



**Universitat**  
de les Illes Balears

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

# **ENERGÍA ELÉCTRICA. ALTERNATIVAS DE FUTURO**

**Carolina Palomeque Matos**

**Grado de Economía**

**Facultad de Economía y Empresa**

**Año Académico 2021-2022**

# ENERGÍA ELÉCTRICA. ALTERNATIVAS DE FUTURO

**Carolina Palomeque Matos**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Facultad de Economía y Empresa**

**Universidad de las Illes Balears**

**Año Académico 2021-2022**

Palabras clave del trabajo:

Electricidad, energía, luz, precios, costos, mercado mayorista, energía nuclear, energía eólica, energía solar, beneficios, ingresos, inversión, análisis.

*Tutora del trabajo: Mónica Anna Giovannello*

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **Resumen**

El precio de la electricidad ha aumentado estrepitosamente desde el 2020 hasta ahora en España. Esta situación es consecuencia de la manera en la que se fijan los precios en el mercado de la electricidad, que hace que la energía más cara, el gas, sea la que marque el precio final de toda la energía. El gas se ha encarecido por varios motivos entre los que destacan la guerra con Rusia y el encarecimiento de los derechos de emisión del CO<sub>2</sub>.

Todo ello ha desencadenado graves problemas de inflación. Como posibles soluciones, sin considerar el cambio en el sistema de fijación de precios, está el reducir la dependencia energética de España con respecto al exterior, es decir, invertir en energías. En este trabajo se plantea como una política fiscal expansiva por parte del estado. Macroeconómicamente, genera déficit e inflación, pero se sabe que a medio plazo conllevará beneficios. La decisión sobre en qué energía es más conveniente invertir se descubre mediante el análisis coste-beneficio. Con los indicadores y datos coste-producción se llega a la conclusión de que la mejor alternativa es invertir en energía solar y eólica y en menor medida en la nuclear.

## **Abstract**

The price of electricity has increased dramatically from the 2020 until now in Spain. This situation is a consequence of the way in which prices are set in the electricity market, which means that the most expensive energy, gas, is the one that determines the final price of all energy. Gas has become more expensive for various reasons, including the war with Russia and the rise in CO<sub>2</sub> emission rights.

All this has triggered serious inflation problems. As possible solutions, without considering the change in the pricing system, is to reduce Spain's energy dependence on foreign countries, that is, to invest in energy. In this work it is presented as an expansive fiscal policy by the state. Macroeconomically, it generates deficits and inflation, but it is known that in the medium term it will bring benefits. The decision on which energy is more convenient to invest in is discovered through cost-benefit analysis. With the indicators and cost-production data, the conclusion is reached that the best alternative is to invest in solar and wind energy and, to a lesser extent, in nuclear energy.

## Índice de contenidos

Introducción.....	7
Objetivo .....	9
Metodología.....	9
Capítulo 1. Precio de la energía eléctrica. factores que lo determinan y causas de su incremento .....	10
1.1 El encarecimiento del gas .....	10
1.1.1 Determinación de los precios en el mercado mayorista .....	13
1.2 Los costes de emisión del CO <sub>2</sub> .....	17
Capítulo 2. Visión macroeconómica .....	19
2.1 Obtención de la curva de oferta .....	19
2.1.1 Curva PS .....	19
2.1.2 Curva WS .....	20
2.1.3 Curva OA.....	20
2.2 Obtención de la curva de demanda .....	21
2.2.1 Curva IS.....	21
2.2.2 La regla de Taylor.....	22
2.2.3 Equilibrio exterior .....	22
2.3 Política de inversión en energías .....	24
2.3.1 Equilibrio a largo plazo .....	25
2.3.2 Equilibrio a corto plazo .....	27
Capítulo 3. Análisis coste-beneficio .....	31
3.1 Lista de alternativas de proyectos.....	31
3.2 Conceptos básicos.....	32
3.3 Energía nuclear.....	33
3.3.1 Inversión .....	33
3.3.2 Gastos .....	34
3.3.2.1 Valoración de impactos sociales y medioambientales .....	35
3.3.3 Ingresos.....	36
3.3.3.1 Valoración de impacto medioambiental .....	36
3.4 Energía solar.....	37
3.4.1 Inversión .....	38
3.4.2 Gastos .....	39
3.4.3 Ingresos.....	39
3.4.3.1 Ingresos sociales y medioambientales.....	40
3.5 Energía eólica .....	40
3.5.1 Inversión .....	40

3.5.2	Gastos .....	42
3.5.2.1	Costes medioambientales .....	42
3.5.3	Ingresos.....	42
3.5.3.1	Ingresos sociales y medioambientales.....	42
3.6	Resultados .....	43
3.6.1	Comparación coste/producción energía solar, eólica y nuclear....	43
	Conclusiones.....	46
	Referencias .....	47

## Índice de figuras

Figura 1. Precio final medio del sistema eléctrico español. Demanda nacional .	7
Figura 2. Precios de la electricidad máximos, mínimos y medias aritméticas en el mercado diario.....	8
Figura 3. Abastecimiento de gas natural a España por países en 2021 .....	11
Figura 4. Precio marginal del gas en el sistema español (Euros/MWh). .....	11
Figura 5. Estructura de la generación por tecnologías (GWh).....	12
Figura 6. Agentes en el mercado de generación eléctrica en España .....	13
Figura 7. Curvas agregadas de oferta y demanda día 15/08/2021. Tramo 21:00-22:00 .....	14
Figura 8. Sistema de casación. Curvas de compra y venta de electricidad. Representación simplificada.....	14
Figura 9. Beneficios extraordinarios de las energías renovables y nuclear.....	16
Figura 10. Presencia de energías de bajo costo sobre el precio final .....	16
Figura 11. Histórico de precios CO <sub>2</sub> .....	17
Figura 12. Impuestos al CO <sub>2</sub> sobre el precio de la energía .....	18
Figura 13. El diagrama OA/DA .....	25
Figura 14. Diagrama de mercado de trabajo .....	26
Figura 15. La DA descompuesta en la IS y la política monetaria en forma de RPM y gráfico OA y DA convencional .....	27
Figura 16. Efecto crowding-out en economía abierta con tipo de cambio flexible .....	29

## Índice de tablas

Tabla 1. Costes anuales 5 centrales nucleares incluyendo los impactos sociales y medioambientales .....	36
Tabla 2. Consumo alumbrado principales ciudades de España.....	38
Tabla 3. Costes anuales planta solar .....	39
Tabla 4. Ingresos estimados del proyecto de inversión fotovoltaica.....	39
Tabla 5. Estimación de infraestructuras eólicas necesarias.....	41
Tabla 6. Estructura de costes de un aerogenerador de 2 MW instalado en europa (2006).....	41
Tabla 7. Ingresos estimados del proyecto .....	42
Tabla 8. Resultados del análisis coste-beneficio de los proyectos de inversión .....	43
Tabla 9. Cuadro comparación coste/producción .....	44

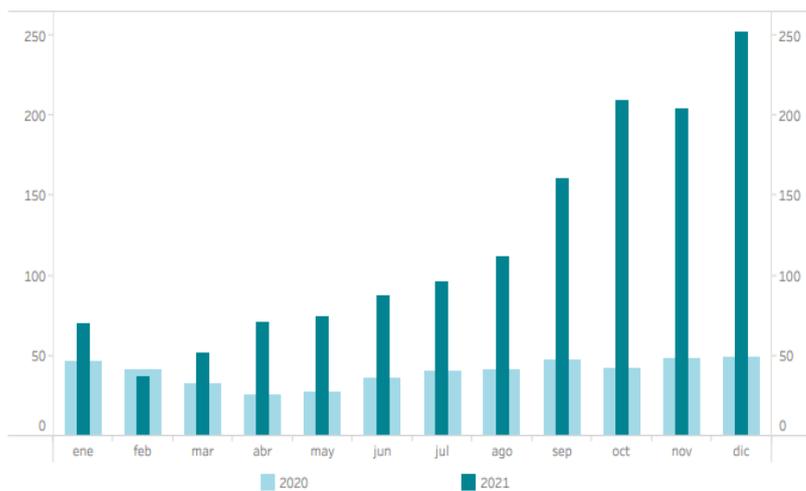
## Introducción

En este estudio se analizan los detonantes de la crisis energética actual en España que ha llevado a que se eleve estrepitosamente la factura de la luz. La importancia de determinar claramente las causas es fundamental para poder ver qué elementos del sistema fallan y así encontrar la solución más adecuada.

Esta crisis de oferta, de déficit de energía y materias primas ha cargado su mayor peso sobre las fábricas y los consumidores en forma de la mayor inflación que ha habido desde 1985.

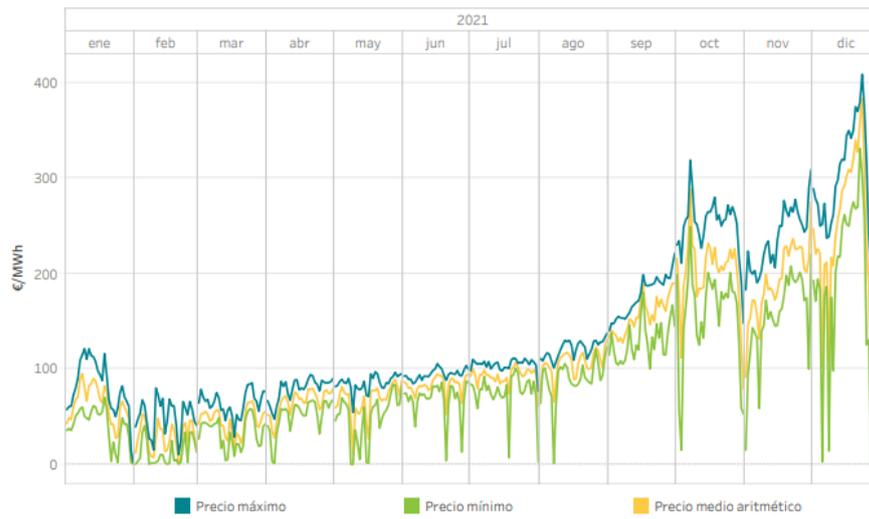
Es importante destacar la relevancia de este tema no solo por el alcance que conlleva sobre la calidad de vida de los ciudadanos sino también para plantearse si realmente es eficiente el mercado eléctrico y si es sostenible medioambientalmente.

Figura 1. Precio final medio del sistema eléctrico español. Demanda nacional



Fuente: extraído de *Evolución del mercado de electricidad. Informe anual (2021)*.

Figura 2. Precios de la electricidad máximos, mínimos y medias aritméticas en el mercado diario



Fuente: extraído de *Evolución del mercado de electricidad. Informe anual (2021)*.

## Objetivo

Esclarecer las causas del espectacular aumento del precio de la electricidad en España que comenzó entre diciembre del 2020 y junio del 2021. Al estar claro que España debe aumentar la producción propia de energía, mediante un análisis coste-beneficio se pretende determinar qué proyecto de inversión sería mejor optar, si energía nuclear, solar o eólica. Del análisis y cálculos coste-producción se llegó a la conclusión de que la mejor alternativa es diversificar e invertir conjuntamente en energía solar, eólica y en menor medida en la nuclear.

## Metodología

El análisis macroeconómico se realiza con el modelo de demanda agregada-oferta agregada, basado en la teoría de John Maynard Keynes. Primero, se determinan las curvas de OA y DA a corto y a largo plazo adaptadas a una economía abierta y con tipo de cambio flexible. Después se visualizará el efecto del aumento de la compra de bienes y servicios sobre los gráficos de mercado de trabajo, de DA/OA y además los gráficos de los elementos que forman la demanda.

Para realizar el análisis costo-beneficio, se distinguen dos etapas, la etapa de construcción donde tiene lugar la inversión principal, y la etapa operativa. Lo primero es estimar monetariamente a cuánto asciende la inversión, así como todos los gastos e ingresos anuales que acarrea el proyecto.

Dentro de los ingresos y gastos, se valoran económicamente los impactos ambientales y sociales tanto positivos como negativos. Para ello se usa el método de coste de reposición y de daño evitado. Básicamente, consiste en cuantificar el costo monetario del daño que se ha logrado evitar gracias a la implantación de las energías limpias o, por el contrario, los costes asociados a subsanar aquellos inconvenientes que se desencadenen. Una vez se tienen todos los datos, se actualizan esos flujos anuales de caja al presente a una tasa de descuento y se derivan así el VAN, la TIR, la ratio costo-beneficio.

## **Capítulo 1. Precio de la energía eléctrica. factores que lo determinan y causas de su incremento**

Uno de los puntos fundamentales es el encarecimiento de la producción el gas: mientras se incrementaba su demanda, su oferta se reducía.

Partimos de la base de que el gas natural es fundamental para la generación de energía eléctrica, puesto que las energías renovables no son suficientes para cubrir toda la producción. La falta de acuerdos entre las autoridades políticas, de alicientes al autoconsumo y de unas estructuras apropiadas hacen que España no pueda aprovechar al 100% sus recursos renovables. Al mismo tiempo, es un país dependiente del exterior para importar las energías no renovables.

### **1.1 El encarecimiento del gas**

El incremento de la demanda de la energía y del gas, a raíz de la recuperación tras la crisis del covid-19 por parte de las economías emergentes como China, Japón y Corea. Por otra parte, el temporal Filomena también fue otro detonante para que se disparara la demanda de gas en Europa en enero de 2021.

La caída de la oferta se explica por temas estructurales. Durante un momento dado, de los países de Rusia y Noruega no llegaba todo el gas que se suponía por problemas de sustento.

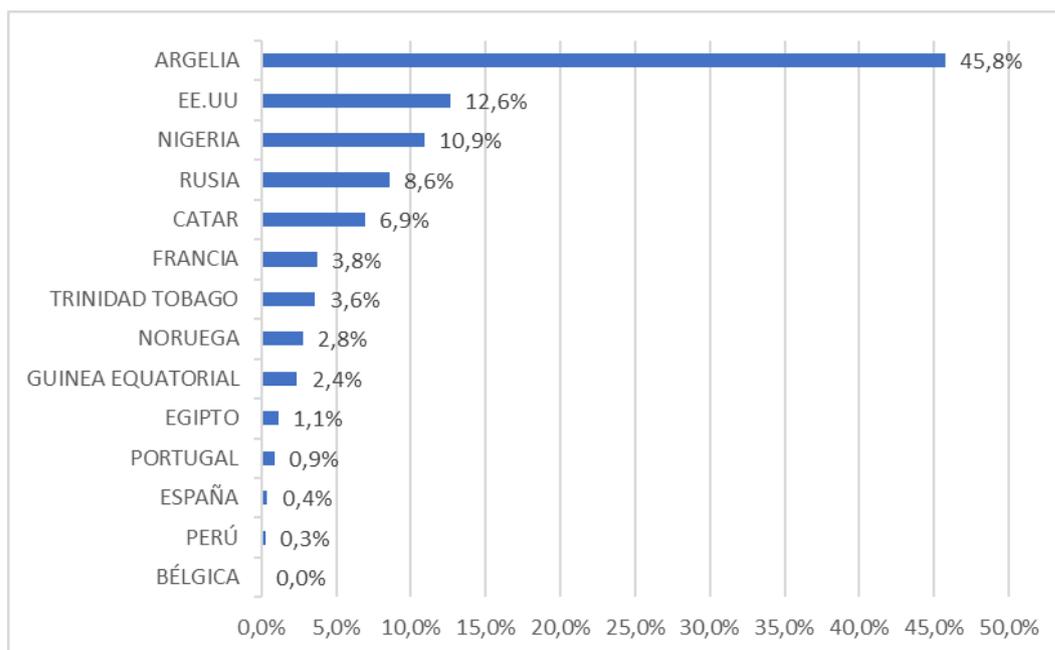
Conjuntamente, EEUU, en julio y agosto de 2020 tenía más costos que ingresos reemitiendo gas a Europa y es por ello que se vio obligado a detener su producción.

Por supuesto, el conflicto entre Argelia y Marruecos ha sido condicionante. A España llegan dos gasoductos de Argelia, uno llega a Almería a través del Mar de Alborán y el otro a llega a Tarifa a través de Marruecos. A raíz de las constantes disputas entre los países africanos, en agosto de 2021 Argelia dejó de suministrar gas a través del gasoducto Magreb-Europa para perjudicar a Marruecos. Argelia pretende aumentar la capacidad del otro gasoducto para mantener el volumen de suministros a España. Pese a eso, es preciso destacar que entre el 45,8% del gas de España es importado de Argelia, entonces ante esta situación el país queda más dependiente y vulnerable<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> España depende en un 99% del exterior en cuanto a gas natural.

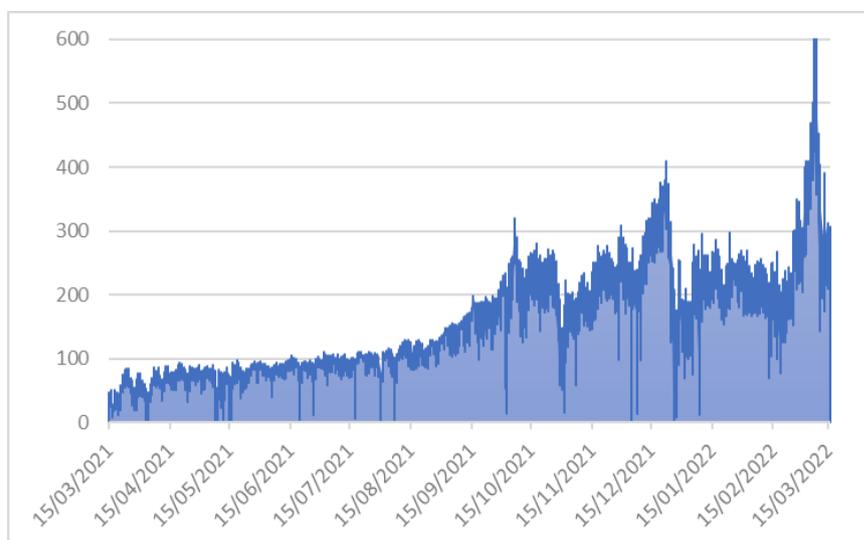
Figura 3. Abastecimiento de gas natural a España por países en 2021



*Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Comisión Nacional de los Mercados y la competencia (2021).*

A estos hechos, hay que añadir el ataque de Rusia a Ucrania que comenzó en febrero de 2022. Atolladero que ha salpicado a toda Europa, incluyendo a España. Desde entonces el gas se ha disparado un 65% en España. Ocurre que occidente decidió cortar todas las relaciones posibles con Rusia, decidiendo dejar de importar gas y petróleo de ese país para no sufragar las maniobras militares del Kremlin. Pero el inconveniente es que para cubrir el resto de la demanda es necesario importar de otras naciones más costosas.

Figura 4. Precio marginal del gas en el sistema español (Euros/MWh)

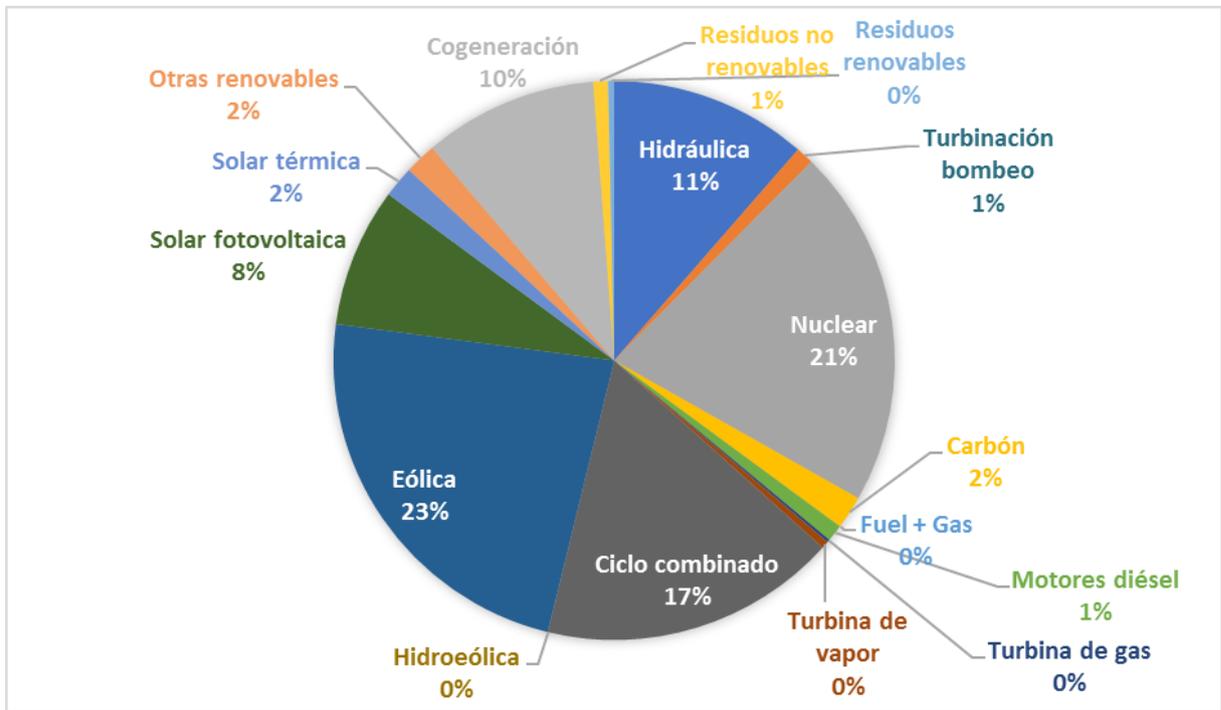


*Fuente: elaboración propia a partir de los datos de OMIE (2022).*

Se puede ver claramente el impacto del conflicto ruso sobre el precio marginal del gas en la Figura 4, cuyos datos han sido extraídos del fichero de precios diarios de OMIE.

Es llamativo el hecho de que el gas tan solo representó el 17% de la generación eléctrica<sup>2</sup> en 2021 y sin embargo tiene un papel fundamental sobre su coste.

Figura 5. Estructura de la generación por tecnologías (GWh)



Fuente: Elaboración propia a partir de Red eléctrica de España (2021).

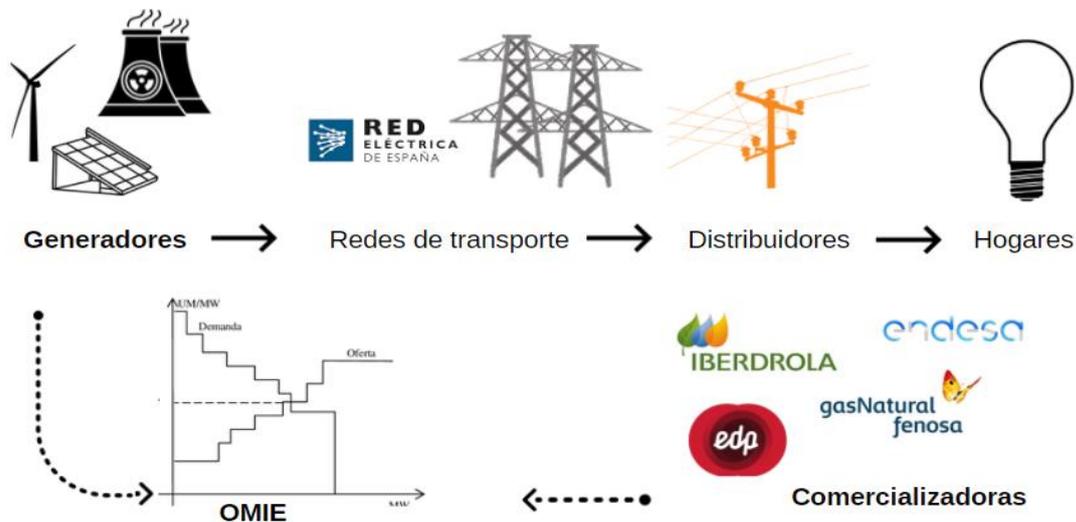
Este hecho se explica por la forma en que se determinan los precios en el mercado mayorista.

<sup>2</sup> Teniendo en cuenta que el gas natural se usa como combustible principal en el ciclo combinado.

### 1.1.1 Determinación de los precios en el mercado mayorista

En el sistema eléctrico actual, hay varios agentes de mercado. Generadoras, redes de transporte, distribuidoras, comercializadoras, OMIE.

Figura 6. Agentes en el mercado de generación eléctrica en España



Fuente: elaboración propia.

Generadores: encargados de producir la electricidad

Redes de transporte: formadas por las líneas de muy alta tensión de las que se encarga Red eléctrica de España.

Distribuidoras: llevan la electricidad desde el punto de distribución entre las redes de transporte hasta los hogares.

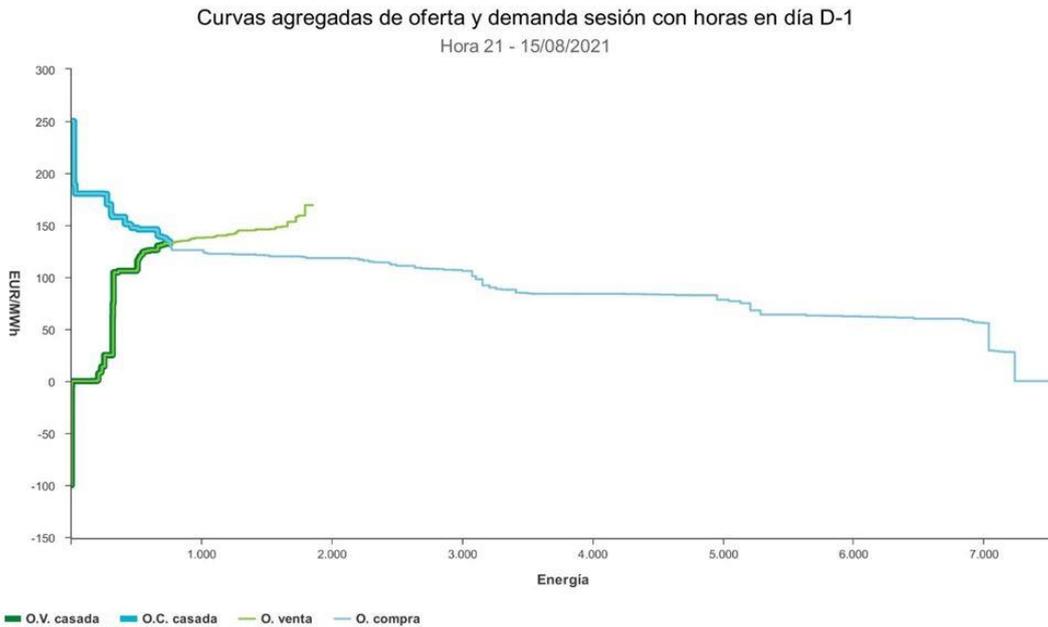
Comercializadoras: hacen de intermediarias entre la Red eléctrica y los consumidores. En este grupo están: Iberdrola, EDP, Endesa.

El mercado eléctrico lo regula el OMIE, que media entre los generadores y las comercializadoras de tal manera que se fija un precio. Las comercializadoras, que son las que compran la energía, le indican a la OMIE el precio máximo que están dispuestas a pagar; mientras que los generadores indican el precio mínimo al que están dispuestos a vender.

Se colocan todos los compradores, ordenados por el precio que están dispuestos a pagar de mayor a menor y los generadores ordenados de menor a mayor. De este modo, ya se habrían formado las curvas de oferta y demanda, y su cruce determinaría el precio de casación. Estos enlaces se fijan en el mercado diario cada día y a cada hora para las 24 horas del día siguiente.

Representación de la oferta y demanda de las subastas diarias en el mercado mayorista:

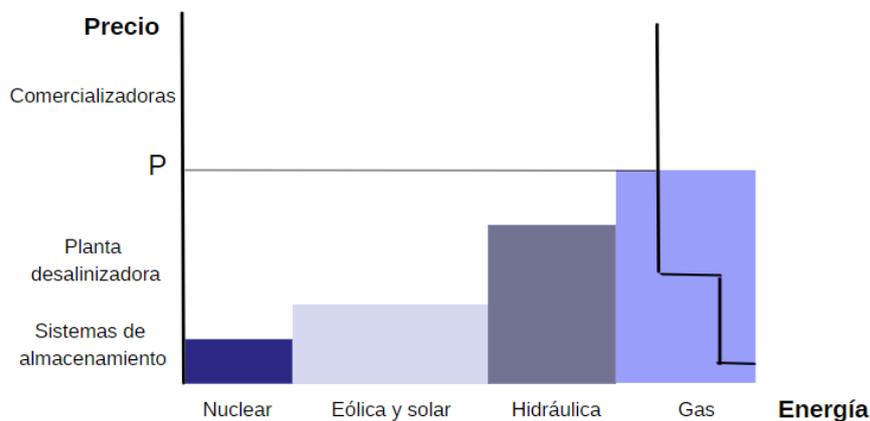
Figura 7. Curvas agregadas de oferta y demanda día 15/08/2021. Tramo 21:00-22:00



Fuente: extraído de OMIE (2022).

Tanto los compradores como vendedores a la izquierda del punto de equilibrio se considera que han sido casados, es decir, que sus ofertas han sido aceptadas y se ha llegado a un acuerdo. No obstante, las industrias que han quedado a la derecha se quedan sin poder vender.

Figura 8. Sistema de casación. Curvas de compra y venta de electricidad. Representación simplificada



Fuente: elaboración propia a partir de la figura de Fabra (2021).

Es preciso analizar las curvas, prestando atención primero a la curva de demanda. Haciendo un escáner de izquierda a derecha, en primer lugar se sitúan las comercializadoras, que necesitan proveer a sus clientes al precio que

sea necesario<sup>3</sup>. Por ejemplo, Endesa no podría detener su producción, dejando a más de 10.000.000 usuarios sin suministro porque todos consumen a diferentes horas según sus necesidades. Después, bajando por la curva encontramos algunas industrias que se pueden permitir detener su producción si el precio de la energía es muy elevado, por ejemplo, una planta desalinizadora. Por último, encontramos los sistemas de almacenamiento, que están interesados en comprar energía únicamente cuando ésta es muy barata. Obsérvese que la curva de demanda en la figura 7 es vertical al principio, y al final termina siendo prácticamente horizontal.

Examinando la curva de oferta o generación, lo primero que se encuentra más a la izquierda son las centrales nucleares. Éstas soportan un fuerte desembolso en el momento de arranque y parada de las instalaciones, pero no cuando está en marcha el proceso. Esto hace que les salga mucho más rentable regalar su energía que parar su producción, por lo que siempre ofertan a coste. Después vendrían las energías eólica y solar, que ofertan a un coste muy bajo para conseguir vender siempre su energía, ya que como no disponen de almacenamiento, la energía que no venden se desperdicia<sup>4</sup>. Posteriormente, las centrales hidroeléctricas, que sí que son capaces de reservar sus recursos, que además son escasos, por lo que intentarían conseguir un mejor precio. Por último, las centrales térmicas que usan combustibles fósiles, que además de costes de mantenimiento deben soportar costes relacionados con el propio combustible como es el carbón y el gas natural por lo que para no tener pérdidas requieren montos más elevados.

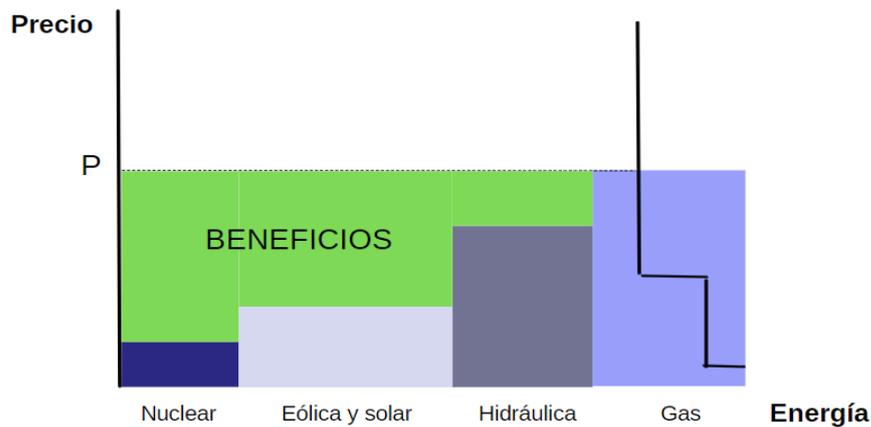
Según el sistema actual, el importe que se fija es siempre el de la energía más cara. Se conoce como sistema marginalista ya que el precio marginal del último MWh que se produce es el que determina el precio de toda la energía. El precio del carbón y del gas son los más caros. La lógica de este sistema para la Unión Europea es que se premia el uso de energías limpias, que acaban llevándose considerables márgenes.

---

<sup>3</sup> Desde el 6 de Julio 2022 se ha modificado la oferta máxima permitida por normativa española pasando de 180 €/MWH a 3000€/MWH.

<sup>4</sup> *¿Cómo se fija el PRECIO de la ELECTRICIDAD? | El Mercado Eléctrico | PATRULLA RENOVABLE.* (2020, 17 julio). [Vídeo]. YouTube <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=eG0FqifDjLg>, acceso 1 febrero 2022.

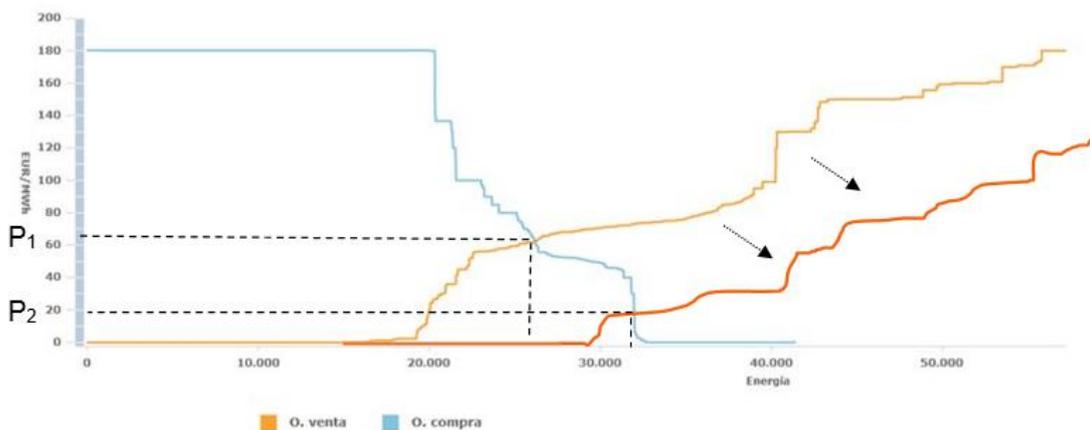
Figura 9. Beneficios extraordinarios de las energías renovables y nuclear



Fuente: elaboración propia a partir de la figura de Fabra (2021).

Si hubiera más presencia de energías renovables, cuyo coste de generación es bajo, la curva de oferta se desplazaría hacia la derecha modificando a la baja el precio final del mercado. Entonces, se puede decir que la penetración de más energías de bajo coste reduciría la forma en la que se fija el precio en el mercado mayorista llevando a que el punto de casación fuera más bajo.

Figura 10. Presencia de energías de bajo costo sobre el precio final



Fuente: edición a partir de la ilustración extraída de Ingebau (2019).

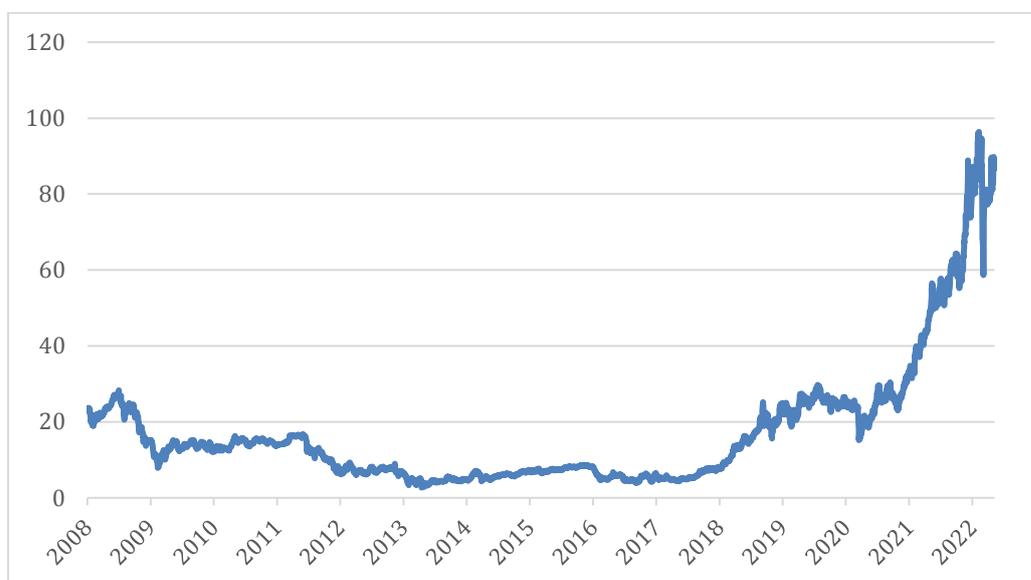
Otra forma más sencilla de explicarlo es por horas en el día, es decir, el simple hecho de que si durante el día se genera mayoritariamente electricidad mediante energía solar, la cual sus costes variables son despreciables, se ofrecerá un precio más accesible a los consumidores ese día.

## 1.2 Los costes de emisión del CO<sub>2</sub>

En el año 2005 se creó el todavía vigente “régimen de comercio de derechos de emisión de la Unión Europea” con el propósito de reducir las emisiones de gases contaminantes por parte de las empresas más perjudiciales para el medio ambiente. De esta manera, a esas fundaciones de la Unión Europea se les atribuye el derecho a emitir una cierta cantidad de gas de forma gratuita. Se crea un mercado en el que pueden y comprar más o vender esos derechos de emisión según su conveniencia.

El precio de los derechos de emisión se encareció a principios del año 2018 para conseguir los nuevos objetivos de la Unión Europea. El tratado internacional sobre el cambio climático de París se reconsideró con miras hacia el objetivo de reducir en un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero en 2030.

Figura 11. Histórico de precios CO<sub>2</sub>



Fuente: elaboración propia de datos extraídos de Sendeco2.

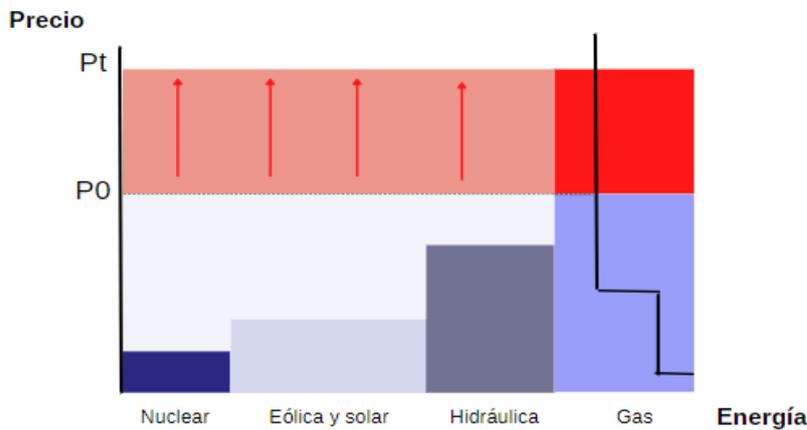
El gráfico ha sido elaborado tomando los precios diarios de los *European Union Allowances (EUAs)*, es decir, los derechos de emisión.

El encarecimiento del CO<sub>2</sub> es influyente porque para una parte de la producción de energía eléctrica, como se ha dicho antes, necesita combustibles fósiles y por tanto emitir gases de efecto invernadero. Se presume que el 20% del aumento de la factura de la luz viene dada por el aumento de los precios de derecho de emisión<sup>5</sup>, los cuales asumen los consumidores finales a través de

<sup>5</sup> Banco de España. (2021, agosto). El papel del del coste de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> y del encarecimiento del gas en la evolución reciente de los precios minoristas de la electricidad en España (Nº2120).

los costes de la energía. En definitiva, el aumento de costes de emisión de CO<sub>2</sub> ha contribuido a encarecer todavía más el precio del gas.

Figura 12. Impuestos al CO<sub>2</sub> sobre el precio de la energía



*Fuente: elaboración propia a partir de la figura de Fabra (2021).*

En conclusión, el infortunio nace con los elevados costes del gas; por una parte, a raíz del aumento del precio de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> en 2018; por otro lado, el conflicto entre Argelia y Marruecos. El temporal Filomena a partir de enero de 2021 y con el estallido de la guerra en el este de Europa en enero de 2022. El algoritmo que establece los precios en el mercado mayorista de la electricidad, que vincula totalmente la energía más cara al precio final, hizo que un conflicto entre dos países que parecen muy ajenos afectara a toda la economía española. Todo pone sobre la mesa la necesidad de un cambio en el sistema marginalista actual, una necesidad de crear un sistema de autoabastecimiento y un giro encaminado hacia las energías limpias.

## Capítulo 2. Visión macroeconómica<sup>67</sup>

El objetivo del análisis macroeconómico es tener una perspectiva global de cómo el endeudamiento público que se está planteando afecta a corto y a largo plazo a cada uno de los componentes del PIB, a la tasa de desempleo, a la balanza de pagos y a la inflación. Los tipos de interés que se derivan de ello se tienen en cuenta e influyen a la hora de realizar el análisis coste-beneficio.

### 2.1 Obtención de la curva de oferta

La curva de oferta se obtiene de las curvas WS y PS. De este modo, se llega a un equilibrio entre el nivel de salario real deseado por los trabajadores y los beneficios para los empresarios.

#### 2.1.1 Curva PS

Primero las empresas fijan los precios mediante *mark up*, es decir, teniendo en cuenta que el precio ha de cubrir los costes laborales unitarios y ha de producir beneficios.

$$P_t = (1 + \mu) \frac{W_t}{PMe_N} [1]$$

Así es como fijan los precios los empresarios, se considera que el trabajo es el único factor variable. El símbolo  $\mu$  es el margen sobre los costes,  $W$  son los salarios de los trabajadores, que incluyen las cotizaciones a la seguridad social.  $PMe_N$  es la productividad media de los trabajadores  $PMe_N = \frac{Y}{N}$ . No se considera la existencia de inputs importados.

Si tomamos que  $m = \frac{\mu}{\mu+1}$  entonces podemos expresar la ecuación [1] así:

$PS_1: \frac{W}{P} = (1 - m)PMe_N$  esta es la *curva PS* donde “m” es la parte de la explotación que se queda el empresario.

Transformamos la curva PS cambiando los precios por precios de consumo.

$P_C = (1 + \varphi)P + \frac{\varphi P^*}{e^*}$ , esta expresión de precios de consumo tiene en cuenta tanto los precios nacionales como los internacionales. Y así, la ecuación PS transformada queda:

$$PS_2: \frac{W}{P_C} = (1 - m) \frac{PMe_N}{1 + \varphi(R-1)}$$

<sup>6</sup> Parrilla, J. C., Rullán, F. O., Capó, J., & Oliver, X. (2007). *Macroeconomía I*. Edicions UIB.

<sup>7</sup> Capó, Javier. “Política fiscal en economía abierta”. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca. Mayo 2019.

Donde R es el tipo de cambio real,  $R = \frac{P^*}{e^*P}$ , que compara los precios de los productos nacionales con los extranjeros en la misma moneda. El numerador son los precios de los bienes y servicios extranjeros y el denominador son los precios nacionales. Están expresados en moneda extranjera<sup>8</sup>.

### 2.1.2 Curva WS

Por otra parte, los trabajadores negocian un salario en términos reales:

$$W_t = (Z - du_t)PMe_N^E P_C^E$$

Z es un parámetro que mide la presión salarial: una mayor prestación por desempleo, un mayor coste de despido o mayor poder sindical implican una mayor presión salarial.

$u_t$  es la tasa de paro en un momento determinado y d indica el grado de rigidez de los salarios respecto a la tasa de paro  $d > 0$ .

$P_C$  son los precios de consumo, que sirve a los trabajadores para negociar un mejor salario en función de su poder de compra. Asimismo, el superíndice E significa que son los valores que se esperan para el futuro.

suponemos que  $Z = 1 + z$  para facilitar los cálculos matemáticos, entonces

$$W_t = (1 + z - du_t)PMe_N^E P_C^E \quad [2] \rightarrow \boxed{ws: \frac{W}{P_C^E} = (1 + z - du_t)PMe_N^E}$$

### 2.1.3 Curva OA

Juntamos las curvas WS y PS, esto es, introducir la ecuación [2] en [1]

$$P_t = (1 + \mu) \frac{1}{PMe_N} (1 + z + du_t)PMe_N^E P_C^E$$

Suponemos que  $PMe_N$  es constante, esto es  $PMe_N = PMe_N^E$

$$P_t = (1 + \mu)(1 + z - du_t)P_C^E \quad [2.1]$$

Así pues, sustituimos  $P_C$  por su expresión<sup>9</sup> en la ecuación [2.1] y tenemos:

$$P_t = (1 + \mu)(1 + z - du_t)P_t^E R_t^{\varphi E}$$

Todo se divide entre  $P_{t-1}$

$\frac{P_t}{P_{t-1}} = (1 + \mu)(1 + z - du_t) \frac{P_t^E}{P_{t-1}^E} R_t^{\varphi E}$ , aplicamos logaritmos neperianos y se llega a la expresión:

<sup>8</sup> El tipo de cambio  $e^*$  es nominal indirecto. El número de unidades de moneda extranjera que puedes obtener con una unidad de moneda nacional.

<sup>9</sup> Precios de consumo  $P_C = P^{1-\varphi} + \left(\frac{P^*}{e^*}\right)^\varphi = P \left(\frac{P^*}{Pe^*}\right)^\varphi = PR^\varphi$

$$\pi = \mu + z - du_t + \pi_t^E + \varphi \ln R_t^E \quad [3] \text{ Curva de Philips}$$

Si a largo plazo se cumplen las expectativas,  $\pi_t = \pi_t^E$  y  $R_t = R_t^E$  se obtiene la NAIRU, que es básicamente la tasa de paro de equilibrio, es decir, aquella que estabiliza la inflación. Esta ecuación nos ayudará a ver más claramente el equilibrio a largo plazo en el mercado de trabajo.

$$0 = \mu + z - du_t + \varphi \ln R_t$$

$$u_N = \frac{\mu + z + \varphi \ln R_t}{d} \quad \text{NAIRU}$$

Por otra parte, para llegar a la curva de oferta:

La tasa de paro es igual al número de parados dividido la población activa. N es el número de trabajadores total.

$$u_t = \frac{U}{PA} = \frac{PA - N_t}{PA} = 1 - \frac{N_t}{PA} = 1 - \frac{Y_t}{PMe_N PA} \quad [4]$$

Para llegar a la oferta a c/p se sustituye [4] en [3]:

$$Y_t = \frac{PA * PMe_N}{d} (\pi_t - \pi_t^E - \mu - z + d - \varphi \ln R_t^E) \quad \text{OA c/p [5]}$$

Si se cumplen las expectativas de los agentes  $\pi_t = \pi_t^E$  y  $R_t = R_t^E$

$$Y_t = \frac{PA * PMe_N}{d} (d - \mu - z - \varphi \ln R_t) \quad \text{OA l/p}$$

## 2.2 Obtención de la curva de demanda<sup>10</sup>

Obtenemos la demanda agregada para una economía con tipo de cambio flexible dado el caso de España dentro de la UE. La curva se saca de unir las ecuaciones de IS, Regla de Taylor y equilibrio exterior (dado que estamos hablando de una economía abierta).

### 2.2.1 Curva IS

En una economía en equilibrio se cumple que  $DA = OA = Y$ . La demanda agregada se compone de inversión, consumo, compras del sector público y exportaciones netas.

$$Y = DA$$

$$Y = C + I + G + XN$$

<sup>10</sup> Parrilla, J. C., Rullán, F. O., Capó, J., & Oliver, X. (2007). *Macroeconomía I*. Edicions UIB.

El consumo se compone de un mínimo para la subsistencia y el resto va de acuerdo con la propensión marginal al consumo.  $C = C_0 + bY_b$ , siendo la renta disponible la total descontando impuestos

$$C = C_0 + b(1 - t)Y$$

La inversión privada depende del tipo de interés real de forma negativa. El tipo de interés es el coste de oportunidad de tener más capital.  $I = I_0 - gr_r$

El gasto público se toma como exógeno.  $G_0$

Las exportaciones netas ( $X - M$ ) dependen de la depreciación real, es decir, si los bienes y servicios extranjeros se encarecen respecto a los nacionales nuestros productos ganan competitividad. Es decir, si aumenta  $R = \frac{P^*}{e^*P}$ , también lo hacen las exportaciones netas. Igualmente, las exportaciones dependen positivamente de la mejora de la renta del resto del mundo  $Y^*$ , y las importaciones negativamente de la renta nacional.

La curva de IS queda:

$$Y_t = C_0 + b(1 - t)Y + I_0 - gr_r + G_0 + XN_0 + XY^* - mY + vR$$

y despejando:

$$Y_t = \frac{1}{1 - b(1 - t) + m} (C_0 + I_0 + G_0 + XN_0 + XY^* + vR_t - gr_{rt})$$

### 2.2.2 La regla de Taylor

La regla de Taylor es necesaria incluirla en la curva de demanda agregada para tener el tipo de interés.

La política monetaria es endógena, cambia de manera continuada según las circunstancias. Lo que busca el Banco central es la estabilidad de precios y para ello fija un tipo de interés nominal, para influir sobre el tipo de interés real. Ponen su enfoque en la desviación de renta y la inflación respecto a sus valores objetivo. No obstante, en este estudio no se va a tener en cuenta el objetivo de la renta para simplificar los cálculos.

Regla de política monetaria  $r_{rt} = \bar{r}_r + \bar{m}_1 (\pi_t - \bar{\pi}) + \bar{m}_2 Y_t$  ( $m_1$  y  $m_2$  mide la importancia que el Banco Central le da a los objetivos).

### 2.2.3 Equilibrio exterior

La paridad de interés se basa en que los tipos de cambio entre los países tienen relación con la evolución de los tipos de interés. De tal manera que si un

país tiene una mayor tasa de interés que otro, su moneda se espera que se deprecie en el futuro<sup>11</sup>.

Si inviertes un euro en un bono nacional obtienes  $1 + r(i) \text{ €}$

Si inviertes un euro en un bono americano obtienes que teniendo en cuenta el tipo de interés y adelantado al presente  $\rightarrow$

$$e^*(1 + r(i)^*)US = \frac{e^*}{e_{t+1}^{*E}} (1 + r(i)^*)$$

Si hay paridad, los dos activos son indiferentes y si el activo americano es menos atractivo lo ha de compensar con la expectativa de apreciación. Igualamos y aplicamos logaritmos

$$1 + r(i) = (1 + r(i)^*) \frac{e^*}{e_{t+1}^{*E}}$$

$$\ln(1 + r(i)) = \ln(1 + r(i)^*) - \ln\left(\frac{e_{t+1}^{*E}}{e^*}\right)$$

$$r(i) = r(i)^* - \frac{\Delta e^{*E}}{e^*} \quad [1] \text{ Paridad de intereses}$$

Añadiendo a cada lado las inflaciones esperadas de ambas naciones

$$r(i) - \pi^E + \pi^{*E} = r(i)^* - \frac{\Delta e^{*E}}{e^*} - \pi^E + \pi^{*E}$$

$$r(i) - \pi^E - (r(i)^* - \pi^{*E}) = \pi^{*E} - \pi^E - \frac{\Delta e^{*E}}{e^*}$$

Esta igualdad equivale a  $r_r - r_r^* = \dot{R}^E$  [2], que es la tasa de crecimiento esperada del tipo de cambio real.<sup>12</sup>

Teniendo en cuenta que:

$$\dot{R}^E = \frac{\Delta R^E}{R} = \frac{R_{t+1}^E}{R} - 1 \rightarrow R^E + 1 = \frac{R_{t+1}^E}{R} \rightarrow R = \frac{R_{t+1}^E}{1 + R^E} \xrightarrow{[2]} R = \frac{R_{t+1}^E}{1 + r_r - r_r^*} \quad [3] \text{ Aquí}$$

se advierte la relación negativa entre  $r_r$  y R, a menor tipo de interés, más depreciación.

<sup>11</sup> Abellán, J. L. (2021, 30 julio). *Paridad de los tipos de interés*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/paridad-de-los-tipos-de-interes.html>, acceso 15 marzo 2022.

<sup>12</sup> Recordando que  $R = \frac{P^*}{e^{*P}}$ , la tasa de crecimiento de ésta se puede escribir como  $\dot{R} = \pi^* - \frac{\Delta e^*}{e^*} - \pi$ . Esto es lo que se sustituye para llegar a la ecuación 2.

Lo transformamos en una curva  $R = R_A - q(r_r - r_r^* - \theta)$  [4] en la que se ha incluido la prima de riesgo  $\theta$  para tener en cuenta la fiabilidad económica del país.

Uniendo la curva IS, la Regla de Taylor y la ecuación [4] obtenemos la DA a corto plazo para una economía abierta con tipo de cambio flexible. DA c/p

$$Y_t = \frac{A_0^* + vq(r_r^* + \theta) - (g + vq)(\bar{r}_r - \bar{m}_1\bar{\pi}) - (g + vq)\pi_t}{1 - b(1 - t) + m + (g + vq)\bar{m}_2}$$

$$A_0^* = C_0^* + I_0^* + G_0^* + XN_0^*$$

La demanda a largo plazo se obtiene sustituyendo la ecuación [4] en términos del tipo de interés  $r_r = \frac{RA}{q} + r_r^* + \theta - \frac{R}{q}$  dentro de la IS. No se incluye por tanto la Regla de Taylor.

$$Y_t = \frac{1}{1 - b(1 - t) + m} \left( A_0 - g \left( \frac{RA}{q} + r_r^* + \theta \right) + XY^* + \left( v + \frac{g}{q} \right) R \right) \text{ DA l/p}$$

$$A_0 = C_0 + I_0 + C_0 + XN_0$$

### 2.3 Política de inversión en energías

Los impactos económicos de la crisis energética sobre el conjunto de la economía son claros, una inflación que alcanza niveles históricos. Esto desemboca una pérdida del poder adquisitivo de las familias y pérdida de competitividad por parte de las empresas arrastradas por el aumento de los precios energéticos y por el aumento de sus costes<sup>13</sup>

Hay que analizar si una fuerte inversión en nuevas energías sería una solución. En el panorama de crisis actual, los efectos que se desean conseguir son:

- Una menor dependencia de las energías del exterior, lo que se traduce en reducir los déficits en la balanza comercial.
- Que esta autosuficiencia vaya de la mano con la obtención de economías de escala.
- Reducir la inflación.
- Contribuir a la transición ecológica

Las energías renovables como la eólica o la solar, tienen unos bajos costes de producción e irían encaminadas hacia los objetivos, no obstante, no están disponibles todo el año y tampoco son energías almacenables. La energía nuclear podría responder a la demanda diaria de forma continuada. Cabe

<sup>13</sup> Fabra, N. F. [Facultat d'Economia i Empresa UIB]. (2021, 14 diciembre). *Hablemos de energía* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=MnMYiUPwlt0&t=548s>, acceso 2 enero 2022.

destacar que la energía nuclear necesita una fuerte inversión inicial, pero a largo plazo es una energía barata de producir. Invirtiendo en energías renovables o en nuclear cortaría en mayor o menor medida el problema de la dependencia del exterior. El país generaría así su propia oferta de electricidad, que no vendría vinculada al precio del gas ni a la situación sociopolítica del resto de países.

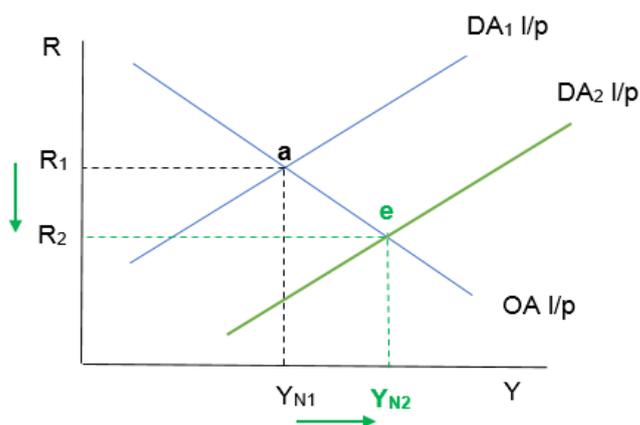
En cuanto a contribuir con la transición ecológica, las tres son limpias de gases de efecto invernadero, pese a que en la atómica se pueden generar residuos radioactivos.

Suponemos en el análisis que esta medida se aplica en forma de un aumento del consumo público (G), en definitiva, una política fiscal expansiva. La deuda sería sufragada en el futuro por medio de los ingresos que reciban las comercializadoras cuando comenzara la vida operativa de las instalaciones.

### 2.3.1 Equilibrio a largo plazo

El equilibrio a largo plazo representa la situación final, el punto donde se va a llegar. En el diagrama OA/DA se relaciona la renta con el tipo de cambio real. Por otro lado, tenemos un mercado de trabajo en función del salario real en términos de precios al consumo.

Figura 13. El diagrama OA/DA

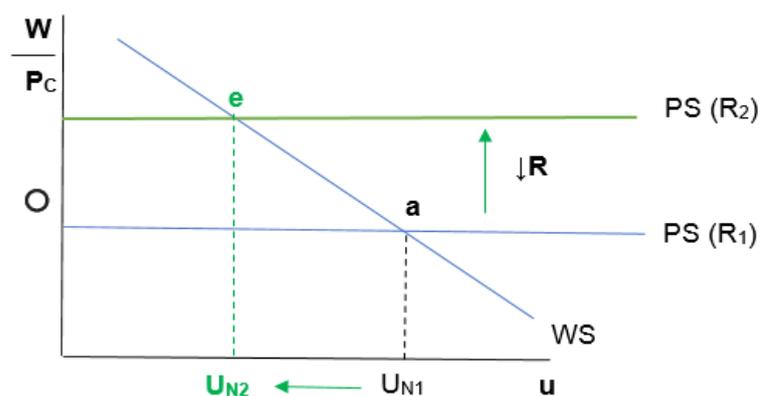


Fuente: Capó (2019).

Cuando tiene lugar la política fiscal, la DA se desplaza hacia la derecha. El resultado es un aumento de la renta y además se producirá una apreciación real.

$$DA l/p: \uparrow Y_t = \frac{1}{1-b(1-t)+m} \left( \uparrow A_0 - g \left( \frac{R_A}{q} + r_r^* + \theta \right) + XY^* + \left( v + \frac{g}{q} \right) R \right)$$

Figura 14. Diagrama de mercado de trabajo



Fuente: Capó (2019).

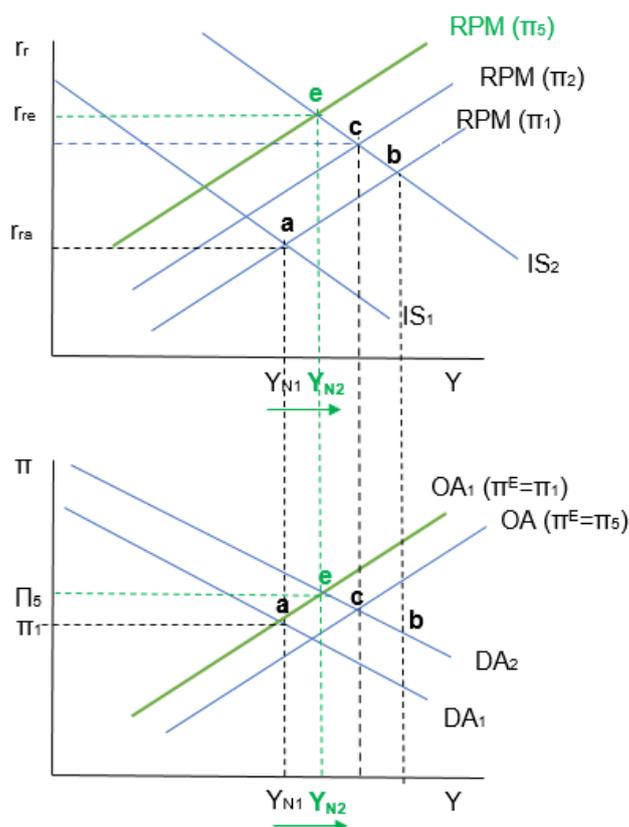
$$PS: \uparrow \frac{W}{P_C} = (1 - m) \frac{PMe_N}{1 + \varphi(\downarrow R - 1)}$$

$$NAIRU: \downarrow u_N = \frac{\mu + z + \varphi \ln \downarrow R_t}{d}$$

Si trasladamos los efectos de la apreciación real al mercado laboral lo que vemos es que la curva PS se desplazará hacia arriba. Por consiguiente, se crea un nuevo equilibrio con una tasa de paro menor. La política fiscal a largo plazo es eficaz porque tiene efectos positivos sobre la renta y el paro.

### 2.3.2 Equilibrio a corto plazo

Figura 15. La DA descompuesta en la IS y la política monetaria en forma de RPM y gráfico OA y DA convencional



Fuente: Capó (2019).

La curva IS empleada es la original pero el tipo de interés real lo sustituimos por la paridad de interés transformada (ecuación [4] de la DA).

La política desplaza la IS que acaba desplazando la DA. Así pasamos de (a→b), ocasionando un nivel de renta diferente para la misma inflación.

$$IS: \uparrow Y_t = \frac{1}{1 - b(1 - t) + m} (\uparrow A_0 + XY^* + vR_t - gr_{rt})$$

El paso de (b→c) se produce por el lado de la oferta. Si las empresas han de producir más, necesitarán más cantidad de input y tendrán que contratar a más trabajadores. Eso desemboca en una reducción de la tasa de paro, que conduce a su vez a que la tasa de crecimiento del salario será más alta. Entonces, las empresas también hacen crecer sus precios a un ritmo más alto produciéndose un aumento de la inflación. Por el lado de la demanda, como existe una relación negativa entre la inflación y la renta el punto c se encuentra a la izquierda de b.

Volviendo al gráfico IS y RPM, la subida de la inflación implica un desplazamiento de la curva RPM hacia arriba.

Desplazamiento de (b → c)  $\uparrow Y \rightarrow \uparrow N \rightarrow \downarrow \dot{W} \rightarrow \uparrow \pi$  (por el lado de la oferta)  
 $\uparrow \pi \rightarrow \downarrow Y$  (por el lado de la demanda)

Lo mismo se puede observar mediante las ecuaciones:

$$DA \text{ c/p: } \downarrow \uparrow Y_t = \frac{\uparrow A_0^* + vq(r_r^* + \theta) - (g + vq)(\bar{r}_r - \bar{m}_1 \bar{\pi}) - (g + vq) \uparrow \pi_t}{1 - b(1 - t) + m + (g + vq)\bar{m}_2}$$

$$OA \text{ c/p: } \uparrow Y_t = \frac{PA * PMe_N}{d} (\uparrow \pi_t - \pi_t^E - \mu - z + d - \phi \ln R_t^E)$$

$$\text{Regla de Taylor: } \uparrow r_{rt} = \bar{r}_r + \bar{m}_1 (\uparrow \pi_t - \bar{\pi}) + \bar{m}_2 Y_t$$

El punto c no es el equilibrio a largo plazo, solo lo es a corto plazo, ya que ese momento la inflación esperada es  $\pi_1$  y, por tanto, no se están cumpliendo las expectativas. Posteriormente, se producirá un ajuste de las expectativas.

Ajuste de expectativas (c → e), existen dos efectos contrapuestos. Por una parte, la inflación esperada presiona los salarios al alza y la oferta se desplazaría hacia la izquierda, por el otro, la caída de  $R^E$  presiona los salarios a la baja y la oferta hacia la derecha

$\uparrow \pi^E \rightarrow \uparrow \dot{W} \rightarrow OA \text{ c/p hacia la izquierda}$

$\downarrow R^E \rightarrow \downarrow \dot{W} \rightarrow OA \text{ c/p hacia la derecha}$

$$OA \text{ c/p: } Y_t = \frac{PA * PMe_N}{d} (\pi_t - \uparrow \pi_t^E - \mu - z + d - \phi \ln \downarrow R_t^E)$$

Suponemos en el ajuste de expectativas, tras la política se esperará que el aumento de la inflación sea mayor. Ganaría el efecto inflación esperada, entonces, la OA c/p se desplazará hacia la izquierda, pero no tanto por el efecto tipo de cambio esperado. Con ello, la curva RPM se desplaza hacia arriba (c → e).

Si indagamos los resultados de esta política por el lado de la demanda, lo que se necesita es la ecuación de paridad de interés transformada

$R = R_A - q(r_r - r_r^* - \theta)$ . La subida de los tipos de interés provoca una reducción del consumo y de la inversión por el efecto negativo que tiene éste sobre los bienes de larga duración. La apreciación real es causada por el efecto inflacionista y por la entrada de capitales fruto del aumento de tipos de interés. La apreciación reduce las exportaciones netas. Por ende, la política tiene efecto desplazamiento parcial o crowding-out parcial en la medida que la subida de tipos de interés expulsa la inversión y el consumo; y la apreciación

real nos hace menos atractivos como país y penaliza las exportaciones netas. El efecto es tan solo parcial, y no impide, como se ha visto en el gráfico de OA-DA  $I/p$ , que la política consiga incrementar la renta en el largo plazo<sup>14</sup>.

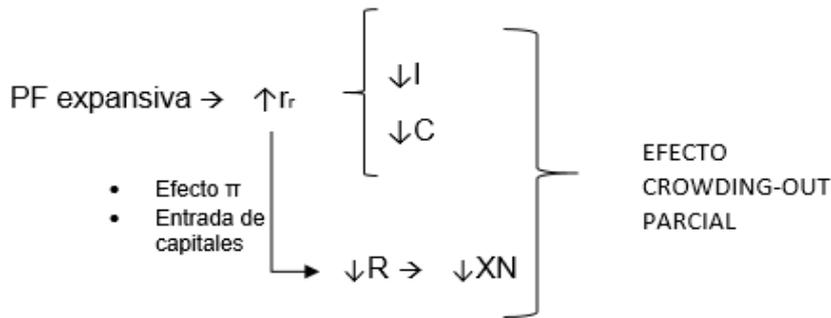
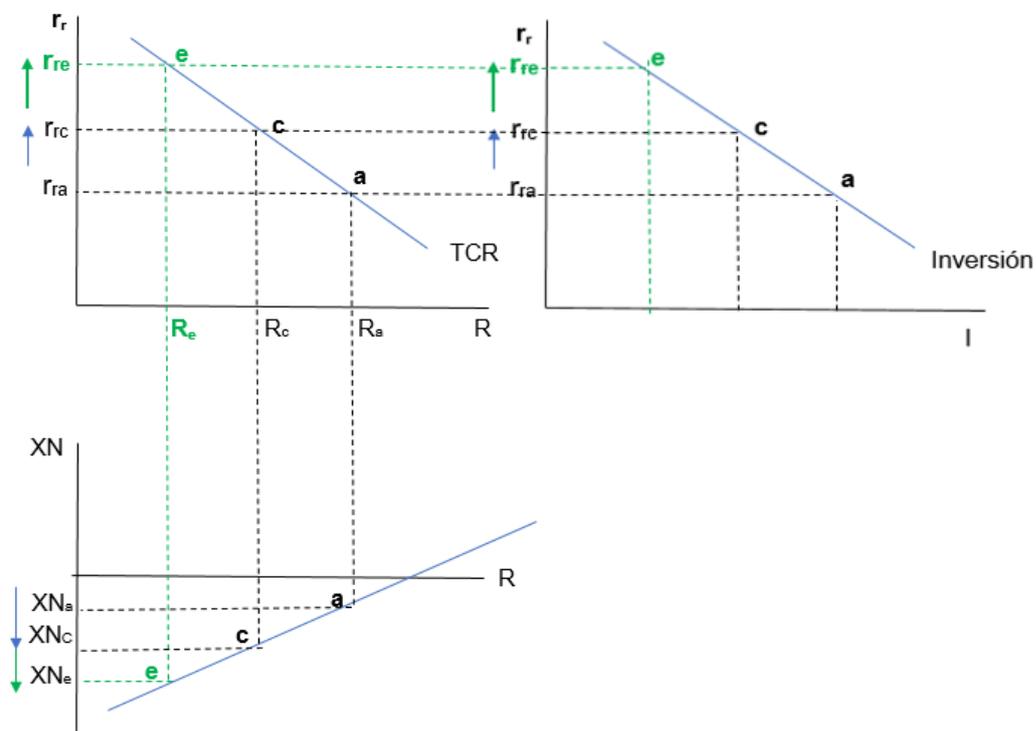


Figura 16. Efecto crowding-out en economía abierta con tipo de cambio flexible



Fuente: Capó (2019).

Se tiene en cuenta que el saldo comercial actual en España es negativo y es por esto por lo que las XN figuran por debajo del nivel 0<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> Wells. (2015). La política fiscal. En Krugman & Graddy (Eds.), *Fundamentos de Economía* (3.ª ed., pp. 449–481). Editorial Reverté.

<sup>15</sup> Subdirección General de Estudios y Evaluación de Instrumentos de Política Comercial. Secretaría de Estado de Comercio. (2022, marzo). *Informe mensual de comercio exterior*.

En definitiva, se ha llegado a un resultado a largo plazo de output más elevado como se había determinado en el gráfico de largo plazo. Por lo que la política fiscal tiene efectos reales a largo plazo.

A pesar de los resultados con respecto a la inflación, como se ha explicado anteriormente, la introducción de energías de bajo costo cortaría de raíz ese problema. No obstante, en el caso de las centrales nucleares, que se tardan en construir entre 5 y 10 años, los efectos de reducción de la inflación se verían a muy largo plazo.

### Capítulo 3. Análisis coste-beneficio

Hasta ahora, se ha visto que si el gobierno realizara una compra de bienes y servicios en forma de inversión masiva en centrales energéticas, a corto plazo se produciría el aumento de la renta, la caída de la tasa de paro, un aumento de tipos de interés, el aumento de la inflación. Se ha visto que a largo plazo la política es eficaz en cuanto a que se consigue cerrar la brecha recesiva, pese a que el aumento de gasto público expulsa al gasto privado de inversión, consumo y exportaciones netas. Y además, el objeto para el que se pretende realmente, contraer los precios, se vería reflejado en un horizonte temporal de varias décadas en el caso de la energía nuclear.

Al estar considerando si emprender un proyecto de inversión pública, el siguiente paso es monetizar los costos y beneficios que derivan directa o indirectamente del proyecto, es decir, de cuánto sería el déficit presupuestario. Mediante indicadores, se llega a la conclusión de si resulta financieramente rentable el proyecto. Para ello la metodología que se va a seguir es el de análisis costo-beneficio, que tiene en cuenta además de la relevancia y monetización de las consecuencias sociales.

#### 3.1 Lista de alternativas de proyectos

Energía eólica: la ventaja que posee, es que el viento es un recurso inagotable y no produce residuos contaminantes. Esto último es motivo de que no conlleve a la destrucción de ecosistemas ni al calentamiento global. Es una energía asequible y autóctona, eso quiere decir que exime de la necesidad de importar recursos del exterior. De igual forma es destacable la facilidad de armar y desarmar los parques eólicos. Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, no es un recurso que sea disponible y tampoco es almacenable. Su ausencia debe ser cubierta con otras energías consideradas contaminantes<sup>16</sup>. Dado que los parques eólicos están apartados de la población, para hacer llegar este recurso es preciso instalar infraestructuras y redes de transporte. La densidad energética del viento es baja y por ende se requieren construir numerosos aerogeneradores. El peligro que implica para las aves es un inconveniente.

Energía solar: los atributos son similares a la eólica en cuanto a la inagotabilidad y sostenibilidad, aunque durante la construcción de los paneles se producen gases de efecto invernadero. Conciernen en la ausencia de ligadura a los combustibles fósiles. Existen tres sistemas de explotación, pero la empleada para obtener electricidad es la energía fotovoltaica mediante paneles. La vida útil de los paneles puede llegar a ser de tres décadas. Como contrapartida, hay un coste inicial elevado y tampoco hay existencias de forma continuada.

---

<sup>16</sup> Arriols, E. (2022, 28 enero). Ventajas y desventajas de la energía eólica. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-eolica-1085.html](https://www.ecologiaverde.com/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-eolica-1085.html), acceso 14 abril 2022.

Energía nuclear: no se producen gases de efecto invernadero, se reduce la dependencia del petróleo. Pero se generan residuos radioactivos, que tardan considerable tiempo en degradarse. Utiliza como principal combustible el uranio, el cual se importa de Rusia, Nigeria, Kazajistán, Canadá entre otros. Hay un coste inicial elevado pero éste se compensa con el bajo costo durante su longevidad.

### 3.2 Conceptos básicos

VAN: es un indicador de rentabilidad económica, que se mide como la diferencia entre el valor actual de los flujos anuales y la inversión inicial. La fórmula<sup>17</sup> es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde  $F_t$  es el valor de los flujos que se esperan para el futuro (ingresos-costes) adelantados a la tasa de descuento  $k$ , menos la inversión inicial  $I$ .  $t$  son los años de vida útil del proyecto.

Tasa de descuento ( $k$ ): es el tipo de interés que se utiliza para obtener el valor actual de futuros pagos (VAN). Para el presente análisis se va a utilizar una tasa de descuento del 6%<sup>18</sup>. Se toma la tasa más grande que el Sistema Nacional de Inversión español utiliza en proyectos de largo plazo de forma que se plasma el efecto subida de tipos de interés del análisis previo.

Si  $VAN < 0 \rightarrow$  proyecto no es beneficioso, generará pérdidas

Si  $VAN = 0 \rightarrow$  proyecto sin pérdidas ni beneficios

Si  $VAN > 0 \rightarrow$  proyecto beneficioso.

Esto es, para que el proyecto sea rentable, los beneficios netos adelantados al momento presentes deben ser superiores a la inversión inicial.

TIR (tasa interna de retorno): tiene el mismo objetivo que el VAN, solo que es el tipo de interés al que VAN sería 0. La TIR se compara con  $k$ , para saber si la rentabilidad del proyecto es superior al coste de oportunidad, es decir, si es superior al beneficio que se espera de invertir en bonos.

Si  $TIR > k$  el proyecto es beneficioso

Si  $TIR < k$  el proyecto genera derroches

Tasa de inflación: es un coeficiente que muestra en qué grado varían los precios en un momento dado. Para el análisis, considerando los resultados macroeconómicos anteriores, únicamente pasados los años de construcción y una vez comience a ponerse en funcionamiento la logística, no se tomará en cuenta ésta.

---

<sup>17</sup> Navarro, J. (2021, 19 febrero). Cómo calcular la viabilidad económica de una inversión. Hablemos de empresas. <https://hablemosdeempresas.com/empresa/calculo-van-excel/>, acceso 16 abril 2022.

<sup>18</sup> España utiliza una tasa de entre 4% y 6% según el sector que se trate.

Relación costo beneficio (C/B): consiste en sumar el valor actual de los costos a la inversión inicial y dividir el valor actual de los ingresos entre ese resultado. Esta medida va a dar cuantos euros se ganan por euro invertido.

### 3.3 Energía nuclear

El consumo total de electricidad en España en 2021 de electricidad fue de 256.387 GWH<sup>19</sup>, y en ese año, un 21% procedía de la energía nuclear (véase gráfico X). Cumpliendo que el objetivo sea que ese porcentaje se viera incrementado en un 20%, se necesitarían generar 51.277,4 GWH más. En la actualidad, se encuentran operativas 5 centrales nucleares distribuidas por el país<sup>20</sup>, las cuales mantienen una potencia instalada de aproximadamente 1000 MW cada una. Al día generan 1000 MW\*24hrs. = 24.000 MWh. Siguiendo este hilo, durante todo el año un central nuclear estándar generaría 24.000 MWh\*365 días= 8.760.000 MWh, que corresponde a 8.760 GWh brutos.

$$1.000 \text{ MW} * 24\text{hrs} = 24.000 \text{ MWh} \rightarrow 24.000 \text{ MWh} * 365 \text{ días} = 8.760.000 \text{ MWh} \rightarrow 8.760.000 \text{ MWh} = 8.760 \text{ GWh}$$

Prosiguiendo con la explicación, dado los datos de una central estándar, se necesitaría la instalación de 51.277,4 GWh /8.760 GWh=5,8 ≈ 5 centrales nucleares.

#### 3.3.1 Inversión

- Costes directos
  - o Terrenos
  - o Obra civil
  - o Montaje y equipo
- Costes indirectos
  - o Ingeniería
  - o Inspección
- Obtención de permisos ambientales
- Impuestos

Durante los cinco primeros años tiene lugar la construcción. Suponemos una vida útil de 60 años. Ese es el tiempo que puede funcionar correctamente la central.

---

<sup>19</sup> España - Consumo de electricidad 2021. (2021). datosmacro.com. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo/espana>, acceso 18 abril 2022.

<sup>20</sup> Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Centrales Nucleares en España. (s. f.). Centrales nucleares en España. (2022) <https://energia.gob.es/nuclear/Centrales/Espana/Paginas/CentralesEspana.aspx>, acceso 20 abril 2022.

La inversión por central el primer año asciende a 4.000 MM el resto se van amortizando durante 40 años.

### 3.3.2 Gastos

En la actualidad, las centrales nucleares producen el MWh a un precio de 56,1 euros (Endesa, 2021), pero ese es el coste de producción una vez amortizada. En el caso de querer instalar una nueva, se incluye el coste de amortización que refleja la inversión inicial. El precio sin amortizar asciende a 106,7 euros/MWh, los cuales se desglosan en<sup>21</sup>:

#### Coste de generación

##### - Operación y mantenimiento

Estos costes están intrínsecamente ligados a las condiciones de seguridad con que cuenta cada país. En el caso de España, no hay actividad sísmica en comparación con otros países como Japón. Coste= 20 euros/MWh.

##### o Supervisiones<sup>22</sup>

Se realizan (1500-2000) supervisiones anualmente a través de inspecciones que revisan el cumplimiento de la legislación y las órdenes del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), así como si se respetan los términos impuestos en las licencias.

También es objeto de supervisión la seguridad relativa a los empleados, el medio ambiente y el ciudadano durante el transporte de material radiactivo.

##### - Consumo de combustibles

Actualmente, España importa el 100% de uranio, principalmente de Rusia, Canadá, Níger y Kazajistán entre otros. Esta dependencia de combustible, dado el conflicto actual con Rusia, se traduce en precios más elevados. No obstante, España posee unas reservas de uranio capaces de cubrir la demanda nacional al menos durante 10 años (Europapress, 2022). Coste= 10 euros/MWh.

#### Costes de inversión en construcción

En él se incluye el tipo de interés a las cuotas periódicas. Coste= 70 euros/MWh.

#### Tasa Enresa

Es un porcentaje del total de la inversión, destinado a cuando la central haya llegado al fin de su vida útil y ésta se deba desmantelar. También esta tasa

---

<sup>21</sup> Estimación basada en Areva NP, una multinacional francesa especializada en centrales nucleares. [https://cl.boell.org/sites/default/files/costos\\_de\\_la\\_energia\\_nuclear.pdf](https://cl.boell.org/sites/default/files/costos_de_la_energia_nuclear.pdf), acceso 17 abril 2022.

<sup>22</sup> *Supervisión y control. Inspecciones - CSN.* (2020). Consejo de Seguridad Nuclear. <https://www.csn.es/proteccion-radiologica/supervision-y-control/inspecciones>, acceso 17 abril 2022.

está destinada a gestionar los residuos nucleares de alta radioactividad (95%), que deben seguir un proceso de enfriamiento que necesita varias décadas. La tasa asciende a 6,7 euros/MWh<sup>23</sup>.

### 3.3.2.1 Valoración de impactos sociales y medioambientales

#### Costes sobre posibles averías o accidentes

Según el convenio de París sobre responsabilidad civil en accidentes nucleares, el operador o explotador debe responder por cada siniestro con al menos 700 MM, ya sea si se trata de civiles o daño ambiental.

Para estimar el coste esperado, se puede multiplicar la probabilidad esperada por 700 MM.

Si la cantidad de reactores del mundo asciende a 443, y 3 reactores han explotado durante su vida útil, se divide el número de accidentes entre 443, para obtener la probabilidad de que tenga lugar un accidente en toda su vida útil ( $3/443 = 0,67\%$ ). Por último, para extraer la probabilidad anual, se divide el resultado anterior entre la vida útil de la central ( $0,0067/60 = 0,011\%$ ).

Coste esperado anual = 385.000 euros

#### Inseguridad de la población

A raíz de los accidentes nucleares de Chernobyl (1986), Three Mile Island en Estados Unidos (1979) y Fukushima en Japón (2011), ha surgido la desconfianza de los ciudadanos frente a la peligrosidad de actividades nucleares. Esa desconfianza, puede llevar a que las construcciones se tengan que llevar a cabo a las afueras, lejos del núcleo urbano. Por ende, conlleva costos adicionales e inconvenientes debido a las nuevas líneas de transmisión, que además pueden tener un violento daño ambiental. Suponiendo que crear nuevas líneas de transmisión significa 92.500 euros por Km, y se van a precisar 100 Km, el costo asciende a 9,25 MM por aplazamiento. Total coste anual = 770.833 euros.

---

<sup>23</sup> Dato extraído de: Roca, R. (2019, 9 septiembre). *Las cuentas del apagón nuclear: subir la «tasa Enresa» a las eléctricas un 20% acabaría con el déficit del fondo para su desmantelamiento*. El Periodico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-cuentas-del-apagon-nuclear-subir-la-tasa-enresa-a-las-electricas-un-20-acabaria-con-el-deficit-del-fondo-para-su-desmantelamiento/#:%7E:text=En%20la%20actualidad%2C%20la%20tasa,MWh%20por%20la%20energ%C3%ADa%20producida>, acceso 13 abril 2022.

Tabla 1. Costes anuales 5 centrales nucleares incluyendo los impactos sociales y medioambientales

Años	Costes anuales
(6-16)	4.236.615.833,33 €
(17-45)	4.674.615.833,33 €
(46-65)	1.884.555.833,33 €

Fuente: elaboración propia.

La diferencia entre los tramos radica, como ya se ha mencionado, en el autoabastecimiento de uranio de los primeros años de explotación. Mientras que los 20 últimos años de la vida útil las instalaciones ya están plenamente amortizadas.

### 3.3.3 Ingresos

Como ya se ha explicado en el funcionamiento del mercado, el gas marca el precio final de la electricidad, y es a la vez el que recompensa a las centrales y restantes energías. El gas se cotizó en marzo de 2022 a 123,7 euros/MWh.

Teniendo en cuenta que anualmente cada instalación produce 8.760 GWh, los ingresos anuales totales ascienden a 5.418 MM euros.

#### 3.3.3.1 Valoración de impacto medioambiental

##### No emisión de CO<sub>2</sub>

Para calcular el valor económico del no desprendimiento de gases de efecto invernadero, se va a emplear la fórmula<sup>24</sup>:  $VE(CO_2) = TmCO_2 * PbMDL$  Dónde TCO<sub>2</sub> es la aminoración de emisión de CO<sub>2</sub> en toneladas y PbMDL es el precio de reducción de emisiones certificadas (CERs).

Tomando como dato que en 2021 se emitieron 35,96 millones de toneladas ligadas a la generación de electricidad<sup>25</sup> y contando con que el proyecto incrementaría la producción de electricidad por medio de energía limpia de CO<sub>2</sub> en un 20%, se lograría dejar de emitir 7,19 MM toneladas.

Los costes de derechos de emisión 89,59 euros/tonelada (2022)

VE(CO<sub>2</sub>)= 644 MM euros.

Ingresos totales= 6.062 MM euros.

<sup>24</sup> Ministerio de energía y minas de Perú. (2012). *Valoración económica de impactos* [Diapositivas]. Gob.pe.

[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/10\\_0%20Valoraci%C3%83%C2%B3n%20econ%C3%83%C2%B3mica%20de%20impactos.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/10_0%20Valoraci%C3%83%C2%B3n%20econ%C3%83%C2%B3mica%20de%20impactos.pdf), acceso 20 abril 2022.

<sup>25</sup> Fariza, I. (2022, 6 enero). *El sistema eléctrico español marca en 2021 un nuevo máximo histórico de emisiones*. El País. <https://elpais.com/economia/2022-01-06/el-sistema-electrico-espanol-marca-en-2021-un-nuevo-minimo-historico-de-emisiones.html>, acceso 21 abril 2022.

### 3.4 Energía solar

Se va a tener en cuenta únicamente la energía solar fotovoltaica.

Nuevamente, si el consumo total de electricidad en España en 2021 de electricidad fue de 256.387 GWh y el objetivo es que el porcentaje de participación de la energía solar en el consumo se vea incrementado en un 20%, se necesitan generar mediante esta tecnología 51.277,4 GWh extra anuales.

Si se toma como ejemplo una central solar con una potencia instalada de 300 MW, suponiendo que al día hay 5 horas de sol disponibles, cada día se generarían 1500 MWh. Al año, por ende, se generarían 547,5 GWh (simplificando y conjeturado que las horas de sol del periodo canicular se compensan con las pocas de invierno). Se precisaría una media de aproximadamente 93 centrales solares.

Existen dos tipos de placas solares, las placa conectada a la red y aislada. La conectada a la red implica que cuando se deja de consumir la energía solar pasa a consumir automáticamente de la red eléctrica. Dentro de ésta existen dos modalidades:

- Autoconsumo sin excedentes: la energía que exceda a la consumida no se difunde a la red, es decir, la energía no consumida se pierde. Consecuentemente, no se consideraría eficiente.
- Autoconsumo con excedentes: la energía producida que exceda a la consumida se puede difundir a la red de distribución, con la posterior posibilidad de que se gratifique económicamente por esos KWh (acogido a compensación). No obstante, para poder optar por esta variedad, uno de los requisitos es que la potencia instalada no debe superar los 100 KW, lo cual en el caso de las plantas solares de 300MW de este análisis no se podría acoger. Por consiguiente, solo queda la posibilidad de no acogerse a compensación, por lo que la energía no aprovechada se vuelve a vender al mercado mayorista.

Las aisladas serían destinadas a aquellas zonas remotas, donde no pudiera haber acceso a la red eléctrica. Por tanto, es preciso adquirir baterías que almacenen la energía no consumida, para utilizarlas en circunstancias como la noche o días nublados. Las baterías encarecerían más la inversión. Esta modalidad encaja en funciones como el de iluminación de las ciudades, para áreas de producción agrícola y ganadera o torres de comunicación telegráfica. En una conjetura:

Tabla 2. Consumo alumbrado principales ciudades de España<sup>26</sup>

Consumo en alumbrado público	Euros anual	GWh anual
Madrid	81.000.000,00 €	654,81
Barcelona	28.000.000,00 €	226,35
Valencia	3.870.000,00 €	31,29
Sevilla	23.800.000,00 €	192,40
Zaragoza	8.640.000,00 €	69,85
TOTAL		1.174,70
Consumo anual principales ciudades	Producción anual de panel aislado (300W)	Nº Paneles solares
1174696847210,99 Wh	547500 Wh	2.145.565,02

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Guzmán (2021), Suñé (2016), M. (2022), Lozano (2022).

Si se quisiera introducir parte de la energía fotovoltaica en el alumbrado de las principales ciudades españolas, (un total de 1.174,70 GWh anuales) se necesitarían aproximadamente 2,14 MM paneles aislados.

De modo que, recalculando, la presente alternativa de inversión comprende:

- 2,14 MM paneles solares aislados que cubren los 1.174,70 GWh de alumbrado público.
- 91 plantas solares conectadas a red que cubren 50.102,7 GWh y abastecerían a una media de 300.000 hogares al año.

### 3.4.1 Inversión

Las plantas solares tardan aproximadamente un año en construirse. Se presupone una vida útil de 25 años. El monto inicial, que se desembolsaría plenamente el primer año, se compone de:

#### Equipos principales, obra civil y transportes 92%

- Paneles 42%
- Estructura de sujeción 12%
- Inversores 11%
- Cableado 2%
- Transformador de alta tensión 33%
- Mano de obra 1%

#### Costes de desarrollo 6%

Costes de desarrollo en ingenierías, trámites, fianzas, estructura, etc.

<sup>26</sup> Gwh calculados en base al precio de referencia 123,70 euros.

### Impuestos 2%

En esta categoría se encuentran el impuesto sobre construcciones, instalaciones y obras (ICIO), el (IAE), Impuesto sobre bienes inmuebles, IVA y permisos de obra.

Inversión total= 15.963 MM euros.

### **3.4.2 Gastos**

Tabla 3. Costes anuales planta solar

	Local	Regional	Nacional	Comunitaria
Operación y mantenimiento	14%		43%	
Alquiler de terrenos	20%			
Tasas e impuestos	14%			
Otros costes		2%	2%	4%
Total	49%	2%	45%	4%

*Fuente: elaboración propia a partir de datos de IGNIS DESARROLLO (2021).*

Los otros costes incluyen el seguro de robo, y el peaje de acceso a red. Los costes de operación y mantenimiento deben incluir las baterías de almacenamiento correspondientes a los paneles aislados. Estas baterías deberán ser renovadas por lo menos una vez en razón de que su vida útil es de 20 años. Su coste asciende a 300 euros cada una<sup>27</sup>. Total de gastos anuales= 1.028 MM euros.

### **3.4.3 Ingresos**

Tabla 4. Ingresos estimados del proyecto de inversión fotovoltaica

	Precio/MWh	Producción objetivo MWh/año	Total
Ingresos	123,70 €	51.277.400	6.343.014.380 €

*Fuente: elaboración propia.*

<sup>27</sup> Modelo WccSolar AGM U-Power TFS.

### 3.4.3.1 Ingresos sociales y medioambientales

#### Emisiones de CO<sub>2</sub>

Para calcular el impacto favorable sobre el medio ambiente, de nuevo se va a emplear la fórmula<sup>28</sup>:  $VE(CO_2) = TmCO_2 * PbMDL$

Emisión de toneladas ligadas a la generación de electricidad<sup>29</sup> en 2021: 35,96 MM.

Se supone que incrementamos la producción de electricidad por medio de energía limpia en un 20% consiguiendo dejar de emitir 7,19 MM toneladas.

Los costes de derechos de emisión: 89,59 euros/tonelada (2022).

$VE(CO_2) = 644$  MM euros.

No obstante, durante la fabricación de los sistemas se originan emisiones. Se estima que durante la fabricación se alcanzan los 29,8 g/KWh<sup>30</sup> producido, que se traducen en 1.528.066,52 toneladas, con un valor económico de  $VE = 1.528.066,52 * 89,59 = 219$  MM euros. Por ende, el impacto neto de las emisiones es de  $VE(CO_2) = 425$  MM.

Ingresos anuales totales= 6.768 MM euros.

## 3.5 Energía eólica

### 3.5.1 Inversión<sup>31</sup>

Supongamos la construcción de parques eólicos de 50 MW con 25 aerogeneradores de 1,8 MW de potencia instalada cada uno.

Si cada aerogenerador produce 25.000 MWh<sup>32</sup> se precisarían 74 parques eólicos para cubrir nuestro objetivo.

---

<sup>31</sup> Viñuela, V., & Núñez, I. (s. f.). *COSTOS EÓLICA. El costo nivelado de la energía (LCOE)*. Evolución de costos ERNC. [https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/C\\_Eolica.html](https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/C_Eolica.html), acceso 5 mayo 2022.

<sup>32</sup> Merino, L. (2012, 10 octubre). *Un solo aerogenerador para abastecer a 6.000 hogares*. Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/eolica/un-solo-aerogenerador-para-abastecer-a-6-20121010>, acceso 5 mayo 2022.

Tabla 5. Estimación de infraestructuras eólicas necesarias

	Potencia (MW)	Producción anual (MWh)
Aerogenerador	1,80	25.000,00
Parque eólico	50,00	<b>694.444,44</b>
Objetivo GWh anuales	Producción anual GWh Parque	Instalaciones eólicas necesarias
51.227,40	694,44	<b>73,77</b>

*Fuente: elaboración propia a partir de Merino (2012).*

Se predice que los aerogeneradores tienen una vida útil de 25 años desde que se termina la instalación, que dura alrededor de un año.

Tabla 6. Estructura de costes de un aerogenerador de 2 MW instalado en europa (2006)

	Inversión (1.000€/MW)	Cuota (%)
Aerogenerador (franco fábrica)	928	75,6
Cimentación	80	6,5
Instalación eléctrica	18	1,5
Conexión de redes	109	8,9
Sistemas de control	4	0,3
Consultoría	15	1,2
Terreno	48	3,9
Costes financieros	15	1,2
Carretera	11	0,9
<b>Total</b>	<b>1.227</b>	<b>100</b>

*Fuente: datos extraídos de Wind Energy, (2009).*

Como se ha mencionado, una de las desventajas es que el desembolso más importante tiene lugar al principio, debido a que se necesitan conexiones de redes e infraestructura para conducir la energía producida de las afueras a la población.

Entonces, por lo que al presente proyecto de inversión se refiere, el coste de inversión asciende a 6,13 MM euros por parque eólico y la inversión total asciende a 4.539 MM, que serán satisfechos en su totalidad el primer año.

### 3.5.2 Gastos

Los costes según el estudio de Villasur (2022), los costes de producción rondan entre los 0,03 y 0,08 euros/KWh. Es importante subrayar que como los costes de inversión en construcción se desembolsan íntegramente el primer año. Por tanto, solo queda tener en cuenta los costes de mantenimiento anuales y el aceite para los generadores. El coste anual es de tan solo 0,03 euros/KWh.

#### 3.5.2.1 Costes medioambientales

##### Daños a las aves

Se calcula que anualmente mueren por causa de las aspas de los aerogeneradores una media de entre 140.000 y 500.000 aves anualmente. De momento no se ha encontrado una solución concreta, aunque implantar luz ultravioleta dentro de las aspas de manera hace que éstas sean perceptibles a su vista y se aminore el peligro de choque.

$VE(\text{daños}) = 200 \text{ (coste luz UV)}^{33} * 25 \text{ (aerogeneradores)} * 74 \text{ (parques eólicos)} = 370.000 \text{ euros anuales.}$

### 3.5.3 Ingresos

Tabla 7. Ingresos estimados del proyecto

	Precio/MWh	Producción objetivo MWh/año	Total
Ingresos	123,70 €	82.043.840,00	10.148.823.008,00 €

*Fuente: elaboración propia.*

#### 3.5.3.1 Ingresos sociales y medioambientales

##### Emisiones de CO<sub>2</sub>

Para calcular el impacto favorable sobre el medio ambiente, de nuevo se va a emplear la fórmula:  $VE(CO_2) = T_mCO_2 * PbMDL$

Emisión de toneladas ligadas a la generación de electricidad en 2021: 35,96 MM.

Contando con que el proyecto incrementaría la producción de electricidad por medio de energía limpia en un 20%, se lograría dejar de emitir 7,19 MM toneladas.

Los costes de derechos de emisión: 89,59 euros/tonelada (2022).

$VE(CO_2) = 644 \text{ MM euros.}$

---

<sup>33</sup> Barra de luz UV de LEDs.

### 3.6 Resultados

Tabla 8. Resultados del análisis coste-beneficio de los proyectos de inversión

	NUCLEAR	SOLAR	EÓLICA
VAN	1.571.818.088,10 €	55.344.887.616,35 €	31.150.119.170,29 €
TIR	6,38%	35,94%	63,62%
PRI	16 años	3 años	2 años
C/B	1,10 €	3,00 €	1,57 €

*Fuente: elaboración propia.*

La regla de decisión del VAN estipula que el proyecto debe llevarse a cabo cuando el  $VAN > 0$ . Desde este punto de vista, las tres opciones serían una buena inversión económica. En el caso de la energía nuclear, el resultado es menor, esto se atribuye a que el VAN da más importancia a los flujos más inmediatos. En la nuclear, los beneficios más elevados se empiezan a percibir pasados 45 años, cuando se termina la amortización.

Desde el punto de vista de la TIR, en los tres proyectos son viables para la tasa de descuento empleada (6%).

El período de recuperación de la inversión indica que los proyectos de solar y eólica son preferibles, en cuanto a que se recupera mucho antes la inversión. Sin embargo, es un indicador estático y no tiene en cuenta el valor de los flujos en cada año, es decir, da por sentado que cada año el dinero vale lo mismo.

No se pueden realizar comparaciones únicamente en base a estos indicadores. El cociente coste/beneficio es una medida relativa y sí que es empleable para comparar, en este sentido, concuerdan con los indicadores anteriores, pero sitúa como más rentable la energía solar.

Antes de llegar a la conclusión final, hay que recapitular todos los datos que se tienen hasta el momento.

#### 3.6.1 Comparación coste/producción energía solar, eólica y nuclear

Según el Banco de inversión Lazard, de su “Análisis del Costo Nivelados de la Energía” los costes de producción por KWh de la energía eólica y solar disminuyen año a año. Eso, unido al aumento de capacidad de almacenamiento de estos tipos de energía hace que sea cada vez más atractiva económica y ecológicamente.

Según los cálculos del estudio, los costes iniciales que requiere una central nuclear ascienden a 4.000 MM por GW de potencia instalado. Cada central eólica cuesta 1.227 MM euros por GW de potencia instalado y la fotovoltaica

584 MM por GW (lo que supone que con el coste de una central nuclear se pueden instalar 3,25 centrales eólicas y 6,84 centrales fotovoltaicas)<sup>34</sup>.

Por otro lado, teniendo en cuenta el rendimiento real, la central nuclear genera 8.760 GWh anuales por GW, las 3,25 centrales eólicas generarían 6.500 GWh y 6,84 centrales fotovoltaicas 10.944 GWh, ello hace que, si comparamos las tres con una central nuclear por el mismo coste generamos un 74% de energía eólica y con la solar un 124%.

Hay que tener en cuenta otros factores como son los escasos costes de producción de la energía fotovoltaica y en adición, su disminución progresiva debido a los avances tecnológicos.

Asimismo, no hay que perder de vista la vida útil de cada tipo de central, ya que la eólica y fotovoltaica está entorno a los 25-30 años, siendo el de la nuclear más del doble. Ésto último influye en el cociente coste/vida útil sea el doble en las renovables que en la nuclear.

Es preciso recordar que la central nuclear trabaja 24 horas al día mientras que la renovables dependen del lugar donde estén instalados, de la cantidad de viento y luz que reciben, pues su producción se debería complementar con otras tecnologías que suplan esa carencia. Véase en el cuadro que el total de potencia instalada de energía nuclear es el 6,7% suponiendo su cobertura sobre la demanda del 23%. en cambio la solar su potencia instalada es del 13% pero solo da cobertura al 8% de la demanda anual.

Tabla 9. Cuadro comparación coste/producción

	NUCLEAR	EÓLICA	FOTOVOLTAICA
COSTE/GW	4.000 MM	1.227 MM	584 MM
Nº CENTRALES CON 4.000 MM	1	6,666	3,333
PRODUCCIÓN ANUAL (por GW)	8.760 GWh	2.000 GWh	1.600 GWh
COMPARATIVA PRODUCCIÓN	100%	74%	124%
VIDA ÚTIL	60 AÑOS	30 AÑOS	30 AÑOS
COSTE/VIDA ÚTIL	100%	200%	200%
CONTAMINACIÓN	SÍ	NO	NO
HORAS PRODUCCIÓN AÑO	8.000	2.100	2.000

<sup>34</sup> Díaz, A. (2015, 26 enero). *Costes de centrales nucleares vs renovables eólica y fotovoltaica*. Energética futura – blog del autoconsumo energético actual y del futuro. <https://energeticafutura.com/blog/costes-de-centrales-nucleares-vs-renovables-eolica-y-fotovoltaica/>, acceso 2 abril 2022.

POTENCIA INSTALADA	6,7%	25,6%	13%
COBERTURA DEMANDA	23%	22,2%	8%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de (Sainz & Rodríguez, s.f.), de Energía y sociedad, (2020) y REE (2020) y datos resultantes del análisis costo-beneficio.

## Conclusiones

En definitiva, la energía nuclear resulta más eficaz productivamente en comparación con las otras. Por otra parte, se recupera antes la inversión en la eólica que en la solar, aunque fruto de los cálculos del VAN y ratio coste/beneficio, económicamente rinde más el proyecto de inversión de la energía solar.

En cuanto a la atómica, el mayor inconveniente es la fuerte inversión inicial y la tardanza en obtener altos beneficios, que no sucederá hasta que la central esté completamente amortizada. Es decir, sería un buen proyecto de inversión a largo plazo, pero no a corto ni medio plazo.

No obstante eso, no hay que olvidar varios puntos.

- Los valores son aproximaciones puesto que es complicado estimar el coste exacto de un GWh.
- En el caso de la energía nuclear, se ha considerado un plazo de construcción de 5 años, tal vez demasiado optimista. Suponiendo un plazo mayor se reafirmarían los resultados obtenidos.
- Tampoco se ha tenido en cuenta los tipos de cambio del euro con las diferentes monedas de pago y sus posibles alteraciones en el tiempo. Por ejemplo, para el cálculo del precio del uranio a Rusia.
- Se ha supuesto que el rendimiento de producción de energía es del 100%, es decir, que no existen fallos.

Todo parece indicar que la mejor alternativa de inversión sería la solar, pero combinada con la energía eólica dado que esta última tiene una mayor cobertura de demanda. Ambas se pueden alternar en su uso cubriendo la demanda carente según las circunstancias meteorológicas.

Pese a todo ello, deberemos contar con otras energías ya que con la eólica y solar no cubrimos las 24 horas del día 365 días al año.

## Referencias

¿Cómo se fija el PRECIO de la ELECTRICIDAD? | El Mercado Eléctrico | PATRULLA RENOVABLE. (2020, 17 julio). [Vídeo]. YouTube <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=eG0FgifDJLg> acceso 1 febrero 2022.

Abellán, J. L. (2021, 30 julio). *Paridad de los tipos de interés*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/paridad-de-los-tipos-de-interes.html>, acceso 15 marzo 2022.

Allende, J. (1978, 7 enero). *Los costes de una central. El kilowatio más caro que el de origen convencional*. El país [https://elpais.com/diario/1978/01/07/economia/252975616\\_850215.html](https://elpais.com/diario/1978/01/07/economia/252975616_850215.html), acceso 5 abril 2022.

*Análisis estadístico y riesgo nuclear - centrales nucleares*. (s. f.). Análisis estadístico y riesgo nuclear. <https://sites.google.com/site/centralestermicasnucleares/analisis-estadistico-y-riesgo-nuclear>, acceso 9 marzo 2022.

AREVA S.A. (s. f.). AREVA, S.A. [https://cl.boell.org/sites/default/files/costos\\_de\\_la\\_energia\\_nuclear.pdf](https://cl.boell.org/sites/default/files/costos_de_la_energia_nuclear.pdf), acceso 17 abril 2022.

Arriols, E. (2022, 28 enero). *Ventajas y desventajas de la energía eólica*. ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-eolica-1085.html>, acceso 14 abril 2022.

Becerra, A. (2021, 13 diciembre). *¿Por qué a España le cuesta tanto ser renovable?* cadena SER [https://cadenaser.com/ser/2019/07/21/economia/1563711027\\_891402.html](https://cadenaser.com/ser/2019/07/21/economia/1563711027_891402.html), acceso 23 enero 2022.

Canva (Nº de versión 2.5). (2022). Windows. España.

Capó, Javier. "Política fiscal en economía abierta". Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca. Mayo 2019.

Colaboradores de Wikipedia. (2022, 9 marzo). *Análisis de costo-beneficio*. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis\\_de\\_costo-beneficio#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20coste%2Dbeneficio,e%20indirectamente%20de%20dicho%20proyecto](https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_costo-beneficio#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20coste%2Dbeneficio,e%20indirectamente%20de%20dicho%20proyecto), acceso 15 abril 2022.

Convenio sobre responsabilidad Civil en materia nuclear, hecho en París el 12 de febrero de 2004. Ratificado por España el 29 de julio de 2004. BOE núm. 28, de 2 de febrero de 2022.

Díaz, A. (2015, 26 enero). *Costes de centrales nucleares vs renovables eólica y fotovoltaica*. Energética futura – blog del autoconsumo energético actual y del futuro. <https://energeticafutura.com/blog/costes-de-centrales-nucleares-vs-renovables-eolica-y-fotovoltaica/>, acceso 2 abril 2022.

- E. (2019, 6 abril). *¿Es rentable un huerto solar?* MEGAFUND. <https://megafund.es/blog/2019/04/06/es-rentable-un-huerto-solar/>, acceso 27 abril 2022.
- Ecología verde. (2018, 30 septiembre). *Energía nuclear ventajas y desventajas - documental de energía nuclear* [vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=dWc6PUiRZhA>, acceso 16 enero 2022.
- Ecología Verde. (2020, 30 enero). *Energía solar Ventajas y Desventajas* [Vídeo]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=W\\_1AJV8rKU4](https://www.youtube.com/watch?v=W_1AJV8rKU4), acceso 21 abril 2022.
- Ecológica, A. (2019, 25 marzo). *Diferencia entre potencia (kW) y energía (kWh)*. Actitud ecológica. <https://actitudecologica.com/diferencia-entre-potencia-kw-y-energia-kwh/>, acceso 1 abril 2022.
- Energía y sociedad*. (2022). *Energía y Sociedad*. <https://www.energiaysociedad.es/>, acceso 4 abril.
- España - Consumo de electricidad 2021*. (2022). Datos Macro. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo/espana>, acceso 18 abril 2022.
- Estudio de la huella de carbono de la energía solar térmica*. (2019, 9 diciembre). Interempresas. <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/260544-Estudio-de-la-huella-de-carbono-energia-solar-termica.html>, acceso 6 abril 2022.
- Europa Press. (2022, 22 marzo). *España tiene reservas de uranio suficientes para cubrir la importación rusa*. europapress.es. <https://www.europapress.es/economia/noticia-espana-tiene-reservas-uranio-suficientes-cubrir-importacion-rusa-20220322105513.html>, acceso 2 abril 2022.
- Evaluación Nuclear*. (s. f.). Mercados eléctricos. [https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno11/gestionriesgo/Web\\_files/Page516.htm](https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno11/gestionriesgo/Web_files/Page516.htm), acceso 5 enero 2022.
- Excel (Nº de versión 18.0). (2020). Windows. Microsoft.
- Fabra, N. F. [Facultat d'Economia i Empresa UIB]. (2021, 14 diciembre). *Hablemos de energía* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=MnMYiUPwlt0&t=548s>, acceso 2 enero 2022.
- Fariza, I. (2022, 6 enero). *El sistema eléctrico español marca en 2021 un nuevo máximo histórico de emisiones*. El País. <https://elpais.com/economia/2022-01-06/el-sistema-electrico-espanol-marca-en-2021-un-nuevo-minimo-historico-de-emisiones.html>, acceso 21 abril 2022.
- Feced, C. G. (2021, 1 septiembre). *Por qué está subiendo tanto el precio de la luz en agosto*. Business Insider España. <https://www.businessinsider.es/subiendo-tanto-precio-luz-agosto-923729>, acceso 22 noviembre 2021.

Foro de la Industria Nuclear Española. (2007, enero). *Cuestiones sobre la energía*. Foro Nuclear. [https://www.nuclenor.org/aula/222\\_07/capitulo14.htm](https://www.nuclenor.org/aula/222_07/capitulo14.htm), acceso 27 noviembre 2021.

Fuentecilla, J. L. (2021, 19 septiembre). *NIUS diario*. NIUS. [https://www.niusdiario.es/economia/macroeconomia/nius-explica-precio-gas-afecta-recibo-luz-generacion-electricidad\\_18\\_3204870727.html#:~:text=El%20efecto%20multiplicador%20del%20gas&text=%E2%80%9CPor%20cada%20euro%20que%20sube,del%20precio%20de%20la%20luz](https://www.niusdiario.es/economia/macroeconomia/nius-explica-precio-gas-afecta-recibo-luz-generacion-electricidad_18_3204870727.html#:~:text=El%20efecto%20multiplicador%20del%20gas&text=%E2%80%9CPor%20cada%20euro%20que%20sube,del%20precio%20de%20la%20luz), acceso 11 enero 2022.

Gupo Villar Mir. (2020, 30 junio). *Paneles solares: ¿Cuántos kWh produce un panel solar?* Energía VM. <https://www.energayvm.es/paneles-solares-cuantos-kwh-produce-un-panel-solar/>, acceso 1 mayo 2022.

Guzmán, M. J. (2021, 12 marzo). *La factura «verde»: ¿Cuánto cuesta al año el alumbrado público de Sevilla?* Diario de Sevilla. [https://www.diariodesevilla.es/sevilla/factura-verde-coste-alumbrado-publico-sevilla-ahorro-renovables-led\\_0\\_1555044850.html](https://www.diariodesevilla.es/sevilla/factura-verde-coste-alumbrado-publico-sevilla-ahorro-renovables-led_0_1555044850.html), acceso 1 mayo 2022.

Heinrich Böll Stiftung cono sur. (2010, marzo). *Los Costos de la Energía Nuclear: Una Actualización* (Volumen 3). Fundación Heinrich Böll. [https://cl.boell.org/sites/default/files/costos\\_de\\_la\\_energia\\_nuclear.pdf](https://cl.boell.org/sites/default/files/costos_de_la_energia_nuclear.pdf), acceso 30 diciembre 2021.

Ignis desarrollo, S.L. (2021, marzo). Plan estratégico sobre el impacto en el empleo local y la cadena de valor industrial de una planta solar fotovoltaica de 30 MW. [https://energia.gob.es/renovables/regimen-economico/26Enero/Proyectos%20de%20inversi%C3%B3n%20fotovoltaicos%20adjudicatarios%20de%20la%20subasta/FV\\_PE27%20IGNIS%20DESARROLLO,%20S.L.%2030%20MW.pdf](https://energia.gob.es/renovables/regimen-economico/26Enero/Proyectos%20de%20inversi%C3%B3n%20fotovoltaicos%20adjudicatarios%20de%20la%20subasta/FV_PE27%20IGNIS%20DESARROLLO,%20S.L.%2030%20MW.pdf), acceso 1 mayo 2022.

INE - Instituto Nacional de Estadística. (s. f.). *INEbase / Nivel y condiciones de vida (IPC) / Índices de precios de consumo y vivienda / Índice de precios de consumo / Últimos datos*. INE. [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176802&menu=ultiDatos&idp=1254735976607](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176802&menu=ultiDatos&idp=1254735976607), acceso 21 noviembre 2021.

López, J. C. (2021, 8 mayo). *El gran debate sobre si la energía nuclear cada vez es más cara de producir: dos expertos con miradas. . .* Xataka. <https://www.xataka.com/energia/gran-debate-energia-nuclear-cada-vez-cara-producir-dos-expertos-miradas-diferentes-nos-explican>, acceso 27 febrero 2022.

Lozano, L. M. (2022, 11 marzo). *El Ayuntamiento de Zaragoza afronta la subida de las tarifas de luz y gas con un plan de ahorro de 500.000 eur*. heraldo.es. <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza/2022/03/11/el-ayuntamiento-de-zaragoza-afronta-la-subida-de-las-tarifas-de-luz-y-gas-con-un-plan-de-ahorro-de-500-000-euros-al-mes->

[1558924.html#:~:text=Para%20ver%20la%20evoluci%C3%B3n%2C%20en,alcanzando%20los%2026%2C2%20millones](#), acceso 1 mayo 2022.

M., P. (2022, 14 febrero). *La factura de la luz baja en Valencia*. Las Provincias. <https://www.lasprovincias.es/valencia-ciudad/factura-baja-valencia-20220214104649-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>, acceso 1 mayo 2022.

Mediatics. (2022, 20 enero). *Las 10 mayores instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en España*. Solideo. <https://www.solideo.es/instalaciones-fotovoltaicas-energia-solar/>, acceso 16 abril 2022.

Merino, L. (2012, 10 octubre). *Un solo aerogenerador para abastecer a 6.000 hogares*. Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/eolica/un-solo-aerogenerador-para-abastecer-a-6-20121010>, acceso 5 mayo 2022.

Ministerio de energía y minas de Perú. (2012). *Valoración económica de impactos* [Diapositivas]. Gob.pe. [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/10\\_0%20Valoraci%C3%83%C2%B3n%20econ%C3%83%C2%B3mica%20de%20impactos.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/10_0%20Valoraci%C3%83%C2%B3n%20econ%C3%83%C2%B3mica%20de%20impactos.pdf), acceso 20 abril 2022.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Centrales Nucleares en España. (s. f.). Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. <https://energia.gob.es/nuclear/Centrales/Espana/Paginas/CentralesEspana.aspx>, acceso 20 abril 2022.

Morales, F. C. (2021, 7 julio). *Ventajas y desventajas de la energía nuclear*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-nuclear.html>, acceso 31 enero 2022.

Navarro, A. (2021, 30 agosto). *Argelia corta el grifo del gas a Marruecos y exportará directamente a España* - NIUS. Nius Diario. [https://www.niusdiario.es/internacional/argelia-suspende-gas-marruecos-exportara-espana-directamente\\_18\\_3194895062.html](https://www.niusdiario.es/internacional/argelia-suspende-gas-marruecos-exportara-espana-directamente_18_3194895062.html), acceso 18 febrero 2022.

Navarro, J. (2021, 19 febrero). *Cómo calcular la viabilidad económica de una inversión. Hablemos de empresas*. <https://hablemosdeempresas.com/empresa/calculo-van-excel/>, acceso 16 abril 2022.

OMIE. (2021). *Informe anual del mercado de electricidad. Informe anual 2021*. <https://www.omie.es>, acceso 19 enero 2022.

*Part III: The Economics of Wind Power*. (s. f.). Wind energy. The facts. <https://www.wind-energy-the-facts.org/parte-iii-la-economia-de-la-energia-eolica.html#:~:text=Los%20estudios%20demuestran%20que%20el,naturaleza%20del%20sistema%20de%20explotaci%C3%B3n>, acceso 6 mayo 2022.

Patiño, M. Á. (2019, 26 enero). *Así es la jungla de las 273 eléctricas que hay en España*. EXPANSION.

<https://www.expansion.com/empresas/energia/2019/01/26/5c4b7041468aeb363e8b4588.html>, acceso 10 marzo 2022.

REData - Estructura generacion. (2022). Red Eléctrica de España. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>, acceso 13 marzo 2022.

Roca, J. A. (2021, 2 noviembre). *La energía solar y la eólica son cada vez más baratas y vapulean en costes al carbón, el gas y la nuclear*. El Periodico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-solar-y-la-eolica-son-cada-vez-mas-baratas-y-vapulean-en-costes-al-carbon-el-gas-y-la-nuclear/>, acceso 22 abril 2022.

Roca, R. (2019, 9 septiembre). *Las cuentas del apagón nuclear: subir la «tasa Enresa» a las eléctricas un 20% acabaría con el déficit del fondo para su desmantelamiento*. El Periodico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-cuentas-del-apagon-nuclear-subir-la-tasa-enresa-a-las-electricas-un-20-acabaria-con-el-deficit-del-fondo-para-su-desmantelamiento/#:%7E:text=En%20la%20actualidad%2C%20la%20tasa,MWh%20por%20la%20energ%C3%ADa%20producida>, acceso 13 abril 2022.

Sánchez, I., Pacce, M., Suárez-Varela, M., & Banco de España. (2021, agosto). *El papel del coste de los derechos de emisión de co2 y del encarecimiento del gas en la evolución reciente de los precios minoristas de la electricidad en España* (Nº 2120).

Selectra. (2021, 3 diciembre). *¿Cómo instalar placas solares y cuánto me cuesta?* <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion>, acceso 27 abril 2022.

Sevillano, E. G. (2019, 2 abril). *Tres centrales térmicas españolas, entre las 30 empresas más contaminantes de Europa*. El País. [https://elpais.com/economia/2019/04/01/actualidad/1554147363\\_689431.html](https://elpais.com/economia/2019/04/01/actualidad/1554147363_689431.html), acceso 27 abril 2022.

Soriano, D. (2022, 31 marzo). *Las cifras reales del sistema eléctrico: del 90% de horas operativas de la nuclear al 20–25% de las renovables*. Libre Mercado. <https://www.libremercado.com/2021-11-20/las-cifras-reales-del-sistema-electrico-del-90-de-horas-operativas-de-la-nuclear-al-20-25-de-las-renovables-6838979/>, acceso 27 abril 2022.

Subdirección General de Estudios y Evaluación de Instrumentos de Política Comercial. Secretaría de Estado de Comercio. (2022, marzo). *Informe mensual de comercio exterior*.

Suñé Barcelona, R. (2016, 28 marzo). *La factura de la luz del Ayuntamiento de Madrid triplica la de Barcelona*. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/vida/20160327/40703526836/factura-luz-ayuntamientos-madrid-barcelona-hacienda.html>, acceso 1 mayo 2022.

Supervisión y control. Inspecciones - CSN. (2020). Consejo de Seguridad Nuclear. <https://www.csn.es/proteccion-radiologica/supervision-y-control/inspecciones>, acceso 17 abril 2022.

- Tasa interna de retorno. (2022). En *Wikipedia*.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa\\_interna\\_de\\_retorno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno), acceso 2 mayo 2022.
- Valdecantos, S., & Grimberg, F. (2016, 2 noviembre). *El «estado del arte» de la macroeconomía* [Diapositivas]. Facultad de ciencias económicas y Sociales UNDMP. <https://eco.mdp.edu.ar/archivos/eco/CS1y2.pdf>, acceso 13 mayo 2022.
- Vélez, A. M. (2021, 24 septiembre). El Gobierno admite que «se desconoce el precio real de un megavatio de origen nuclear» en plena guerra eléctrica. *ElDiario.es*.  
[https://www.eldiario.es/economia/gobierno-admite-desconoce-precio-real-megavatio-origen-nuclear-plena-guerra-electrica\\_1\\_8332082.html](https://www.eldiario.es/economia/gobierno-admite-desconoce-precio-real-megavatio-origen-nuclear-plena-guerra-electrica_1_8332082.html), acceso 18 abril 2022.
- Villasur, S. (2022, 4 mayo). *Precio kWh energía eólica: cuál es y cómo baja | Mayo 2022*. Roams. <https://energia.roams.es/energia-renovable/energia-eolica/precio-kwh/>, acceso 6 mayo 2022.
- Viñuela, V., & Núñez, I. (s. f.). *COSTOS EÓLICA. El costo nivelado de la energía (LCOE)*. Evolución de costos ERNC.  
[https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/C\\_Eolica.html](https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/C_Eolica.html), acceso 5 mayo 2022.
- Wells. (2015). La política fiscal. En Krugman & Graddy (Eds.), *Fundamentos de Economía* (3.<sup>a</sup> ed., pp. 449–481). Editorial Reverté.