la Segunda Guerra Mundial, Albert Einstein recomienda al presidente de los Estados Unidos, F. D. Roosevelt, el desarrollo de la bomba atómica. Además, informó que Alemania había suspendido la venta de uranio de las minas checas, de las que el Reich

se había hecho cargo, lo que podría significar que los científicos del Instituto Kaiser Wilhelm podrían estar llevando a cabo experimentos de fisión nuclear también (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

Entre 1940 y 1941 empezaron a realizarse medidas en sistemas de uranio-grafito, descubriendo Glen Seaborg, a finales de 1940, un elemento artificial, el plutonio-239, que podría emplearse para la fabricación posterior de la bomba atómica. En la madrugada del 16 de julio de 1945, se llevó a cabo la primera prueba de la bomba de plutonio en el desierto de Álamos (Nuevo México), y resultó ser un completo éxito (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

La bomba de uranio y la de plutonio estuvieron listas al mismo tiempo. La primera, denominada Little Boy, constaba de dos masas de uranio-235 que se proyectaban una sobre otra con explosivos convencionales. La segunda, Fat Man, consistía en una esfera hueca de plutonio que colapsaba sobre su centro por la acción de explosivos convencionales. El 6 de agosto de 1945, Little Boy fue lanzada sobre Hiroshima desde el avión Enola Gay, y el 9 de agosto, Fat Man fue arrojada sobre Nagasaki (Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos, 2023).

### **El Tratado de No Proliferación Nuclear (1970)**

El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) es un tratado internacional clave cuyo objetivo es prevenir la propagación de las armas nucleares y la tecnología armamentística, promover la cooperación en la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos e impulsar el objetivo de lograr el desarme nuclear y el desarme general y completo. El TNP es el único tratado multilateral que representa un compromiso vinculante para los Estados poseedores de armas nucleares respecto del objetivo del desarme (Naciones Unidas, s.f.).

### **Estado actual de la industria nuclear**

Pese a que en la actualidad el plan del Gobierno sea lograr que no se produzca más energía nuclear en nuestro país de aquí a unos años en el futuro, aún existen cinco centrales nucleares operativas, en las cuales dos de ellas cuentan con dos reactores nucleares. La ubicación de estas centrales y sus fechas para el cese de su actividad son:

Central nuclear	Año de inicio de explotación comercial	Año de cese de explotación
Almaraz I (Cáceres)	Septiembre '83	Noviembre, '27
Almaraz II (Cáceres)	Julio '84	Octubre, '28
Ascó I (Tarragona)	Diciembre '84	Octubre, '30
Cofrentes (Valencia)	Marzo '85	Noviembre, '30

Ascó II (Tarragona)	Marzo '86	Septiembre, '32
Vandellós II (Tarragona)	Marzo '88	Febrero, '35
Trillo (Guadalajara)	Agosto '88	Mayo, '35

Tabla 1 Fecha del cese de las centrales nucleares en España Fuente: (Newtral, 2023)

## **Tecnologías y tendencias emergentes en la energía nuclear**

La energía nuclear está muy presente en nuestro día a día. El desconocimiento que tiene la población de ello puede ser una de las causas de temor hacia esta misma. Aunque puede resultar algo muy dañino para la salud, bajo las manos de los expertos y los grandes controles que deben pasar antes de que su uso sea aprobado, tenemos como resultado aplicaciones muy interesantes para su aprovechamiento. Si nos informamos bien podemos ver que algunos de los campos en los que se utiliza pueden resultar verdaderamente impensables para la mayoría como son los casos de:

### **Medicina**

La energía nuclear tiene otras aplicaciones además de utilizarse para producir electricidad. Una de las más importantes es utilizada en el campo de la medicina nuclear. Para entender lo que es la medicina nuclear primero la definiremos como: la especialidad médica que utiliza radiotrazadores (radiofármacos) para evaluar las funciones corporales y para diagnosticar y tratar enfermedades (Instituto Nacional de Imágenes Biomédicas y Bioingeniería (NIBIB), s.f.).

La medicina nuclear utiliza elementos radioactivos como vía para obtener una imagen interna del cuerpo y que el médico pueda realizar un diagnóstico del paciente. De esta manera se puede aplicar el tratamiento que mejor efecto puede tener sobre el problema diagnosticado (Foro nuclear, s.f.). Las técnicas en las que más se usa este tipo de energía son:

1. Rayos X.
2. Resonancias magnéticas.
3. Tomogramas computarizadas.
4. Ultrasonidos.
5. Tomogramas por emisión de positrones.

Los resultados para los que se suelen utilizar estas técnicas es en la muestra de imágenes del tipo:

- Tumores.
- Aneurismas (debilidad en las paredes de los vasos sanguíneos).
- Flujo sanguíneo irregular.
- Trastornos de las células sanguíneas y mal funcionamiento de los órganos, tal como deficiencias pulmonares y de la glándula tiroides, entre otras enfermedades.

El uso de estas pruebas o la combinación entre ellas es algo que decide el especialista (Foro nuclear, s.f.).

### **Agricultura**

La realidad es que es complicado imaginar que se use radiación para algo que vamos a llevarnos a la boca. Pese a ello tenemos algunos agentes nucleares que son de gran utilidad en este campo.

Podemos hablar principalmente del nitrógeno-15 y del fósforo-32. Estos isótopos radiactivos sirven para determinar la cantidad de abono que absorben las plantas y la que se pierde en el medioambiente. Además de ello, también permite evaluar directamente la cantidad de nitrógeno atmosférico fijado en las condiciones del campo (Lamm).

Estos dos elementos junto con otros como el potasio son imprescindibles a la hora del desarrollo de las plantas y los efectos que tienen sobre estas mismas son: crear las raíces, potenciar la floración y el cuajado de los frutos. Una cosa que debemos destacar es que debido a las cualidades de los diferentes suelos es casi seguro que sin estos elementos las cosechas de los campos no serían productivas ni rentables (Ruben, 2019).

### **Conservación de alimentos**

Este proceso consiste en aplicar radiaciones de iones a los alimentos por el que estos se exponen en un corto periodo de tiempo a una fuente de energía radiante que puede ser del tipo rayos gamma, rayos x o electrones acelerados (AESAN - Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición, s.f.).

Si nos centramos en su uso, únicamente puede ser utilizada la técnica si está justificado y es necesario desde el punto de vista tecnológico, no presenta peligro para la salud, es beneficiosa para el consumidor, no se usa como sustituto a medidas de higiene o sanitarias ni de buenas prácticas de fabricación o agrícolas (AESAN - Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición, s.f.).

### **Desalación de agua**

La desalinización nuclear ha demostrado ser una opción viable para satisfacer las crecientes necesidades de agua potable del planeta. Esto ofrece la oportunidad de dar esperanza a las regiones áridas y semiáridas que sufren una grave escasez de agua en las diferentes zonas del mundo. Además, la desalinización nuclear puede aplicarse eficazmente a la gestión del agua de las centrales nucleares, especialmente en zonas con escasez de agua, con miras a un suministro continuo de agua durante todas las etapas de la construcción, operación y mantenimiento de las centrales nucleares (IAEA - Organismo Internacional de Energía Atómica, s.f.).

## **Aspectos ambientales y sociales de la energía nuclear**

En el momento social actual es palpable la gran sensibilidad que existe sobre el futuro del planeta. Se busca encontrar soluciones sostenibles y eficientes para preservar el entorno en el

que vivimos, mejorar el tipo de alimentación que llevamos o el miedo al avance de la tecnología para, en definitiva, garantizar un futuro próspero a las generaciones venideras. Es ahora cuando en nuestro campo de estudio veremos como afronta este tipo de retos planteados en la actualidad.

## **Alimentación**

Si investigamos sobre cómo se aplica la energía nuclear en los alimentos que podemos consumir en nuestro día a día tenemos que, en el caso de España, debe seguir una directiva de normas planteadas por el Parlamento Europeo. Por ello en primera instancia debemos saber si es peligroso para la salud la aplicación de irradiación de alimentos. Lo que nos dicen las fuentes oficiales es que no constituye un peligro para la salud porque no por aplicarse esta técnica el alimento pasa a ser un alimento radioactivo (AESAN - Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición, s.f.).

Como es normal este tipo de técnicas no se pueden realizar en cualquier lugar y es por ello que se necesitan establecimientos autorizados. En el caso de España tenemos dos ubicaciones las cuales se encuentran en Ionmed Esterilización, SA. (Cuenca) y ARAGOGAMA SL (Barcelona) donde los alimentos que se pueden tratar son hierbas aromáticas secas, especias y condimentos de conformidad con el artículo 7, apartado 2, de la Directiva 1999/2/CE (Diario oficial de la Unión Europea, 2019).

Si bien es una realidad que la tendencia a la irradiación de alimentos está creciendo en la región de Asia-Pacífico (especialmente en China) y América la tendencia en la Unión Europea es la contraria. Como parte de su compromiso de revisar periódicamente su legislación, la Comisión Europea está revisando la legislación sobre irradiación de alimentos para determinar si debe permanecer vigente o si es necesario realizar cambios. Cada año, las organizaciones nacionales deben informar a la Comisión y a las empresas autorizadas sobre los datos, los productos que han logrado buenos resultados y los acuerdos sobre los controles implementados y faltantes (AESAN - Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición, s.f.).

## **¿Es limpia la energía nuclear?**

Alfredo García, divulgador y trabajador de una central nuclear, explica en una reciente entrevista cuál es la realidad que hay detrás de los niveles de contaminación de este tipo de energía. Menciona que en Europa se planteó un plan debate de lo que se llamaban las finanzas sostenibles de la Unión Europea. Con ello lo que se pretendía es hacer una transición energética en la que se tenían que establecer qué tipos de energía eran las más adecuadas y las más sostenibles, es decir, que no causara un daño significativo al medioambiente ni a la salud de las personas. Para ello establecieron una serie de criterios como eran la no contaminación de los océanos, no aumentar los niveles de radiación en el entorno de los lugares en que se produce, no superar ciertos niveles de toxicidad o el grado de acidez del agua en el entorno llegando a ser hasta 16 en total (García, 2023).

Para evaluar si la energía nuclear podía entrar dentro de estas energías utilizadas en la transición energética la Comisión Europea mandó realizar un estudio al JCR (CENTRO

COMÚN DE INVESTIGACIÓN), que es el centro de asesoramiento científico y tecnológico de la Unión Europea. Realizaron un exhaustivo estudio debido a la importancia del objeto de estudio y este aclara en un informe de 387 páginas que la energía nuclear es tan limpia como lo son las energías renovables (García, 2023).

### **Organizaciones medioambientales**

En una reunión sobre divulgación de la energía atómica, uno de los expertos se encontró con uno de los altos cargos de la organización de Greenpeace. El divulgador le preguntó directamente sobre cuál era la razón para que exista tanta oposición a la energía nuclear y la respuesta fue algo sorprendente. Le mencionó que la realidad actual que se está viviendo es que la opinión se ha dividido mucho y hay casi tanta gente a favor como en contra. El mismo individuo le respondió que es algo que les va bien porque gracias a ello tienen más miembros (pagando las correspondientes cuotas) debido al miedo palpable a nivel de calle. Incluso llega a reconocer que el mismo tiene un dilema y que tiene una opinión dividida porque ve que realmente este tipo de energía tiene cosas muy positivas (García, 2023).

Si bien es cierto que también existen algunas organizaciones ecologistas que son pronucleares como sucede con el partido verde finlandés, junto con otros más de dicho país, como mínimo tendría que dar a pensar y escuchar a otra de las opciones tapadas y demonizadas y tomar ejemplo de una sociedad como la finlandesa que se caracteriza por tener una sociedad de alto nivel cultural y conocimiento científico (García, 2023).

### **Residuos nucleares**

Una de las grandes pegas que se le pone a la energía nuclear es sobre la percepción que tiene la gente sobre la forma en que se desechan los residuos que produce y el potencial peligro que pueden acarrear tanto para las personas como para el entorno.

Lo primero que debemos saber es cómo son esos residuos. La realidad es que los residuos no son como realmente nos podemos imaginar ya que estos residuos se encuentran en forma de pastillas sólidas (introducidas en unas varillas) y no es un estado líquido, que sería el pensamiento más arraigado. Estas pastillas no sólo contienen óxido de uranio ya que se encuentran la mayoría de los elementos de la tabla periódica (García, 2023).

Por norma general las cargas de combustible de los reactores se producen en un periodo de alrededor de 18 meses. Una vez que se alcanza ese periodo de tiempo se para y se sustituye un tercio de los elementos combustibles, lo que numéricamente supone aproximadamente un total de 60. Las estructuras que se retiran (los elementos combustibles) miden 4 metros de altura, 20x20cm de base y 17x17 varillas (García, 2023).

Tras la retirada los residuos se introducen en una piscina de agua a una profundidad de 7 metros ya que es el mejor blindaje contra la radiación teniendo que por cada 7cm de agua se reduce la dosis radiactiva a la mitad y pasan como mínimo 5 años ahí dentro. Tal es la seguridad que se ha demostrado que se podría estar nadando en la parte superficial de la piscina todo un año y no se llegaría a alcanzar el límite de dosis anual (hay buzos profesionales que se introducen en esas piscinas para realizar ciertos trabajos) (García, 2023).

Alfredo García realizó un cálculo sobre el volumen que ocuparían todos los residuos de todas las centrales de España en la actualidad desde el comienzo de la energía nuclear en España. El resultado que obtuvo es que entrarían en un cubo de 13,5 metros de lado, alto, fondo y ancho, lo cual es muy poco. Como estas piscinas se han ido llenando se ha llegado a una solución a nivel internacional que es extraer ese combustible y meterlo en unos contenedores con una atmósfera de helio (no necesitarían agua para refrigerarse) y que están blindados por plomo y acero inoxidable. En cada recarga sólo se necesitarían dos contenedores ya que en cada uno entran 32 elementos combustibles. Además de ese blindaje tendría también otro de hormigón y la ventaja de los contenedores es que se refrigeran por aire de manera natural. Estos elementos se almacenan en una parte del terreno de la central nuclear que está preparado contra los impactos de aviones o posibles sismos (García, 2023).

Finalmente se almacenan esos contenedores bajo tierra a un nivel de 500 metros de profundidad en una zona geológicamente estable. Por ahora no ha sido realizado por nadie pero en Finlandia se prevé que comiencen a realizar este proceso en este mismo año. La estabilidad geológica que se requiere en el territorio que se depositarían estos elementos es de al menos 10.000 años para que el material sea igual de radiactivo que el uranio natural (García, 2023).

Este mismo operador nuclear menciona que hay otra solución que le agrada más como sería el reciclar esos residuos radiactivos. Menciona que en Rusia desde el año 2016 ya hay una central que funciona de esta manera al igual que en China y que ya operan de manera comercial produciendo energía para la población. El beneficio que tendría este proceso es que los residuos que genera son mucho menos peligrosos y que, como mucho, su radiactividad apenas superaría las decenas o los centenares de años (García, 2023).

### **¿Es posible la vida tras un desastre nuclear?**

La respuesta rápida es que sí. A modo de dato curioso tenemos que en el reactor de Chernobyl el último reactor que se ha cerrado fue en el año 2004 (18 años después del accidente). Hasta ese momento los dos reactores que había cerca de donde se produjo el accidente donde los trabajadores han realizado su cometido con total normalidad. Además de esto se ha observado que hay mucha vida animal y vegetación en el entorno y, según un científico español llamado Germán Orizaola, que viaja durante un mes todos los años a la zona de exclusión ha observado que no se han producido mutaciones fuera de lo común en la naturaleza (García, 2023).

Tras el accidente y la proliferación de los animales y la vegetación se han observado caballos salvajes, ciervos, lobos y muchos otros animales en lo que podemos denominar como una de las mayores reservas naturales del mundo. Esto deja en evidencia que para el medioambiente es más dañino el impacto del humano que un accidente nuclear (García, 2023).

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **Conceptos económicos relacionados con la energía nuclear**

##### **Costes de producción de plantas nucleares**

Para construir una central nuclear debemos ser conscientes de que se incurrirá en tener unos altos costes. De entre todos aquellos que podemos asociar destacamos:

- 1) Ingeniería.
- 2) Adquisición de terrenos.
- 3) Permisos regulatorios.
- 4) Materiales y mano de obra altamente especializada.
- 5) Salarios de los trabajadores.
- 6) Suministro de combustible nuclear.
- 7) Costes de seguridad.
- 8) Mantenimiento de equipos.

Si sumamos todos estos costes podemos estimar que la inversión inicial es muy elevada, siendo esta aproximadamente de entre unos 4.000 y 5.000 millones de euros (Sociedad Nuclear Española, s.f.).

##### **Ciclo de vida de una planta nuclear**

El funcionamiento a largo plazo de una central nuclear más allá de la vida útil planificada que puede tener quizás sea una alternativa inteligente respecto a la construcción continua de nuevas centrales nucleares. Esta alternativa es compatible con la actual ley española ya que no fija horas máximas de funcionamiento para las centrales nucleares. El período de diseño de la planta es un concepto de ingeniería basado en criterios técnicos y económicos que se desarrolla en las primeras etapas de un proyecto para garantizar una vida útil mínima de la planta con el fin de alcanzar los objetivos planificados. Los elementos críticos del sistema, que son fundamentales para la seguridad y difíciles de reemplazar, están diseñados y fabricados para cumplir con los criterios de aceptación durante toda la vida útil (Porrás, 2008).

La vida útil teórica de una instalación corresponde al límite inferior de la vida útil de sus estructuras, sistemas y componentes. Esta vida útil podrá variar durante la operación de la instalación en función de las condiciones ambientales y operativas en las que se presente y podrá ampliarse si es menos severa que las previstas para el proyecto. Las prácticas de mantenimiento en el sentido más amplio le permiten conocer el estado de sus componentes y tomar las medidas correctivas adecuadas si es necesario. Estos conjuntos de prácticas están incluidos en el Plan de Gestión de Vida de la instalación, cuyo propósito es garantizar que la instalación alcance su vida útil de diseño en las condiciones requeridas y mejorar la posibilidad de obtener una licencia para operar la instalación (Porrás, 2008).

El funcionamiento de una instalación está regulado por un permiso de funcionamiento, que especifica su período de validez y condiciones de renovación. Estos permisos se basan únicamente en condiciones de seguridad. Las revisiones periódicas de seguridad, junto con planes integrados de evaluación y gestión de la obsolescencia y evaluaciones continuas de seguridad, se utilizan para determinar si un activo puede continuar operando más allá de su vida útil (Porrás, 2008).

Si bien es cierto que las centrales nucleares españolas tienen una vida de diseño de cuarenta años, al igual que las centrales americanas y europeas de la misma tecnología, si se superan las evaluaciones de seguridad y funcionamiento necesarias sería posible extender aún más su vida útil (Porrás, 2008).

### **Competitividad respecto a otras fuentes de energía**

La energía nuclear trata de competir contra otras fuentes de energía. Para poder sobrevivir necesita demostrar que ofrece unos mayores beneficios que el resto de sus competidores y debe luchar contra otras formas de obtención de energía. Para entender quiénes son los oponentes de la energía nuclear realizaremos una clasificación de los diferentes tipos de fuentes de energía que conocemos:

#### **Renovables y no renovables**

Definimos como energías renovables a aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que se obtienen de la energía que llega continuamente a la tierra a través de la radiación solar y la atracción gravitacional de otros planetas del sistema solar. Entre ellas incluiremos a la energía solar, eólica, hidráulica, mareomotriz y de biomasa. Por otro lado, las fuentes de energía no renovables son fuentes de energía que se encuentran en cantidades limitadas en la naturaleza. La realidad es que actualmente, el 94% de las necesidades energéticas del mundo se satisfacen con recursos como el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.).

#### **Según su grado de disponibilidad**

Si clasificamos las fuentes de energía en cuanto a su disponibilidad atenderemos al criterio de fuentes de energía convencionales como aquellas que tienen un peso importante en el balance de tipos de energía que utilizan los países industrializados. En este caso estaríamos hablando de materias como el carbón, petróleo, gas natural, hidráulica y nuclear. Al resto de fuente de energías las denominaremos como nuevas fuentes de energía o fuentes de energía en desarrollo. En ellas podemos incluir la energía solar, eólica, mareomotriz y de biomasa (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.).

En este ámbito, debido a que se obtiene mayor energía con menos uso de recursos y que es probable que se acaben antes las reservas de petróleo, gas natural y carbón, la energía nuclear puede tener una gran relevancia en un futuro no muy lejano ya que en algún momento se buscarán alternativas a las que se estudian en la actualidad mediante las energías renovables. Esto puede ser así debido a que aún no resultan tan rentables su uso como las no renovables.

## Según la forma de utilización

Dependiendo de como se utilicen las diferentes fuentes de energía se pueden clasificar como primarias o secundarias:

Fuentes de energía primarias: son aquellas que se pueden obtener directamente de la naturaleza. En este caso incluiríamos al viento, sol, agua. Calor procedente de la Tierra, combustibles fósiles y minerales radiactivos (Repsol, s.f.).

Fuentes de energía secundarias: son aquellas que proceden de fuentes de energía primaria y que no están presentes en la naturaleza por si mismas. Dentro de este grupo nos encontramos aquellas como el gasoil, fueloil, queroseno, coque, etc (Repsol, s.f.).

Si analizamos este tipo de clasificación podríamos decir que la energía nuclear tiene la ventaja de que su proceso de transformación en energía final podría ser una ventaja respecto a las fuentes de energía secundarias.

## Riesgos financieros

Existen numerosos factores a nivel económico y legislativo que deben tenerse en cuenta para examinar los riesgos financieros que supone el involucrarse en un proyecto de tal magnitud. De entre todos ellos los que más podemos destacar son:

- **Probabilidad de un accidente nuclear**

En primer lugar debemos mencionar que no es lo mismo un incidente nuclear que un accidente nuclear ya que estos dependerán del nivel de daño que le causen a la población y al medio ambiente (Wikipedia, 2024). Por ello existe una escala que recoge la gravedad de los accidentes nucleares y que recibe el nombre de Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES) (Wikipedia, 2024).



[https://es.wikipedia.org/wiki/Escala\\_Internacional\\_de\\_Sucesos\\_Nucleares](https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_Internacional_de_Sucesos_Nucleares)

Hasta ahora únicamente se han catalogado como accidentes de nivel 7 los sucedidos en Chernóbil y Fukushima y la realidad es que la probabilidad de que suceda una fusión del núcleo, según un estudio realizado por AIMPGN sobre las centrales alemanas, asciende a  $2,9 \cdot 10^{-5}$  (Wikipedia, 2024).

En el caso particular de España los problemas registrados en las centrales de nuestro país que han superado el nivel 0 han sido un total de veintisiete. De entre ellos los más importantes son El ocurrido en la central nuclear de Vandellós el 19 de octubre de 1989 calificado con un nivel 3y el de la central nuclear de Trillo el 31 de enero de 1992 siendo catalogado este de nivel 2 (Wikipedia, 2024).

- **Responsabilidad civil**

Existen varios convenios de índole internacional donde se estipulan las compensaciones que se llevarán a cabo en caso de que se produzca un accidente. De entre los cinco que existen España sólo forma parte de dos.

#### **Convenio de París**

Se oficializó el 29 de julio de 1960 mediante la supervisión de la Agencia de Energía Nuclear de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE-NEA). Este ha sido modificado en tres ocasiones posteriores siendo la última a fecha del 12 de febrero de 2004 (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

Los principios básicos que se recogen en el documento son:

1. Responsabilidad objetiva, y canalización de la responsabilidad exclusivamente al explotador de la instalación origen del incidente nuclear (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).
2. Obligación del explotador de cubrir su responsabilidad mediante seguro o garantía financiera (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).
3. Reglas especiales para transporte de material nuclear (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).
4. Límite mínimo de responsabilidad del explotador en cantidad (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).
5. Limitación de la responsabilidad del explotador en el tiempo (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).
6. Fijación del tribunal competente único para fijar las indemnizaciones y Ley aplicable (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).
7. Armonización de las leyes nacionales de los Estados Parte (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

El 1 de enero de 2022 es la fecha en la que entraron en vigor los últimos cambios producidos en el documento. Entre ellos destacamos que la cantidad mínima a la que

responde el operador es de 700 millones €. En las situaciones de riesgo reducido las indemnizaciones son de 80 millones € para transportes y 70 millones € para instalaciones de bajo riesgo. El convenio se aplicará en Estados Parte y otros Estados, con ciertas condiciones, así como en alta mar, el daño nuclear abarca los daños a persona y propiedad y los daños medioambientales, incluyendo medidas preventivas y reparadoras, así como lucro cesante relacionado directamente con el medio ambiente degradado. Finalmente, el tiempo de presentación de reclamación de daños a personas será de 30 años y para otro tipo de daños le corresponderán 10 años.

### **Convenio de Bruselas**

Este es un complemento al convenio de París y se realizó el 31 de enero de 1963 con la supervisión del mismo comité anterior y ha sido modificado en 3 ocasiones siendo la última en fecha del 12 de febrero de 2004. La función principal que tiene es la de asegurarse de la provisión de fondos públicos a los afectados en caso de que los operadores no suministren los recursos suficientes (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

Las cantidades que se pagarán se desglosan en tres tramos: en el primer tramo la responsabilidad es del operador alcanzando esta los 700 millones €, en el segundo tramo se utilizan fondos públicos del país del operador siendo estos de entre 700-1.200 millones € y en el tercer tramo de los 1.200-1.500 millones de € cada Estado aporta el 35% en función de su Producto Nacional Bruto (PNB) (Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

- **Cumplimiento de leyes regulatorias**

El Gobierno de España puso en vigor la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear donde se detallan como objetos de la misma el establecer el régimen jurídico para el desarrollo y puesta en práctica de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y de las radiaciones ionizantes en España, de manera que se proteja adecuadamente a personas, cosas y medio ambiente. Además, trata de regular la aplicación de los compromisos internacionales adquiridos por el Estado en materia de energía nuclear y radiaciones ionizantes (Boletín Oficial del Estado, 2022).

Esta ley trata los temas sobre definiciones del campo nuclear, enumera quienes son las autoridades y los organismos administrativos, coordina la investigación y enseñanza nuclear, la prospección, investigación y explotación de los minerales radiactivos y comercio de los mismos y de los concentrados. Con el fin de aumentar la seguridad menciona los ministerios que se encargarán de las autorizaciones para las instalaciones nucleares y las instalaciones radiactivas y de la tenencia y utilización de materiales radiactivos, así como de las medidas de seguridad y protección contra las radiaciones ionizantes (Boletín Oficial del Estado, 2022).

Como mencionamos anteriormente estipula de quién es la responsabilidad civil derivada de daños nucleares, quien se encarga de la cobertura del riesgo nuclear, de las indemnizaciones por daño nuclear y la forma en que interviene el Estado en la reparación de los mismos (Boletín Oficial del Estado, 2022).

Para que nada quede fuera de su alcance también regula los buques y aeronaves nucleares, las patentes y marcas e invenciones relacionadas con la energía nuclear junto con la no proliferación nuclear y protección física de los materiales nucleares y las infracciones y sanciones en materia nuclear (Boletín Oficial del Estado, 2022).

Todo esto, junto con algunas disposiciones finales, adicionales y transitorias, queda recogido en un total de noventa y siete artículos dentro de la ley sobre energía nuclear.

- **Riesgos operativos y de mantenimiento**

Las centrales nucleares son edificios que por el tipo de materiales que contienen, en el caso de suceder un accidente, se pueden producir grandes daños tanto a la población como al medio ambiente. Los riesgos pueden sucederse de diferentes fuentes.

Los reactores nucleares deben estar bien preparados ante posibles adversidades climatológicas de carácter extremo, terremotos, inundaciones, el paso del tiempo que produce el desgaste de los materiales usados en la construcción de las centrales y contención de los materiales radioactivos.

#### Terremotos

En el caso de España se cumplen seriamente los requisitos para construir centrales nucleares. Entre estas normas, se tienen en mente los peores terremotos acontecidos y registrados en todos los lugares donde se ubican las centrales a lo largo de la historia junto con de sus zonas aledañas. En los cálculos sobre los efectos de los terremotos, se ha tenido en cuenta que en las simulaciones se han incrementado los efectos asociados al más fuerte a nivel histórico para tener en cuenta los posibles errores de cálculo sobre los datos históricos del tiempo, cantidad y precisión de la información disponible. Estas medidas son aplicadas a todas y cada una de las centrales que se van a construir en las diferentes áreas (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas ).

Además de ello, se realizan estudios detallados de ingeniería sísmica que determinan las características concretas de los materiales que componen el suelo y cómo se comportan estos ante un terremoto. El acelerograma, que resulta ser quien mide la velocidad de máxima aceleración del suelo en sus movimientos, determina la gravedad del movimiento sísmico y su gravedad (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas ).

#### **Dos niveles de escala según la normativa sísmica internacional.**

- ❖ **Nivel 1.** El primer nivel se denomina como terremoto base de diseño y es muy poco probable que ocurra. En este caso es donde se considera que puede ocurrir el peor tipo de sismo y en él se piensan las medidas de seguridad máxima. En este caso permanecerían en funcionamiento las estructuras, sistemas, equipos y componentes de la planta que fueran necesarios para garantizar la seguridad nuclear, es decir, los relacionados con la integridad de la barrera de presión del refrigerante del reactor; con la capacidad de parada del reactor y su mantenimiento seguro, y con la capacidad de prevenir o mitigar accidentes que pudieran generar la liberación incontrolada de efluentes radiactivos (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas ).

- ❖ **Nivel 2.** El segundo nivel se denomina como base de operación y es más probable que ocurran siendo muy baja la probabilidad aún así. Normalmente suelen ser la mitad de potentes que los de nivel 1. En este caso se espera que la infraestructura se mantenga a pleno funcionamiento debido a que todos los elementos utilizados en la construcción de la central fueron construidos para soportar la fuerza de este tipo de sismos (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas ).

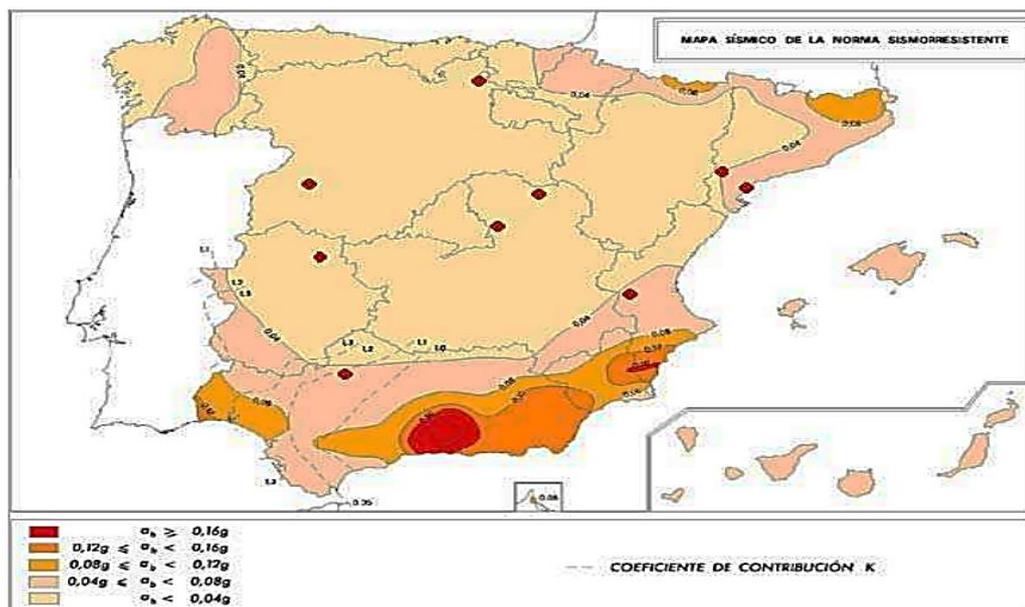
Cuando miramos el histórico de los terremotos que se han producido en España y sus alrededores tenemos los siguientes resultados:

1. Terremoto de Lisboa (Portugal), ocurrido el 1 de noviembre de 1755, con magnitud estimada de 8'7 (máximo absoluto) (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas ).
2. Terremoto de Arenas del Rey (Granada), ocurrido el 25 de diciembre de 1884 y de magnitud 6'7 (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas ).

Si nos enfocamos en los últimos cien años se ha registrado que los terremotos de mayor escala en España han sido:

1. Terremoto de Jacarilla (Alicante), el 10/09/1919 y con  $M= 5'2$  (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas )
2. Terremoto de Montilla (Córdoba), el 05/07/1930 y con  $M= 5'6$  (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas )
3. Terremoto de Dúrcal (Granada), el 29/03/1954 y con  $M= 7$  (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas )
4. Terremoto en el Golfo de Cádiz (epicentro marino), el 15/04/1964 y con  $M= 6'2$  (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas )

En el siguiente mapa se puede ver dónde se sitúan las centrales nucleares en España y las zonas donde puede haber riesgo de que suceda un terremoto.



Mapa obtenido de (Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas ):  
<https://www.csn.es/documents/10182/136297/Dise%C3%B1o%20s%C3%ADsmico%20de%20las%20centrales%20nucleares%20espa%C3%B1olas>

### Maremotos y tsunamis

Este tipo de fenómenos también son posibles riesgos a los que se tienen que enfrentar las centrales nucleares. Los maremotos los podemos definir como el movimiento producido en el lecho marino que desplaza el agua a través de una fuerza vertical (Matarozzo, 2024).

El efecto de los maremotos se describe en dos fases. La primera, a causa de las fuerzas anteriormente mencionadas, que consiste en que se retira el agua de las costas para que en su segunda fase arrastre un mayor volumen de agua hasta la costa nuevamente (Matarozzo, 2024).

Entre los causantes de un maremoto podemos encontrarnos a los volcanes, los meteoritos, los derrumbes que se suceden en zonas costeras o en el fondo marino y las explosiones de una gran magnitud (Matarozzo, 2024).

Una vez entendido qué es un maremoto y vistas sus fases explicaremos la manera en que llega esa agua de nuevo hasta las costas. Esto lo hace mediante un tsunami, que viene a ser definido como una o varias olas gigantescas de varios metros de altitud que golpean una costa y causa graves daños arrasando por donde pasan (Matarozzo, 2024).

Principales características de los tsunamis:

- ❖ La velocidad a la que viaja va descendiendo desde su inicio hasta su final. Puede partir desde las 500 mph (805 km/h) en las profundidades del océano y descender hasta aproximadamente 20 o 30 mph (33-50 km/h) (Centro Nacional de Alerta de Tsunamis, 2024).
- ❖ Lo habitual es que la altura de los tsunamis oscile entre los seis y siete metros (Morate, 2005) pero el récord del tsunami que generó la ola más alta del mundo jamás registrado es el que sucedió en 1958 en Alaska. Esta ola alcanzó los 530 metros de altura (MSM, 2019).
- ❖ Los grandes tsunamis pueden durar varios días y su punto más crítico suele estar situado alrededor de las dos horas desde que toca tierra. Tras ello disminuye su intensidad pero sigue dejando peligrosas corrientes a su paso (Centro Nacional de Alerta de Tsunamis, 2024).
- ❖ Se pueden pronosticar por dos vías. La primera es mediante redes sísmicas que sirven para detectar la ubicación, la profundidad y la magnitud del terremoto que sucede en el mar. La segunda es mediante las redes de nivel de agua, que evalúan si el maremoto ha producido cambios de altura sobre el nivel del agua que pueden ser analizados para determinar la existencia y el posible tamaño del tsunami (Centro Nacional de Alerta de Tsunamis, 2024).

### Desgaste de los materiales

Hasta ahora, según los estudios que se han realizado sobre el ciclo de vida de los materiales de las centrales nucleares, han obtenido como resultado que estos mismos comienzan a deteriorarse a causa de su desgaste y envejecimiento tras alcanzar los diez años de explotación (Novak).

Es evidente que el envejecimiento es un factor determinante a tener en cuenta en el momento en que se trata de definir la vida útil o los límites hasta los que puede llegar una central nuclear. Esto es así tanto en las centrales que ya están en pie como en las que se están terminando de construir (Novak).

La velocidad del desgaste es algo que depende de forma directa de las condiciones de funcionamiento y de la sensibilidad de los materiales a las diferentes formas en que se trabaja con ellos. Debido a esto es algo imperativo tener en consideración el envejecimiento de los materiales desde el momento en que se empieza a diseñar, e ir haciendo revisiones periódicas durante todo el ciclo de vida (Novak).

Si bien es cierto que el envejecimiento de las centrales puede tener influencia en lo eficiente o no que puede generarse la electricidad, también hay que hacer referencia a la seguridad. Si no se detecta a tiempo el desgaste de los materiales, no pudiendo realizarse las reparaciones o sustituciones a su debido tiempo, las probabilidades de que ocurran fallos en el sistema se verán incrementadas. Esto puede hacer que, en caso de un fallo que cause un accidente nuclear, las probabilidades de que las medidas de seguridad funcionen correctamente y que no se produzca una catástrofe disminuyan y que, tanto la población como su entorno, sufran terribles consecuencias (Novak).

Las diferentes maneras en que se controlan este tipo de peligros es con los programas de mantenimiento preventivo, los sistemas de notificación de sucesos significativos y los exámenes periódicos del funcionamiento de la central. Todas estas formas de control se han ido perfeccionando con los años mediante las experiencias previas y la nueva información que se descubre con el paso de los años. Gracias a esto podemos afirmar que hoy en día, de manera global, estos métodos son muy eficaces para descubrir o paliar los efectos de envejecimiento. Además, para hacer constar la importancia del cumplimiento de estas, todas ellas se llevan bajo el control del OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) (Novak).

## **4. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

### **Generación de empleo**

La información que podemos obtener a través de la Sociedad Nuclear Española estima que puede haber algo más de cuatrocientas centrales nucleares en el mundo y que suponen aproximadamente un millón doscientos mil trabajadores en este sector económico sumando los trabajadores directos y los indirectos. Si hablamos del caso de España las cifras oscilan sobre los veintisiete mil puestos de trabajo y en datos del informe PwC sobre el impacto socioeconómico que representa la industria nuclear en nuestro país se menciona que ochomil quinientos son empleos directos (Sociedad Nuclear Española, 2021).

Si bien podemos resaltar que son cifras significativas debido al número de centrales que operan en España, otro dato relacionado directamente con este sector económico es que genera empleo de calidad a lo largo de toda su cadena de valor (Sociedad Nuclear Española, 2021).

Si se compara con otros sectores, en el de la energía nuclear destacan cuatro formas de empleo. Estas fases son la de diseño, construcción, operación y desmantelamiento de las centrales. Para poder trabajar aquí se exige que las personas estén debidamente cualificadas y es por ello que más tarde se ven recompensadas con una grata remuneración por su desempeño y largo periodo de formación (Sociedad Nuclear Española, 2021).

Trabajar en este sector implica un alto grado de conocimientos específicos y muy técnicos ya sea para el apartado fabricación de combustible, de equipos y su mantenimiento, el montaje, las inspecciones, los controles de calidad y la capacidad tecnológica. Como consecuencia de ello se estimula continuamente la colaboración con universidades para realizar nuevos estudios o con centros de I+D, que buscan grandes oportunidades de expansión en el sector nuclear para desarrollar sus actividades (Sociedad Nuclear Española, 2021).

A modo de información adicional podemos explicar el proceso por el que ha pasado Alfredo García, trabajador de la central nuclear de Ascó desde el año 1998. Para acceder a trabajar en una central nuclear tras terminar sus estudios universitarios, se preparó durante tres años para obtener la licencia de operador de reactor nuclear y de turbina, estudios que fueron pagados por la propia central. Unos años más tarde le propusieron como candidato a obtener la licencia de supervisor, que es el encargado de dirigir a los operadores en la sala de control, lo que le supuso otros dos años más de formación. Esta licencia la concede el Consejo de Seguridad Nuclear y ahora es ayudante de jefe de turno para uno de los dos reactores de la central de Ascó (García, 2023).

Pasar por todo este proceso de formación para trabajar en una central nuclear nos arroja el dato de que, entre los trabajadores en este sector el 50% son titulados universitarios y el 80% de los trabajadores tienen un contrato indefinido, lo que muestra la gran estabilidad que se vive en el sector nuclear (Sociedad Nuclear Española, 2021).

### **Contribución al PIB**

El total del impacto de la energía nuclear sobre la economía española, teniendo en cuenta su influencia a nivel directo, indirecto e inducido, se estima en más de 2.700M€. Esta cifra supone una cantidad cercana al 0,3% del PIB español (Sociedad Nuclear Española, 2021).

Otros datos relevantes son que si tenemos en cuenta toda la producción de este sector se calcula que cerca del 17% de lo que se genera en España se distribuye al sector exterior, siendo Francia debido a la parada de algunas de sus centrales. Sumado a todo esto nos encontramos con que de todo lo que se genera en este sector se reinvierte un 2% de los beneficios en I+D. Esta cifra resulta ser el doble de lo que reinvierte la industria química y el cuádruple del sector del metal (Sociedad Nuclear Española, 2021).

Si analizamos la producción bruta de energía total, incluyendo las del resto de sectores, en 2021 la energía nuclear supuso un 20,6% del total. Mientras que si hablamos de los datos de

2022 tenemos que el total de lo que aporta pasa a ser del 20% (Secretaría de estado de energía, 2023).

Finalmente, según el balance energético que se realizó del año 2022 respecto del 2021, el peso de este sector sobre lo que se produce en el país se ha incrementado en un 0,3%, lo que supone que se ha incrementado su consumo, y por lo tanto, su producción anual (Secretaría de estado de energía, 2023).

## **El uranio**

Gracias a que recientemente se ha calificado la energía nuclear como un tipo de energía limpia en Europa, muchas personas de gran capital han comenzado a interesarse por este sector. Entre Rusia, EE.UU. y la UE se reparten el control de esta materia prima. Sabiendo, mediante datos contrastados, que 5 gramos de uranio producen la misma energía que una tonelada de carbón o incluso más de la que se produciría con 500 litros de petróleo, podemos hacernos a la idea de lo codiciado que es el tener su control (Orgaz, 2024).

## **5. RIESGOS Y DESAFÍOS**

### **Riesgos financieros**

Dada la política del actual gobierno y su pretensión por cerrar las centrales nucleares en un plan que ya se ha aprobado y que tiene previsto cerrar la última central en 2035, un estudio realizado recientemente estima que, el impacto de tener que aumentar el consumo de gas para suplir el aporte de la energía nuclear, se estima en veintidós mil seiscientos millones de euros hasta el año 2050 (PALACIO, 2023).

Este estudio elaborado por el think tank Oikos y la consultora Afry, estima que el cierre de estas centrales sumará unos veintiocho millones de toneladas de dióxido de carbono. Sumado a este riesgo se debe tener en cuenta otro tan importante como supone la capacidad de abastecimiento, ya que la demanda de electricidad producida por los reactores nucleares quizás no pueda ser reemplazada en su totalidad, y si lo consigue el precio es probable que se viese incrementado debido a un posible enfrentamiento entre la oferta y la demanda (PALACIO, 2023).

Este estudio estima también que el coste directo de no continuar con el funcionamiento de las centrales nucleares, entre los años 2027 y 2050 sería demasiado elevado, mientras que si se amplía la extensión de la vida útil se calcula que para el año 2028 el ahorro en el mercado no regulado podría alcanzar los setecientos noventa y siete millones de euros. Todo este incremento de los precios lógicamente tendría que ser soportado por las empresas y consumidores españoles, lo que podría generar malestar social (PALACIO, 2023).

### **Nuevas formas de gestionar residuos nucleares**

Como se informa en apartados previos ya se han puesto en práctica algunas técnicas novedosas y seguras para evitar la contaminación por radiación, más en concreto en los países del norte de Europa, los cuales cumplen con una serie de propiedades a nivel de riesgos

movimientos de placas tectónicas.

Pese a ello se sigue investigando en este campo y parece ser que la Universidad de Houston (EEUU), gracias a la labor de uno de sus equipos de investigación, ha descubierto un nuevo método para capturar el yodo. Aunque lo que más relacionamos como yodo es aquel material que utilizamos para curar heridas en casa, en función de su composición este puede ser altamente radioactivo (Duarte, 2023).

El desecho de los materiales radioactivos después de su utilización es un problema al que aún se hace frente hoy en día. La energía nuclear es considerada, por gran parte de la comunidad científica, como la única forma de producir electricidad de forma masiva y de manera continuada en el tiempo sin emitir CO<sub>2</sub> (Duarte, 2023).

En el caso de esta investigación que se centra en el yodo sabemos que el yodo 131 y 132 son materiales contaminantes que resultan del proceso de fisión nuclear. Como características de estos sabemos que son volátiles y que se pueden disolver en medios orgánicos y líquidos. La fuerza de estos materiales es tal que son capaces de deteriorar la pintura del interior de los reactores nucleares y los recipientes encargados de contener los residuos (Duarte, 2023).

El estudio sostiene que la introducción de unos anillos de cristales moleculares logra capturar el yodo. Debido a su forma han decidido apodar el anillo como el pulpo, ya que se trata de una pieza en forma de anillo con ocho piezas lineales que nacen de él (Duarte, 2023).

Estos anillos resultarían ser fáciles de fabricar y bastante baratos. Esta opción, además, permite trasladar el yodo a otras zonas de manera segura y los anillos pueden reutilizarse gracias que pueden liberar el yodo que ya capturaron. Con todo ello, uno de los investigadores explica que los materiales utilizados son baratos y que pueden ser producidos en laboratorios académicos, lo que reduciría su coste para producirlo de manera industrial. El precio estimado de producción vendría a ser de un dólar por gramo si se producen de esta manera (Duarte, 2023).

Aunque esto signifique un gran avance, diferentes países buscan descubrir nuevas formas de gestionar los residuos nucleares. Tenemos casos como los de Suecia con sus túneles subterráneos que llegarían a almacenar sus desechos por un tiempo de hasta cien mil años o China, que apuesta muy fuerte por este tipo de energía y está desarrollando un método para reutilizar el uranio de forma infinita (Duarte, 2023).

### **Factores externos**

Si bien sabemos que el coste externo que tienen las fuentes de energía más convencionales es un coste que no podemos cuantificar claramente, como es lo que sucede con el uso de los combustibles fósiles como fuente de energía, si somos conscientes de que su uso implican un alto impacto para la salud y el entorno. Esto sucede principalmente por la contaminación que produce su proceso de combustión (Sociedad Nuclear Española, 2021).

En el caso de las fuentes de energía renovables no sucede lo mismo. Los costes externos que presentan se deben a la sobrecapacidad en la potencia instalada y que su producción es variable. Por esa razón la curva de oferta de este tipo de energía se ve flexible y son otras fuentes de energía las que tienen que atender a la demanda que no se logra abastecer (Sociedad Nuclear Española, 2021).

Es en este punto en el que podemos decir que la energía nuclear gana terreno. Estudiando el capital, o los costes adicionales que se requieren para el funcionamiento de una central a lo largo del tiempo, se ha demostrado que pueden considerarse como una forma segura de inversión. Esto no solo es así a nivel económico ya que el impacto social que genera también ha resultado ser beneficioso. Y es que solamente es necesario ver como contribuye al crecimiento de las economías locales y regionales, algo que también podemos ver reflejado en el PIB a nivel nacional, sino que genera empleo y ayuda en otros sectores a que se investigue para mejorar la calidad de vida de las personas (Sociedad Nuclear Española, 2021).

## **6. EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD**

### **Análisis de sensibilidad**

Existen diferentes aspectos muy importantes que van a tener en cuenta las personas que quieran invertir su capital en el sector de la energía nuclear, pero uno de los más relevantes será la aceptación social. Esto es así porque en función de ello se podrán reformar las leyes a su favor o en su contra. En el caso concreto de España los datos indican que desde 2019 el apoyo a las nucleares se ha incrementado en un 79% (Cruz, 2024).

Este sondeo de la opinión pública está basado en los datos del Real Instituto Elcano. Los resultados obtenidos mostraron que la mayoría de las personas españolas están a favor de alargar la vida útil de las centrales nucleares (Cruz, 2024).

Para comprobar el nivel de preocupación de la población sobre este tema se les encuestó a diferentes personas y los resultados avalaron la posición tan favorable hacia las nucleares. De entre todas las opciones mencionaron las más preocupantes tales como la alerta de los conflictos armados con un resultado del 38%, los problemas políticos un 14%, los problemas económicos un 12% y la inmigración un 11%. En su lugar, la emergencia climática, obtuvo un resultado del 16% (Cruz, 2024).

Dentro de ese 16% no todo el mundo opina igual y cuando se especifica más sobre el tema un 42% pide que se paguen más impuestos por las emisiones de CO2 en contra de un 47% que está en desacuerdo y el 11% restante no opina sobre ello. Dentro de ese mismo 16% se cuestionó también sobre la contaminación de los vehículos y el 51% rechaza que se incremente el impuesto de circulación. Finalmente otro de los temas tratados para ese porcentaje de personas preocupadas por la emergencia climática, fue cuestionar si las medidas que se adoptan contra el cambio climático perjudican la economía española y el 49% de los encuestados resultaron estar de acuerdo con esa afirmación (Cruz, 2024).

### **Escenarios presentes y futuros**

Si miramos el panorama energético a nivel global podemos apreciar que el interés por la energía nuclear se ha incrementado. Muchos de los países más importantes del mundo como son China, Japón, India, Suecia, Reino Unido, Francia, Rusia, Estados Unidos, etc. están construyendo centrales nucleares. Pero no solo ellos lo están haciendo, ya que también aquellos que se encuentran en vías de desarrollo o que son pequeños países a nivel territorial, han tomado esa iniciativa con el objetivo de tener una energía barata y que mejore su

economía para no quedarse atrasados en la carrera del desarrollo (Orgaz, 2024).

Los factores que podemos destacar como catalizadores de cara al incremento de construcción de reactores nucleares a nivel mundial son:

### **Tecnología más asequible**

En la actualidad se fabrican reactores modulares avanzados (SMR) más pequeños de los que nos podemos encontrar en las centrales más antiguas: Esto permite que acceder a la compra de uno de estos reactores sea más accesible de diferentes formas. La primera es a nivel de espacio, ya que al ser de menor tamaño se pueden ubicar en lugares más asequibles donde no se podían construir centrales nucleares tan grandes. Otra de las razones es el coste económico, ya que pasa a ser menor y según Middleburgh se ha llegado al punto en que pueden ser construidos en masa (Orgaz, 2024).

Si bien es cierto que la energía que producen es menor, con sus 500 megavatios es suficiente para alimentar energéticamente a una isla o una región entera, por lo que ayudará mucho a reducir los costes de producción de energía de los pequeños países como mencionamos anteriormente. Además, otra gran ventaja que tienen respecto a los grandes reactores es que los módulos de esos SMR pueden ser prefabricados e instalados en el lugar de destino donde se envíen (Orgaz, 2024).

Un ejemplo de lugares donde estos SMR que ya se están construyendo es Argentina, que está construyendo el primer prototipo en Lima (provincia de Buenos Aires) bajo la supervisión de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) del país y del que el 70% de sus componentes se han fabricado en el país.

### **No dependencia**

La reciente guerra de Ucrania sorprendió al mundo y lo puso en gran tensión debido a que Rusia es uno de los mayores exportadores de gas y petróleo a nivel mundial. Esto afectó gravemente a la forma en que suministraban energía muchos países a sus ciudadanos al ser clientes directos de Rusia. Por esta razón muchos países se han dado cuenta de la dependencia que tienen de otros países y que ese coste podía ser demasiado alto en el caso de muchos de ellos. Otra de las cosas que salieron a relucir es que las energías renovables es que, de nuevo, no son capaces de cubrir toda la demanda deseada debido a la dependencia de las fuerzas de la naturaleza (Orgaz, 2024).

Es por ello que muchos países europeos se plantean el debate de reabrir centrales nucleares o extender la vida útil de las que ya siguen en funcionamiento. En palabras de Rafael Grossi (director del Organismo Internacional de Energía Atómica) se dice que muchos países han descubierto, redescubierto o revalorizado la independencia que genera la energía nuclear (Orgaz, 2024).

## **7. COMPARACIÓN CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA**

### **Análisis de producción total de energía en España**

Si analizamos los datos oficiales que nos presenta el Gobierno para los años 2020 y 2021 respecto del año 2022 podemos comparar el aporte energético de las diferentes fuentes de energía al total del consumo del país (Secretaría de estado de energía, 2023).

#### **Energía hidráulica**

En el año 2021 la aportación total que hizo resultó ser un 13,1% del cual prácticamente no fue necesario usar la técnica por bombeo. Sin embargo, para el año 2022, la situación cambió drásticamente. Cuando observamos los resultados vemos que su aportación total descendió hasta la cifra de un 7,6% y que en este año si se utilizó la técnica de bombeo (Secretaría de estado de energía, 2023).

En este caso hablamos de que alcanzó unas cifras del 20,4% de energía lograda por esta técnica. Esta situación refleja que el año 2022 fue un año de sequía y que está incluido entre los años más secos desde que se tienen registros (Secretaría de estado de energía, 2023).

#### **Energía solar**

Debido al reciente impulso de las energías verdes que está sucediendo en el país, se ha incrementado la producción de energía solar con la instalación de más placas solares en viviendas de particulares y con la construcción de nuevos parques solares fotovoltaicos (Secretaría de estado de energía, 2023).

Como resultado a nivel numérico podemos comprobar que estas medidas han tenido un resultado positivo. En el año 2021 aportó el 9,9% de energía total mientras que en el año 2020 alcanzó el 12,2%. Esto se debe a que España está ubicado en una situación geográfica privilegiada y disfruta de muchas horas de luz al día (Secretaría de estado de energía, 2023).

#### **Energía mareomotriz**

Este tipo de fuente de energía se basa en procesos mediante los que las olas y mareas del océano son capaces de ser aprovechadas para generar electricidad. En el caso de España, pese a ser una península y estar rodeada de mar por casi todos sus lados, no obtiene buenos resultados. Después de contar el proceso de producción total durante el año tenemos como resultado que ha generado sólo un 0,1% del total tanto en 2021 como en 2022 (Secretaría de estado de energía, 2023).

#### **Energía eólica**

Al igual que sucede con los parques solares fotovoltaicos, también se han creado nuevos parques eólicos en estos años. Si bien la fuerza del viento no es siempre la misma, y es algo que no se puede controlar al ser una fuerza de la naturaleza, en el año 2022 se incrementó

levemente la producción de este tipo de energía pero en el porcentaje global su aportación se vio reducida de un 22,6% en 2021 a un 21,5% en 2022 (Secretaría de estado de energía, 2023).

Este resultado puede deberse a dos situaciones diferentes. La primera sería el incremento del uso de otras fuentes de energía y la segunda, que pese a que la producción creciese en el año siguiente, no fue lo suficiente como para mantener o incrementar el abastecimiento que demanda el mercado (Secretaría de estado de energía, 2023).

### **Energía nuclear**

En este caso, como hicimos con anterioridad, recordemos que el poder político actual ha decretado el cierre paulatino de las centrales nucleares españolas. Si partimos de esa información podemos deducir que el abastecimiento con el paso de los años cada vez será menor. Pese a esta premisa, tenemos que según los datos la producción de energía nuclear en 2020 fue superior a la de 2021 pero que se vio reducida de un 20,6% a un 20,0% (Secretaría de estado de energía, 2023).

Al analizar estos datos debemos tener cuidado ya que el incremento de su producción no es algo que encaje con que tenga un menor porcentaje de mercado. Esto se debe al reciente conflicto bélico que estamos viviendo entre Ucrania y Rusia. La crisis energética provocada por Rusia, al ser unos de los mayores proveedores a nivel mundial de gas y petróleo, y que el conflicto se produjese en tiempos invernales, hizo que el precio de la electricidad y los combustibles se disparasen. Ante esta situación el gobierno decidió aumentar la producción de las centrales nucleares para abaratar el coste de la luz, de ahí que la producción final de 2021 fuese de 56.564 GWh y la de 2022 58.590GWh y esa puede ser la razón de tener estos resultados (Secretaría de estado de energía, 2023).

### **Combustibles fósiles**

Este grupo está formado por varias materias primas diferentes. Sin embargo, cuando hablamos del total que aportaron en su conjunto, tenemos que en el año 2021 suponían el 33,6%, mientras que en 2022 la cifra subió hasta el 38,6% (Secretaría de estado de energía, 2023).

Entre los diferentes recursos que forman el grupo de los combustibles fósiles, tenemos que el carbón en 2021 supuso un 6,3% de los combustibles fósiles respecto al 7,7% del año 2022. Claramente esto se debió a la falta de recursos para generar electricidad que teníamos en España. La desventaja de usar un material como este es que termina contaminando demasiado al medio ambiente y que su extracción es cara y peligrosa para los mineros (Secretaría de estado de energía, 2023).

En el caso del fuel tenemos que en 2021 representó el 10,5% del peso global en combustibles fósiles mientras que en 2022 se vio reducido a 9,4%. Probablemente esto puede deberse a una escasez momentánea de suministro o la resistencia a su uso en las economías familiares (debido al incremento de su coste) (Secretaría de estado de energía, 2023).

Al analizar los datos del gas natural podemos comprobar a golpe de vista que es el

combustible fósil más utilizado con amplia diferencia. Durante el año 2021 se utilizó en un 74,9% de procesos para generar energía dentro de este campo de recursos, pero durante 2022 se volvió a incrementar su consumo llegando a alcanzar la cifra del 76,1% (Secretaría de estado de energía, 2023).

Finalmente tenemos los biocombustibles y residuos. Estos redujeron tanto su producción como su porcentaje de peso sobre este tipo de combustibles bajando de un 8,3% en 2021 a un 6,8% en 2022 (Secretaría de estado de energía, 2023).

A modo de visión general podemos decir que la demanda de energía se ha visto incrementada al estudiar los datos de las variaciones sobre el desglose de la producción total. Pese a ello está claro que la mayor parte del incremento de la demanda se cubre con los medios más tradicionales (Secretaría de estado de energía, 2023).

### **Energía solar vs energía nuclear**

En la actualidad se sigue debatiendo en la comparativa de estas dos fuentes de energía. Las dos son consideradas limpias y libres en emisiones de carbono. Ambas tienen en común que la infraestructura necesaria para su funcionamiento debe ser bastante grande si se pretende abastecer de energía a una cifra considerable de personas (Maysunsolar, 2023).

En cuanto a la energía solar se requiere de un sistema que almacene dicha energía para poder utilizarla cuando sea necesario. Los usos más comunes en que nos podemos encontrar esta fuente de electricidad es en los automóviles, para hacer funcionar las viviendas y en procesos industriales (Maysunsolar, 2023).

Si comparamos los tiempos de construcción de una central solar estos son más bajos, ya que los protocolos de seguridad no son tan estrictos en caso de accidente ni la preocupación local es tan grande como es el caso de las centrales nucleares. Esto hace que un parque solar pueda construirse en un periodo de entre tres y veinticuatro meses (Maysunsolar, 2023).

La energía solar es más barata que la nuclear debido a que sus costes y tiempos de producción son menores. Esto se ve reflejado en que la producción de 1 megavatio-hora de un parque solar cuesta 40 dólares y en una central nuclear 155 dólares. El problema de la energía solar lo encontramos en que sólo se puede producir cuando brilla el sol, lo que supe que su tiempo de operación diario ronda el 30% de las horas de un día (Maysunsolar, 2023).

Esto es un factor determinante a la hora de que muchos países se decanten por la energía nuclear. Las centrales nucleares pueden funcionar ininterrumpidamente 341 días al año mientras que las solares sólo alcanzan la cifra de 89 días al año (Maysunsolar, 2023).

Respecto a la vida útil de los paneles solares suelen durar entre veinticinco y treinta años, lo que claramente se encuentra por debajo de los cuarenta años de las centrales nucleares con la posibilidad de ampliarse aún más (Maysunsolar, 2023).

### **Energía eólica vs energía nuclear**

Con el auge de las energías renovables España cuenta cada vez con más parques eólicos y huertos solares. Debido a ello es interesante realizar una comparación entre la capacidad de

producción de los parques eólicos respecto a las centrales nucleares. Aunque esto no resulte fácil de realizar debido al espacio que ocupan cada uno el estudio aportará un resultado orientativo y lo más realista posible (Jordá, 2023).

Para hacer la comparación se elige la central nuclear de Ascó porque es la que más electricidad produce en nuestro país, frente al parque de GECAMA (situado en Castilla-La Mancha) que cuando finalice por completo sus obras será el mayor de todo el país (Jordá, 2023).

En el caso de la central de Ascó sus generadores produjeron 16.232 gigavatios-hora en el cómputo global del año, mientras que el parque eólico de GECAMA se estima que, cuando funcione a pleno rendimiento, estaría generando 1.000 gigavatios-hora durante todo un año completo. Esto quiere decir que el mayor parque eólico de España estaría generando menos de un dieciseisavo de energía eléctrica de lo que es capaz de producir la central de Ascó (Jordá, 2023).

Con relación al espacio que necesitaría ocupar el parque eólico para alcanzar la misma cantidad de producción que la central nuclear, tendría que alcanzar una extensión de 1.280 kilómetros cuadrados, lo que podemos comparar con el doble de la extensión que tiene la ciudad de Madrid (Jordá, 2023).

Si a esto le sumamos el daño que produce al paisaje, el daño que sufre el terreno con la instalación, que el espacio entre cada generador no puede ser ocupado por viviendas ni fábricas y el daño que hace a la fauna, siendo la causa de muchas muertes de aves de la zona o que tienen sus rutas de migración cerca de los generadores... Queda claro que se debe priorizar la producción de energía nuclear sobre la eólica (Jordá, 2023).

### **Gas natural vs energía nuclear**

Como mencionamos con anterioridad, el Parlamento Europeo ya considera la energía nuclear como energía verde. Esto mismo es algo que ha sucedido también con el gas natural. Con este acuerdo se incluyen ambas fuentes de obtención de energía en el plan de transición que lucha por tener emisiones cero en el año 2050 para acelerar el proceso de descarbonización (Abogados López-Ibor Mayor, 2022).

Al ser un tipo de energía que contamina menos que el carbón se ha posicionado como una buena alternativa energética. En el caso de España su demanda es alta porque se utiliza en la mayoría de los hogares y en el sector de la industria, teniendo este último un consumo total del 30% sobre el total del consumo energético que se realiza en dicho sector (El blog ruralvía, 2023).

En España tradicionalmente hemos importado el gas natural desde Argelia hasta que Estados Unidos se situó en cabeza desde el año 2022. La diferencia entre la procedencia del gas entre un país y otro es que desde Argelia lo obtenemos en su estado natural y desde Estados Unidos viene licuado, por lo que necesita un proceso de transformación posteriormente (El blog ruralvía, 2023).

En la actualidad, a fecha de 2024, el precio del gas se ha estabilizado de nuevo en niveles similares a los que teníamos previos a la crisis energética causada por la guerra entre Ucrania y Rusia. En esos momentos el gas llegó a tener un precio de 225€/MWh lo que superaba los

máximos históricos previos (Pérez, 2024).

El problema del gas natural es que España no puede autoabastecerse. Los datos del año 2019 nos informan sobre que el autoabastecimiento de esta materia prima, respecto del total de su consumo en el país, tan solo alcanzaba el 0,38% (Pérez, 2024).

A esto le debemos sumar otros inconvenientes como que el gas natural se compone principalmente de metano, lo que hace que se incremente el efecto invernadero porque atrapa más calos que el dióxido de carbono y como resultado de la emisión de metano también tenemos que empeora la calidad del aire. En cambio, la energía nuclear, no tiene ninguno de estos problemas y sí que puede autoabastecer la demanda de electricidad como ha sucedido durante la última crisis energética (USC Environmental Health Centers).

### **Petróleo vs energía nuclear**

Al contrario que la energía nuclear el petróleo no puede considerarse una energía verde. Este emite grandes cantidades de dióxido de carbono junto con otros gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que incrementa y acelera el calentamiento global. Además de esto, en los procesos de quemado de petróleo, se liberan numerosas sustancias tóxicas y cancerígenas sobre el aire que después respiramos las personas (Beck Destrucción Confidencial, s.f.).

La extracción de petróleo supone grandes riesgos para la salud humana y para el medio ambiente. No importa que sea en su proceso de recolección o cuando sucede algún accidente y ocurre una fuga de petróleo, lo que suele suceder en los mares sobre todo (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), 2017).

Los peligros más comunes con los que nos podemos encontrar en caso de exposición pueden ser la irritación de ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, mareos, malestar estomacal y tos o dificultad para respirar (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), 2017).

Estos no son los únicos problemas, también puede suceder a causa de estrés por el calor y la exposición al sol los trabajadores pueden sufrir golpes de calor, desmayos y lesiones si no se trabaja con los equipos de protección y ropa correctos. Además, junto a estas medidas, es imprescindible el uso de respiradores que protejan a los trabajadores frente a la inhalación de las sustancias tóxicas (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), 2017).

Como podemos ver los riesgos que existen en la extracción de petróleo y lo contaminante que resulta ser para las personas y nuestro entorno, hacen que la energía nuclear se posicione muy favorablemente sobre esta otra materia prima.

## **8. LA REALIDAD DE LOS ACCIDENTES NUCLEARES**

Aunque vivimos en la era digital, la desinformación o la mala información siempre ha impactado significativamente en la sociedad y en la toma de decisiones. Este fenómeno es algo muy importante que a lo largo de la historia ha sido utilizado en las guerras, en política, en salud pública, obtener beneficios económicos o para causar un impacto social. En este

último aspecto es en el que la energía nuclear se ha visto perjudicada claramente. En nuestro caso de estudio hemos comprobado como, aunque recientemente se están aceptando a nivel social los beneficios de la energía nuclear, siempre ha sido estigmatizada como un peligro que podría arrasarse con la humanidad. Con la intención de comprender el verdadero daño que causa un accidente nuclear expondremos lo que sucedió en el accidente de Fukushima y cuáles han sido las consecuencias.

Para localizar Fukushima en el mapa tenemos que desplazarnos hasta Japón, lugar que es conocido por tener fama de ser estricto con sus protocolos de seguridad y ser un país que destaca por su tecnología punta. Estas características fueron comprometidas el once de marzo de dos mil once a causa de un accidente nuclear (García, 2023).

Lo acontecido en esta fecha resultó ser uno de los mayores sismos registrados a nivel histórico con un valor de 9,2 de potencia medido en la escala Richter. Si bien sabemos que Japón es un país que está muy preparado ante los movimientos de la tierra debido a la geografía de su territorio, este sismo causó graves daños a los edificios, carreteras e incluso hizo caer toda la red eléctrica del país (García, 2023).

En el caso de Japón las centrales nucleares están diseñadas para detener su funcionamiento, de manera automática, en el momento que se detecta cualquier movimiento de las placas terrestres que pueda suponer una amenaza. Esta medida no la tienen implementada todos los países en sus protocolos de seguridad como es el caso de España, que en esta situación en concreto, se paran de forma manual. Esta medida de seguridad funcionó correctamente en todas las centrales nucleares de Japón y todas ellas resistieron, como estaba previsto, este sismo. Esto es algo que causa una gran impresión sobre el diseño de estos reactores (García, 2023).

Una vez que los reactores estaban detenidos es donde se sucedió el problema. Estos tienen un calor residual muy alto debido a las altas temperaturas en las que se trabaja con los elementos radiactivos que necesitan refrigerarse durante cierto tiempo. Como mencionamos previamente la red eléctrica del país quedó inutilizada debido a la catástrofe, por lo que decidieron utilizar los generadores de diésel, que tienen el tamaño de los motores de un barco para emergencias, para que las bombas pudieran refrigerar el reactor. El problema vino después, ya que aunque la central estaba preparada para soportar tsunamis de hasta seis metros de altura, cuando el tsunami de aproximadamente trece metros de altura golpeó la central, inundó los generadores de emergencia (García, 2023).

Como el agua del mar es muy conductora debido a la cantidad de minerales que contiene, la central se quedó sin esa fuente de alimentación eléctrica de emergencia por la sucesión de varios cortocircuitos. El efecto de que los reactores no pudieran enfriarse es que el combustible siguió calentándose hasta alcanzar el punto en el que se comenzó a fundir, lo que comenzó a generar hidrógeno que causó explosiones en los edificios de contención, diferentes a las de Chernobyl que fueron de vapor de agua. Esta fue la causa de emisión de material radiactivo, que fue menor que la de Chernobyl pese a que se fundieron tres reactores, dos más de lo que sucedió en el otro caso (García, 2023).

Los protocolos a seguir frente a un accidente de tal magnitud comienzan por evacuar a la gente no esencial de la central en la lucha contra el accidente a los pocos minutos. A las pocas horas se evacua el entorno cercano a la central nuclear alrededor de 30km a la redonda.

Además, los trabajadores tenían limitado el tiempo de trabajo en la central para protegerles frente a las dosis de radiación que podían recibir (García, 2023).

En la actualidad los reactores se mantienen refrigerados con agua para controlar el poco calor residual que les queda y los materiales radiactivos están perfectamente contenidos. El agua que se ha contaminado alcanza la cantidad de mil treientos depósitos de mil metros cúbicos. El agua utilizada, que será liberado al mar próximamente, se trata mediante unos desmineralizadores. Aquí se introducen unas bolas que tienen la capacidad de retener minerales que deja un agua que prácticamente no es radiactiva, proceso que se repite sucesivamente hasta que el agua cumple con los niveles legales de radiación que no suponen un peligro al ser liberado al mar, cuyo proceso durará treinta años para ser liberada de forma segura (García, 2023).

Desde entonces no se ha detectado a una sola persona que haya muerto debido a la dosis radiactiva que recibiese, ni siquiera en los trabajadores, que se conoce a la perfección la dosis de radiación que recibieron porque llevaban un dosímetro que lo medía. Con todo esto podemos decir que a nivel medio ambiental las consecuencias no son perceptibles, las dosis que tiene la población es muy baja y que las mayores consecuencias del accidente se produjeron a nivel social por la evacuación y a nivel económico. Otro aspecto a destacar es que la mayor parte de Fukushima ya ha sido repoblada y la gente ha vuelto a vivir en sus antiguas casas (García, 2023).

## **9. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y SOCIALES**

### **Impacto en la seguridad y salud pública**

El objetivo principal que se tiene con la energía nuclear en este aspecto es que se minimice lo máximo posible los riesgos radiológicos que pueden derivarse durante el proceso de manipulación de sustancias nucleares o durante el almacenamiento de estas mismas. En España el único organismo que está autorizado a establecer la normativa de seguridad que se debe seguir en cuanto a la seguridad nuclear es el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.).

Entre sus funciones le corresponde determinar donde es posible ubicar una central, aprobar el proyecto de construcción, controlar el correcto funcionamiento de la central una vez que comienza su actividad y supervisar el desmantelamiento una vez que se cierra la planta nuclear (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.).

Si comparamos la mortalidad de la energía nuclear respecto a otras fuentes de energía, midiendo la tasa de defunción en TWh, en el caso de la energía nuclear nos situamos en que por cada TWh de energía producido la tasa de muerte equivale a un 0,07%. Esto implica la energía nuclear provoca 99,7% menos de muertes prematuras que el carbón, un 99,6% menos que el petróleo, y 97,5% menos que el gas (Roca, 2020).

Si contrastamos estos datos con un estudio epidemiológico sobre el posible efecto de las radiaciones ionizantes, que realizaron en colaboración el Consejo de Seguridad Nuclear con el Instituto de Salud Carlos III, esta información tiene sentido. Durante el estudio, se llegó a la conclusión de que las dosis acumuladas por la población que residía cerca de una instalación nuclear eran muy bajas y se descartó su posible efecto negativo sobre la salud de

las personas. Además, no se vieron aumentados los casos de muertes por cáncer (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009).

Con toda esta información, junto con la recopilada anteriormente, podemos afirmar que la energía nuclear es muy segura y que no afecta a la salud de la población.

### **Descarbonización a largo plazo**

Si miramos de cara al futuro debemos tener en cuenta que las centrales nucleares son la fuente de generación de energía eléctrica más rentable y que menos emisiones produce. Esto le permite ser una fuente de energía muy competitiva, a la que si sumamos la ayuda de las energías renovables, lograríamos luchar por la descarbonización del sistema eléctrico (Sociedad Nuclear Española, 2021).

Lo que se intenta hacer de cara al futuro es realizar un proceso de transición al uso de energías limpias como fuentes de producción energéticas. Los métodos de transformación de energía que se aplican en la actualidad emiten una gran cantidad de gases de efecto invernadero (Fisher, 2022).

Hoy en día podemos asegurar que esto es algo posible. Esto es algo que ha sucedido en el caso de Ontario, provincia canadiense que desde el año 2014 logra abastecer toda su demanda de electricidad combinando diferentes fuentes de energía, siendo las principales la energía nuclear y la hidroeléctrica. En el año 2003 el Gobierno de Ontario se comprometió a eliminar gradualmente el uso del carbón, que en aquel entonces generaba el 25% de la demanda eléctrica, de forma paulatina durante los próximos 12 años. Para ello reactivó las centrales nucleares de Pickering y Bruce y gracias a ello, el 90% de la producción de electricidad de esta provincia, que cuenta con 14,5 millones de habitantes, no produce ningún tipo de emisión de carbono (Fisher, 2022).

En este proceso de descarbonización en el que nos embarcamos en la actualidad la OIEA juega un papel muy importante. De entre todas sus funciones podemos destacar:

- Realiza publicaciones científicas y técnicas además de facilitar la cooperación técnica y coordinación de nuevos proyectos de investigación (Fisher, 2022).
- Establece normas internacionales para la protección de la población (Fisher, 2022).
- Proporciona información sobre aspectos económicos a tener en cuenta sobre su sostenibilidad, ventajas y desventajas dependiendo del espacio geográfico y el entorno social de cada país (Fisher, 2022).
- Realiza evaluaciones respecto a su contribución al cambio climático, al desarrollo económico y al empleo (Fisher, 2022).
- Colabora con otras organizaciones de reconocimiento internacional con el fin de realizar una transición a una energía limpia (Fisher, 2022).

## 10. CONCLUSIONES

Originalmente la energía nuclear ha sido concebida con desconfianza a causa de los riesgos asociados a su uso y los accidentes que han sucedido a lo largo de su historia. Sin embargo, los organismos internacionales, han cambiado la concepción que había respecto al peligro que supone este tipo de energía y lo que contaminaba. Con el transcurso de los años ha pasado de verse como una fuente de energía peligrosa para la vida humana y el medio ambiente, a ser de gran necesidad su uso en la lucha frente a la reducción de emisiones de carbono y el cambio climático junto con las energías renovables, ya que estas por sí solas no pueden cubrir las necesidades de la población.

En primera instancia organismos como la Agencia Internacional de Energía (AIE) o la Comisión Europea ya reconocen el potencial de esta fuente de energía. Actualmente es reconocida de manera oficial como una energía limpia, siéndolo como mínimo al mismo nivel de lo que son consideradas las fuentes de energía renovables.

Si realizamos la comparación entre ellas, la energía nuclear sale claramente reforzada. Esto se debe a que no depende de las fuerzas de la naturaleza, algo que es incontrolable por el ser humano, lo que implica que esta si puede alcanzar un suministro energético constante.

Entre los beneficios más destacados del uso de la energía nuclear nos encontramos tales como que no produce gases de efecto invernadero, las cantidades de energía que pueden generar en relación con el territorio que ocupan las centrales es algo superlativo y la red eléctrica se ve reforzada con un suministro de electricidad estable y constante, además de ayudar al desarrollo económico del entorno creando puestos de empleo de calidad.

Aunque la opinión pública actual sobre la energía nuclear es mucho más favorable de lo que lo era hace unos años, aún queda mucho trabajo por hacer. La población sigue teniendo un gran desconocimiento sobre los beneficios de esta fuente de energía y la realidad que existe detrás de los accidentes que sucedieron en el pasado. Aún queda mucho trabajo por hacer, sobre todo de divulgación, para darle las herramientas a las personas de poder comprobar que la energía nuclear no solo es importante en nuestro presente, sino que es la base para construir un futuro mejor y de resiliencia con el medio ambiente.

## 11. REFERENCIAS

- Abogados López-Ibor Mayor. (07 de 07 de 2022). *ejilopezibor.com*. Obtenido de <https://www.ejilopezibor.com/la-energia-nuclear-y-el-gas-natural-energias-verdes/>
- AESAN - Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición. (s.f.). *Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030*. Obtenido de [https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad\\_alimentaria/detalle/irradiacion.htm](https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/detalle/irradiacion.htm)
- Beck Destrucción Confidencial. (s.f.). *abdc.es*. Obtenido de <https://abdc.es/blog/impacto-ambiental-petroleo-contamina/#:~:text=La%20explotaci%C3%B3n%20de%20petr%C3%B3leo%20emite,cancer%3ADgenas%20al%20aire%20que%20respiramos.>
- Boletín Oficial del Estado. (30 de 03 de 2022). *Boe.es*. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1964-7544&p=20220330&tn=1#cprimero>
- Centro Nacional de Alerta de Tsunamis. (16 de 04 de 2024). *NOAA / National Weather Service*. Obtenido de <https://www.tsunami.gov/?page=tsunamiFAQ>

Consejo de Seguridad Nuclear. (Diciembre de 2009). *Área de Epidemiología Ambiental y Cáncer, Centro Nacional de Epidemiología*. Obtenido de <https://www.csn.es/documents/10182/260063/Informe%20completo>

Consejo de Seguridad Nuclear. (s.f.). *Consejo de Seguridad Nuclear*. Obtenido de <https://www.csn.es/la-energia-nuclear>

Consejo de Seguridad Nuclear. (s.f.). *csn.es*. Obtenido de <https://www.csn.es/seguridad-nuclear>

Cruz, D. S. (01 de 02 de 2024). *libremercado.com*. Obtenido de <https://www.libremercado.com/2024-02-01/sube-apoyo-social-energia-nuclear-prolongar-vida-util-centrales-encuesta-real-instituto-elcano-7091877/>

Diario oficial de la Unión Europea. (30 de 01 de 2019). *EUR-Lex*. Obtenido de [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019XC0130\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019XC0130(01))

Duarte, M. (21 de 07 de 2023). Obtenido de El Confidencial: [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2023-07-21/energia-nuclear\\_3704293/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2023-07-21/energia-nuclear_3704293/)

El blog ruralvía. (08 de 02 de 2023). *blog.ruralvia.com*. Obtenido de <https://blog.ruralvia.com/asi-funciona-el-gas-en-espana/>

Fisher, M. (09 de 11 de 2022). *iaea.org*. Obtenido de <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/de-que-manera-la-energia-nuclear-puede-reemplazar-al-carbon-en-la-transicion-a-una-energia-limpia>

Foro de la Industria Nuclear Española. (s.f.). Obtenido de [foronuclear.org](https://www.foronuclear.org): <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/como-se-clasifican-las-fuentes-de-energia/>

Foro nuclear. (s.f.). *foronuclear.org*. Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-aplicaciones-de-la-tecnologia-nuclear/como-funciona-la-medicina-nuclear/>

García, A. (10 de 11 de 2023). The Wild Project #240 ft Operador Nuclear | Chernobyl y Fukushima SIN mentiras, Bomba atómica. (J. Wild, Entrevistador)

IAEA - Organismo Internacional de Energía Atómica. (s.f.). *iaea.org*. Obtenido de <https://www.iaea.org/es/temas/aplicaciones-no-electricas>

Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos. (febrero de 2023). *Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos*. Obtenido de <https://www.iprltda.cl/noticias/historia-de-la-energia-nuclear/>

Instituto Nacional de Imágenes Biomédicas y Bioingeniería (NIBIB). (s.f.). *Instituto Nacional de Imágenes Biomédicas y Bioingeniería (NIBIB)*. Obtenido de <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/medicina-nuclear#pid-2111>

Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH). (28 de 06 de 2017). *cdc.gov*. Obtenido de <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/topics/petroleo.html#:~:text=pueden%20causar%20golpes%20de%20calor,de%20seguridad%20empa%C3%B1adas%20y%20mareos>

Jordá, C. (27 de 02 de 2023). *libremercado.com*. Obtenido de <https://www.libremercado.com/2023-02-27/el-dato-que-todos-callan-la-energia-eolica-necesita-mil-veces-mas-espacio-que-la-nuclear-para-producir-lo-mismo-6990535/>

Lamm, C. (s.f.). Obtenido de [https://www.iaea.org/sites/default/files/212\\_305482935\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/212_305482935_es.pdf)

Matarozzo, E. (17 de 04 de 2024). *Billiken*. Obtenido de <https://billiken.lat/interesante/sabes-cual-es-la-diferencia-entre-un-maremoto-y-un-tsunami/>

Maysunsolar. (29 de 08 de 2023). *maysunsolar.es*. Obtenido de <https://www.maysunsolar.es/blog/que-fuente-de-energia-es-mejor-la-energia-solar-o-la-nuclear>

Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Obtenido de [miteco.gob.es](https://www.miteco.gob.es): <https://www.miteco.gob.es/es/energia/nuclear/compromisos/responsabilidad-civil.html>

Morate, J. L. (10 de 2005). Obtenido de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_AM%2FAM\\_2005\\_48\\_25\\_29.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%2FAM_2005_48_25_29.pdf)

MSM. (28 de 03 de 2019). Obtenido de <https://mesemar.com/los-tsunamis-mas-grandes-de-la-historia/>

Naciones Unidas. (s.f.). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/conferences/npt2020/background#:~:text=de%20documento%20final,-,El%20Tratado%20sobre%20la%20No%20Proliferaci%C3%B3n%20de%20las%20Armas%20Nucleares,el%20objetivo%20de%20lograr%20el>

Newtral. (30 de 11 de 2023). *Newtral.es*. Obtenido de <https://www.newtral.es/centrales-futuro-energia-nuclear-espana/20231129/>

Novak, S. (s.f.). *iea.org*. Obtenido de [https://www.iaea.org/sites/default/files/29402043133\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/29402043133_es.pdf)

Orgaz, C. J. (22 de 03 de 2024). *bbc.com*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/articulos/c1vlg639q2eo>

PALACIO, G. D. (22 de 11 de 2023). *Elmundo.es*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2023/11/22/655e1693e85ece9e018b45c3.html>

Pérez, E. (15 de 02 de 2024). *Xakata.com*. Obtenido de <https://www.xakata.com/energia/gas-ha-dejado-ser-problema-europa-solo-queda-que-calentamiento-global-siga-acuerdo>

Porras, M. F. (04 de 2008). Obtenido de <https://www.csn.es/documents/10182/932653/La+vida+%C3%BAtil+de+las+centrales+nucleares+espa%C3%B1olas>

Repsol. (s.f.). Obtenido de Repsol.com: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-primaria/index.cshtml>

Roca, R. (19 de 12 de 2020). *elperiodicodelaenergia.com*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-carbon-y-el-petroleo-matan-hasta-1-000-veces-mas-que-la-nuclear-o-las-renovables/>

Ruben. (03 de 08 de 2019). *Zoberbac Agrocompany*. Obtenido de <https://zoberbac.com/todo-lo-que-hay-que-saber-del-fosforo-en-los-cultivos-agricolas/#:~:text=El%20f%C3%B3sforo%2C%20junto%20al%20nitr%C3%B3geno,Potenciar%20la%20floraci%C3%B3n>

Secretaría de estado de energía. (18 de 12 de 2023). *miteco.gob.es*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/Documents/balance-20231218/Balance%20Energetico%20Espa%C3%B1a%202021%20y%202022\\_v0.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/Documents/balance-20231218/Balance%20Energetico%20Espa%C3%B1a%202021%20y%202022_v0.pdf)

Secretaría de estado de energía. (18 de 12 de 2023). *miteco.gob.es*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/Documents/balance-20231218/Balance%20Energetico%20Espa%C3%B1a%202021%20y%202022\\_v0.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/Documents/balance-20231218/Balance%20Energetico%20Espa%C3%B1a%202021%20y%202022_v0.pdf)

Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas . (s.f.). *Consejo de Seguridad Nuclear*. Obtenido de <https://www.csn.es/documents/10182/136297/Dise%C3%B1o%20s%C3%ADsmico%20de%20las%20centrales%20nucleares%20espa%C3%B1olas>

Sociedad Nuclear Española. (28 de 05 de 2021). *sne.es*. Obtenido de <https://www.sne.es/posicionamiento/aspectos-socioeconomicos-de-la-energia-nuclear/#:~:text=Se%20estima%20que%20algo%20m%C3%A1s,la%20industria%20nuclear%20en%20Espa%C3%B1a>

Sociedad Nuclear Española. (28 de 05 de 2021). *sne.es*. Obtenido de <https://www.sne.es/posicionamiento/aspectos-socioeconomicos-de-la-energia-nuclear/>

Sociedad Nuclear Española. (s.f.). *www.sne.es*. Obtenido de <https://www.sne.es/preguntas-y-respuestas/produccion-electrica-origen-nuclear/es-muy-caro-el-kilovatio-hora-procedente-de-una-central->

