

# DESARROLLO DE UN MODELO ENERGÉTICO SOSTENIBLE



SERGIO MADRID CUEVAS

TUTOR: JAIME MARTÍN GARCÍA  
IES ARQUITECTO VENTURA RODRÍGUEZ

2021-2022

## Agradecimientos

Quiero agradecer a Jaime Martín, el tutor de este proyecto, por toda la ayuda que me ha proporcionado a la hora de llevarlo a cabo; a mis padres por intentar que sea la mejor versión de mi mismo todos los días y apoyarme incondicionalmente; a mis mejores amigos por apoyarme incluso en los momentos más duros; y a mis compañeros de clase, por ser una gran fuente de motivación por todos los esfuerzos que realizan a diario que me inspiran para seguir adelante.

# Índice

1.	Introducción .....	3
2.	¿Qué es la energía eléctrica y cómo se produce?.....	3
2.1.	Energías no renovables .....	4
2.1.1.	Energías fósiles .....	4
2.1.2.	Energía nuclear.....	5
2.2.	Energías renovables .....	7
2.2.1.	Energía solar.....	7
2.2.2.	Energía eólica.....	8
2.2.3.	Energía hidráulica .....	9
3.	El modelo energético actual.....	9
4.	Desarrollo de un nuevo modelo energético .....	11
4.1.	2030 .....	11
4.2.	2050 .....	15
4.2.1.	Modelo centrado en energías renovables .....	16
4.2.2.	Modelo mixto .....	18
5.	Conclusiones .....	21
5.1.	2030 .....	21
5.2.	2050 .....	21
5.2.1.	Modelo centrado en energías renovables .....	21
5.2.2.	Modelo mixto .....	22
5.2.3.	Conclusiones finales.....	23
5.3.	Futuras líneas de investigación.....	23
6.	Bibliografía .....	24

## 1. Introducción

Hoy en día, la energía eléctrica está tan extendida y la usamos con tal frecuencia en nuestro día a día que es difícil pensar en cómo sería nuestra vida sin ella. Aunque esto no ha sido siempre así; empezando a finales del s.XIX, la rápida urbanización del mundo industrializado resultó en la necesidad de crear una red eléctrica que suministrase energía a todas las casas y más tarde a gran parte de la industria. Esto fue una de las principales causas de la Segunda Revolución Industrial, en la que aparecieron muchos nuevos aparatos diseñados para usar la nuevamente instalada red eléctrica. La principal manera de producir esta energía era el carbón, y con el reciente descubrimiento del petróleo y el gas natural, se abrieron nuevas plantas que pudieran trabajar con ellos, aunque en menor medida. Esta supremacía de los combustibles fósiles perdura aún a día de hoy, aunque está siendo combatida por nuevos desarrollos en el sector energético y la necesidad de luchar en contra del cambio climático, que es causado principalmente por el uso de los combustibles fósiles.

Alrededor de 1940, surgió un nuevo método de generación de electricidad que usaba la energía contenida dentro del núcleo atómico, la energía nuclear, aunque siempre ha tenido una baja popularidad por su relación con las bombas atómicas, los residuos nucleares y por algunos accidentes sucedidos en ciertas centrales. Asimismo, en estas últimas décadas se ha impulsado el desarrollo de nuevas energías que no usan recursos fósiles, las energías renovables, entre las cuales se incluyen la solar, la eólica o la hidráulica, y destacan por su casi nula huella de carbono.

En este trabajo, se estudiará el modelo energético actual con el fin de encontrar la mejor manera de modificarlo para que se cumpla con los objetivos de reducir las emisiones en al menos un 40% para 2030, y de conseguir una industria eléctrica con una huella de carbono neutral para 2050.

## 2. ¿Qué es la energía eléctrica y cómo se produce?

La energía eléctrica o electricidad es definida por la Real Academia Española como la “fuerza que se manifiesta por la atracción o repulsión entre partículas cargadas, originada por la existencia de electrones y protones”. Este tipo de energía aparece cuando

hay un movimiento de electrones por un conductor, y este movimiento se denomina corriente eléctrica. Existen dos tipos de corriente:

- Corriente directa: sucede cuando fluye siempre en el mismo sentido y se da en aparatos como las pilas.
- Corriente alterna: aquella en la que el sentido fluctúa periódicamente. Este tipo de corriente es la más usada a gran escala.

Para generar electricidad se usan sistemas eléctricos que transforman otros tipos de energía en electricidad. Actualmente existen dos grupos principales de energías mediante las cuales se produce electricidad: las energías no renovables y las energías renovables.

## 2.1. Energías no renovables

Las no renovables son aquellas cuyas fuentes de energía se encuentran en cantidades limitadas en la Tierra y, adicionalmente, tardan periodos muy largos de tiempo en regenerarse. Dentro de estas encontramos otros dos grupos: las energías fósiles y la energía nuclear.

### 2.1.1. Energías fósiles

Dentro de las energías fósiles se incluyen aquellas que usan carbón, petróleo o gas natural. Se les atribuye este nombre debido a cómo se formaron estos combustibles; hace millones de años, los restos de plantas y animales muertos quedaron atrapados entre sedimentos, y tras millones de años estando sometidos a altas presiones y temperaturas, dependiendo de las condiciones, se formaron el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles son los principales causantes del cambio climático; cuando quemamos estos materiales con altos contenidos de carbono, grandes cantidades de dióxido de carbono son producidas. El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero, que significa que en la atmósfera deja entrar a la radiación solar, pero atrapa parte de la que se refleja y de la que emite el planeta Tierra. En condiciones normales esto no causa ningún problema y de hecho es la razón por la que el planeta es habitable, pero el excesivo uso de estos

combustibles ha llevado a una concentración demasiado elevada de dióxido de carbono, lo que está causando que el mundo se caliente a un ritmo alarmante.

Las centrales térmicas son aquellas instalaciones diseñadas para generar energía usando carbón, petróleo o gas natural, y llevan usándose desde finales del s. XIX. Para generar electricidad, las centrales térmicas queman el combustible en una caldera, la quema de este combustible calienta un circuito cerrado de agua, creando vapor a alta presión. Este vapor se usa para mover una turbina, la cual está conectada a un generador eléctrico. Una vez ha pasado por la turbina, el vapor es enfriado a su estado líquido en una torre de refrigeración, y vuelve a comenzar un nuevo ciclo. En los últimos años, todas las nuevas centrales térmicas han sido construidas con un sistema de ciclo combinado, el cual lo único que cambia es que se añade una turbina que aprovecha los gases que emite el combustible al quemarse, haciéndolas algo más eficientes pero no menos dañinas.

Los combustibles fósiles tienen muchas ventajas, la principal siendo que se puede regular la producción de energía para ajustarla a la demanda en cada momento, además de que estos combustibles son fáciles de transportar y almacenar. Otra ventaja es que tienen una alta densidad energética, que significa que por cada unidad de masa el combustible tiene una alta cantidad de energía. Además el coste de estos combustibles tiende a no ser alto, por lo que son económicamente eficientes.

Las desventajas de los combustibles fósiles son muy notables, la más importante es el hecho de que son los causantes del cambio climático, además de que emiten gases tóxicos a la atmósfera como óxidos de azufre. Por estas razones, lo más razonable sería dejar en desuso este tipo de combustibles para la generación de energía, pero el completo desfase de este tipo de energías es muy difícil y costoso a corto plazo debido a nuestra alta dependencia de ellas.

### 2.1.2. Energía nuclear

La energía nuclear es aquella que usa la energía dentro del núcleo de los átomos para generar electricidad. Esta energía puede ser liberada mediante dos procesos:

- La fisión: proceso mediante el cual un átomo pesado se divide en dos más ligeros. La fisión es una reacción exotérmica, que significa que genera calor. Esta división puede ser inducida o suceder naturalmente. Como se puede inducir fácilmente y se puede controlar, es el fenómeno que se usa en las centrales nucleares actuales.

El combustible usado es uranio-235. La fisión inducida del uranio sucede cuando se dispara un neutrón y un átomo lo capta, este se vuelve inestable y se descompone en otros dos átomos más ligeros y dispara más neutrones que a su vez impactan con otros átomos de uranio, generando una reacción en cadena.

- La fusión: proceso mediante el cual dos átomos ligeros se unen creando uno más pesado. Aunque se ha podido llevar a cabo en laboratorios, todavía no se ha encontrado una manera de realizarlo fiablemente a escala comercial, por lo que todavía no se usa para generar energía.

Para poder generar energía usando combustibles nucleares hacen falta centrales especializadas, las cuales tienen un funcionamiento muy específico. Las centrales nucleares más comunes son las de agua a presión, y estas dotan de tres circuitos: el primario, el secundario y el de refrigeración. El circuito primario es el que recoge el calor del reactor; el combustible se introduce en forma de varas al reactor, donde se induce una reacción de fisión. Para controlar la velocidad de la reacción, se usan unas barras de control hechas de un material que absorbe neutrones, así cuando se introducen en el reactor frenan la reacción, y viceversa. Cuando la reacción está en marcha, la descomposición del combustible genera calor, calentando el agua del circuito primario, la cual está a presión para evitar su vaporización. En ningún momento esta agua está en contacto directo con el combustible, por lo que nunca llega a contaminarse. El agua del circuito primario calienta el agua del circuito secundario en un generador de vapor. Al vaporizarse, se genera una gran presión, la cual es usada para mover unas turbinas conectadas a un generador eléctrico, al igual que en las centrales térmicas. Finalmente, el vapor del circuito secundario pasa por un condensador, que enfría el vapor devolviéndolo a su estado líquido. Este condensador hace uso del tercer circuito, el de refrigeración.

La principal ventaja de esta energía es que durante la producción no se generan gases de efecto invernadero, lo que la sitúa como una buena opción para combatir el cambio climático. Adicionalmente, el combustible que usa es fácilmente almacenable y transportable, así como se puede regular en cierta medida el nivel de producción para ajustarlo a las necesidades en cada momento.

Esta energía también presenta una batería de desventajas, la más importante siendo sus residuos. Las reacciones de fisión llevadas a cabo en las centrales nucleares dejan como residuo materiales muy radioactivos como el plutonio, los cuales los son

durante miles de años, por lo que tienen que ser almacenados en instalaciones especializadas.

## 2.2. Energías renovables

Las energías renovables son aquellas las cuales generan electricidad usando fuentes de energía que son inagotables y, por ende, pueden ser explotadas indefinidamente. Las tres energías renovables más extendidas son la solar, la eólica y la hidráulica.

### 2.2.1. Energía solar

La energía solar es aquella que usa la radiación solar para generar electricidad. Dependiendo del método que se use para obtener esta energía, se distinguen dos tipos: energía solar térmica y energía solar fotovoltaica.

- La energía solar térmica usa la radiación solar para generar calor. Las centrales solares térmicas funcionan haciendo uso de un campo lleno de espejos o lentes que concentran los rayos del sol a una torre. Esta torre se calienta a temperaturas que rondan los cientos de grados centígrados, y se encargan de calentar un circuito de agua cerrado, en el cual se forma vapor a alta presión, el cual hace girar una turbina conectada a un generador eléctrico. Ese vapor luego es devuelto a su estado líquido en un condensador.
- La energía solar fotovoltaica convierte directamente la radiación solar en electricidad. Esto sucede gracias a la propiedad fotovoltaica de algunos materiales y al efecto fotoeléctrico (al estar sometidos a radiación solar se liberan electrones, creando un flujo de energía eléctrica), como el silicio, el principal material de las células fotovoltaicas. Los paneles solares están compuestos de células dispuestas de una determinada manera, y dependiendo del tipo de células que se usen se distinguen dos tipos de paneles:
  - Policristalinos: cuando las células están compuestas de pequeños cristales del material con propiedades fotovoltaicas. Son más baratos de producir, pero menos eficientes.



- Monocristalinos: las células son un único cristal de silicio. Son más eficientes, pero más caros y pesados.

Este tipo de energía tiene muchas ventajas. Para empezar, es una energía renovable y limpia, por lo que mientras produce energía no genera gases de efecto invernadero. También es una energía que se puede instalar en techos de casas y edificios, por lo que se pueden aprovechar espacios inutilizados. Para concluir, los paneles tienen una vida media de entre 25 y 20 años, además de que pueden ser reciclados.

Las mayores desventajas son que no es una energía fiable, ya que su eficiencia depende de cuánto brilla el sol y de que sea o no de noche, además de que necesita mucho espacio.

### 2.2.2. Energía eólica

La energía eólica es aquella que se aprovecha del viento para generar electricidad. Para ello se usan aerogeneradores, los cuales son molinos situados en altura conectados a un generador eléctrico, que al girar gracias al viento genera electricidad. Los aerogeneradores pueden ser instalados en granjas eólicas en tierra firme o en el mar, donde el viento tiende a soplar más fuerte.

La energía eólica tiene muchas ventajas, la más notable siendo que es una energía renovable. Es una energía limpia, ya que no produce gases de efecto invernadero al generar energía y se puede instalar en localizaciones donde no se puede suministrar energía de la red primaria, al igual que la solar. Además, se pueden aprovechar espacios inutilizados para instalar este tipo de energía, o incluso en campos de cultivo.

También tiene grandes desventajas. La más importante es que al depender de fenómenos ambientales no puede producir en todo momento, por lo que no puede ser utilizada como método de producción de energía principal. Otra desventaja es que dependiendo de dónde sean instalados los aerogeneradores pueden afectar a las aves migratorias. Para finalizar, aunque la eólica sea una energía limpia, las granjas eólicas requieren de una cantidad de espacio inmensa, pero como se pueden instalar en espacios sin uso o en el mar, no es tan relevante.

### 2.2.3. Energía hidráulica

Aquella que aprovecha la energía cinética y potencial de corrientes y reservas de agua. Este tipo de energía lleva explotándose desde hace miles de años mediante el uso de molinos en ríos.

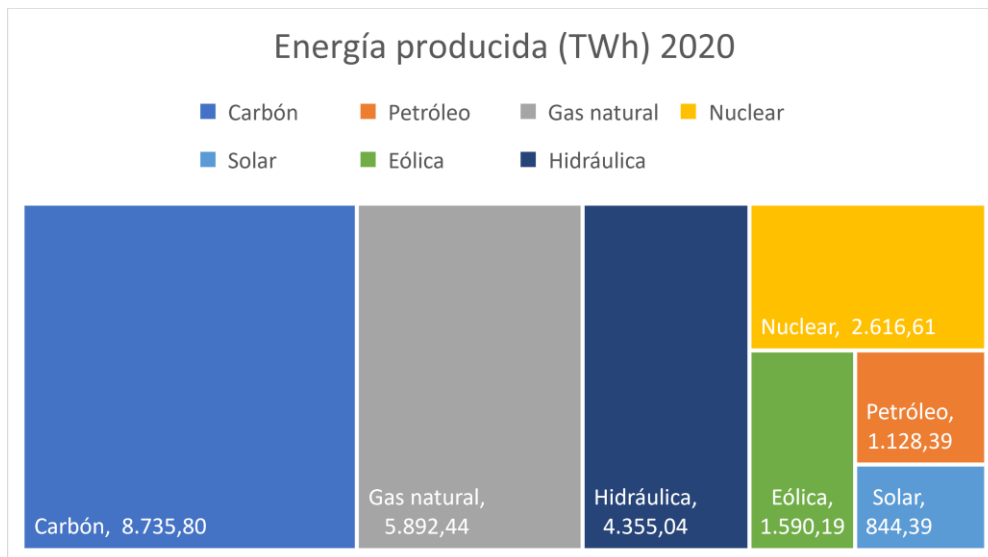
Hoy en día para la producción de esta energía se usan presas, que son grandes barreras de hormigón diseñadas para crear grandes embalses de agua artificiales. Para producir energía, las presas abren unas compuertas que dejan pasar agua a alta velocidad, y esta mueve unas turbinas conectadas a generadores eléctricos.

Las ventajas de esta energía es que es casi inagotable y puede ser regulada para ajustarse a la demanda energética, además de que es limpia ya que no produce gases de efecto invernadero durante la producción.

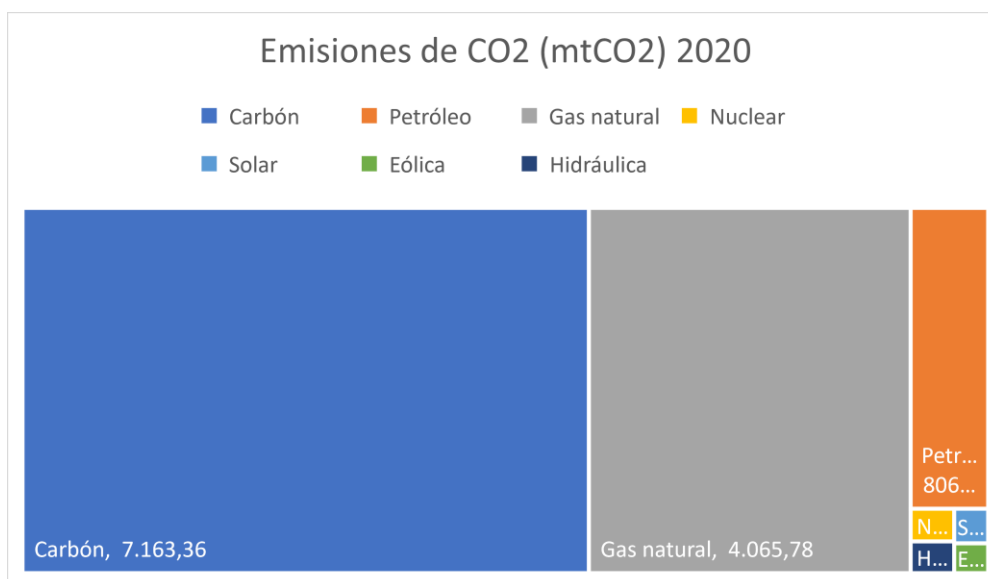
Las desventajas por el otro lado son inmensas; la necesidad de construir embalses para producir esta energía la hace una de las más destructivas, necesitando unas cantidades inmensas de espacio, y este espacio requerido es destruido completamente, ya que queda completamente sumergido bajo agua.

## 3. El modelo energético actual

El modelo energético actual está presidido por las energías fósiles. De los 25.000 TWh producidos aproximadamente en 2020, el 60,92% se consiguieron haciendo uso de energías fósiles (BP, 2020). La siguiente gráfica muestra la electricidad producida por cada energía en 2020:



Como se puede observar, las energías no renovables aún generan gran parte de toda nuestra electricidad. El problema de esto es que estas mismas son además las más contaminantes, produciendo ellas solas el 99% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de toda la industria eléctrica (Turconi, 2014). El siguiente gráfico muestra las emisiones por energía:



La industria eléctrica produce alrededor de un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> globales (Fischedick & Roy, 2014), por lo que la reducción de estas mismas es crucial para combatir el cambio climático.

El año 2020, la Unión Europe introdujo una nueva legislación con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 40% respecto a las de 1990 (que fue aumentado al 55% en 2021) y conseguir una industria eléctrica con huella de carbono neutra para 2050

(European Commission, 2021). Aunque esta legislación solo debe ser cumplida en la Unión Europea, una gran parte del resto de regiones tienen o están votando legislaciones parecidas. El objetivo de este trabajo es hallar si estos objetivos son posibles y la mejor manera de conseguirlos mediante el diseño de un modelo energético que se ajuste a estos objetivos y que sea, al mismo tiempo, viable y alcanzable.

## 4. Desarrollo de un nuevo modelo energético

### 4.1. 2030

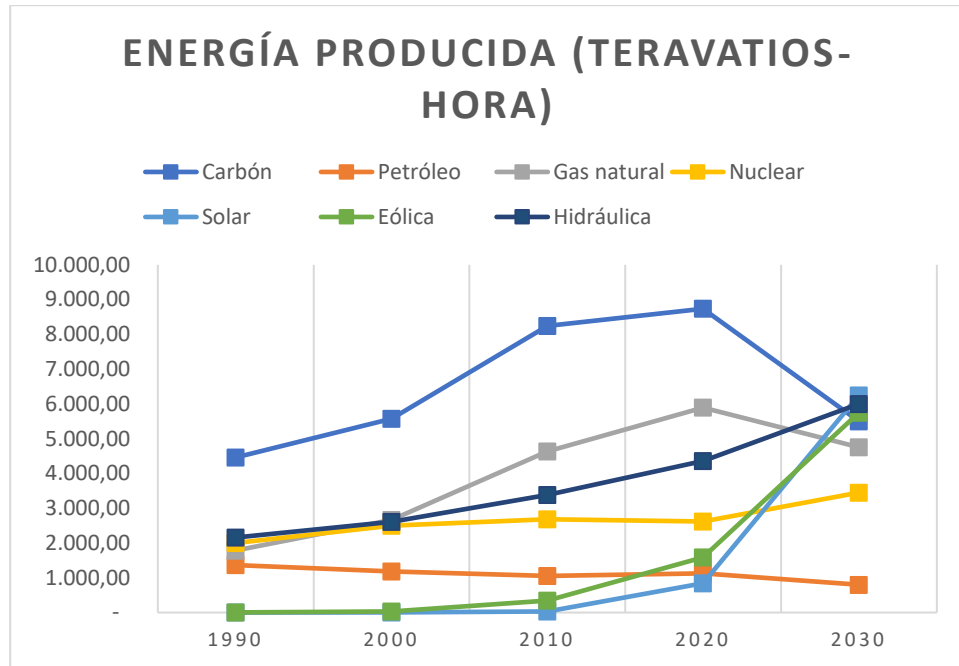
De aquí a 2030 el sector energético va a cambiar drásticamente para ajustarse a los objetivos propuestos al mismo tiempo que aumenta su capacidad energética. Se estima que para 2030 la producción energética tendrá que pasar de producir unos 26.000 TWh al año, a mínimo unos 32.500 TWh. Con cómo es el modelo actual, lo normal sería suplir este incremento en la demanda usando energías como el carbón o el gas natural, que son fácilmente implementadas, pero con los objetivos de reducir emisiones y aumentar el uso de las renovables esto simplemente no es una opción.

El primer objetivo para 2030 es reducir las emisiones de la industria energética en al menos un 55% respecto a las de 1990 (5.926,76 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (BP, 2020)). Esto es simplemente imposible, ya que haría falta en 10 años cerrar alrededor del 90% de las centrales de carbón, el 10% de las centrales de petróleo y el 85% de las centrales de gas natural, además de sextuplicar el número de paneles solares ya instalados, quintuplicar el número de campos eólicos, duplicar el número de centrales nucleares y triplicar el número de centrales hidráulicas. A lo mejor a lo que se puede aspirar es a llegar al menos al 60% de la producción eléctrica haciendo uso de energías renovables, ya que en una década no da tiempo a realizar cambios tan extremos.

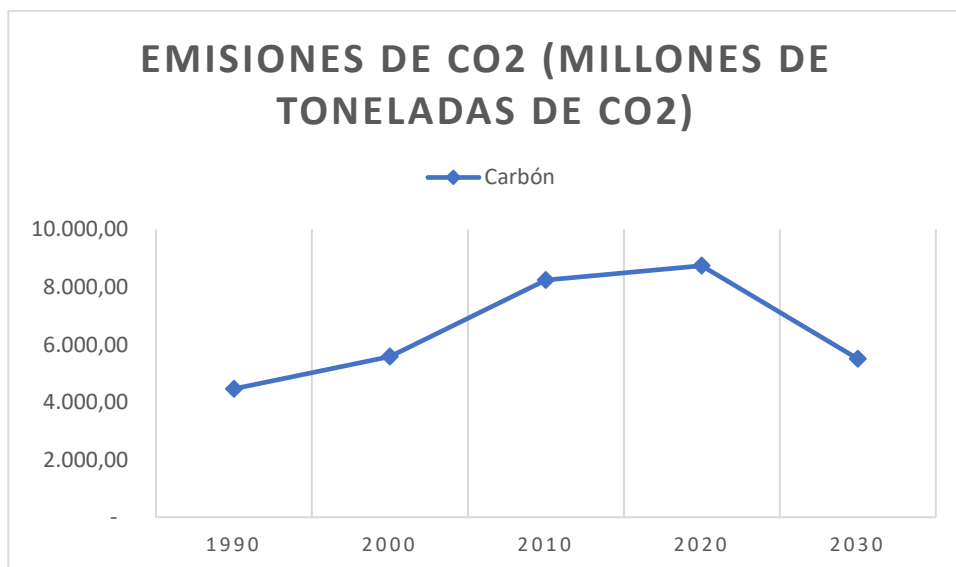
Cada 10 años la demanda eléctrica aumenta aproximadamente en un 25-30%, por lo que podemos estimar que en 2030 la demanda energética rondará los 32.500 TWh. Para complacer, en su máxima medida posible, con los objetivos esta demanda deberá ser suplida en su gran mayoría por energías renovables. Teniendo en cuenta las tendencias que están tomando las renovables, se sabe que las dos que más van a crecer son la solar y la eólica, seguidas por la hidráulica.

En cuanto a las energías fósiles, muchos países ya no aprueban la construcción de nuevas plantas de carbón, y la tendencia general es que se cierren un número más grande

de las que se abren, por lo que la producción haciendo uso de este combustible decrecerá en gran medida. Algo similar pasará con el gas natural, aunque en menor medida, y el petróleo ya lleva varias décadas perdiendo fuelle en esta industria. El siguiente gráfico muestra la generación de cada energía de 1990 a 2020 y la mejor apuesta para 2030 según los cálculos realizados:

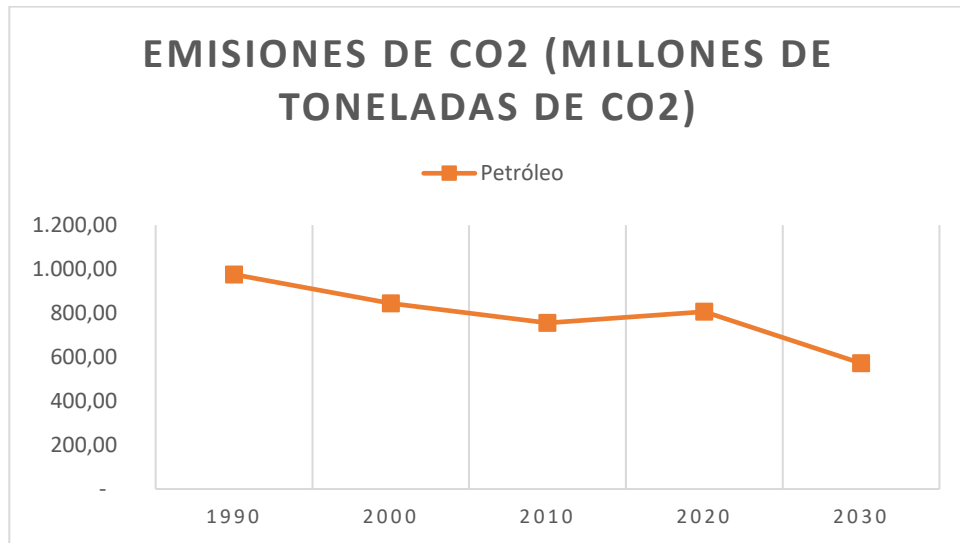


En primer lugar, la capacidad de producción del carbón decrecería en alrededor de 3.000 TWh, de 8.735,80 TWh a unos 5.500 TWh, lo que reduciría las emisiones provenientes de este combustible en un 37%. La siguiente gráfica muestra las emisiones provenientes del de 1990 a 2030 según el modelo propuesto:

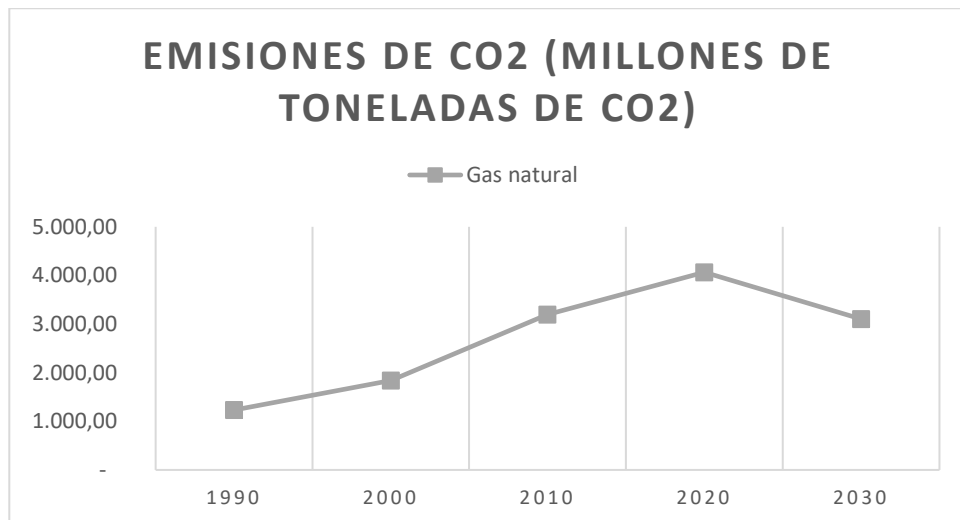


En segundo lugar, el petróleo pasaría de producir 1.128,39 TWh a unos 800 TWh, una reducción de 300 TWh aproximadamente. Las emisiones del petróleo se verían

reducidas en alrededor de un 29%. La siguiente gráfica muestra las emisiones del petróleo de 1990 a 2030 según este modelo:



En tercer lugar, la producción de energía haciendo uso del gas natural caería de 5.892,44 TWh a unos 4.500 TWh, una caída de casi 1500 TWh. Las emisiones se reducirían en un 24% aproximadamente. El siguiente gráfico muestra las emisiones por parte del gas natural de 1990 a 2050 siguiendo este modelo:



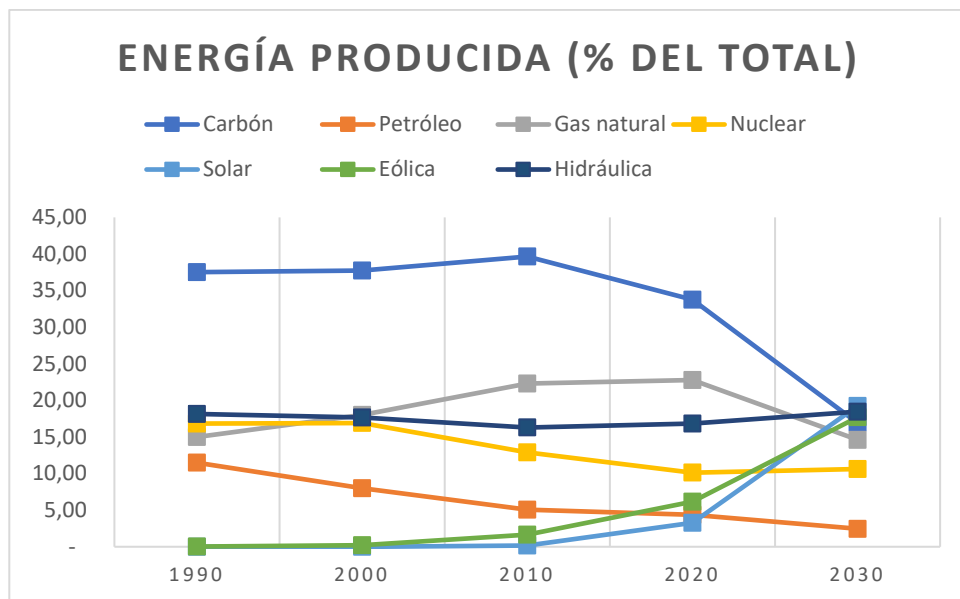
En cuarto lugar, la energía nuclear aumentaría bastante poco, pasando de producir 2.616,61 TWh a unos 3.450 TWh. Las emisiones ya son casi negligentes y no sufrirían una alteración notable.

En quinto lugar, la capacidad de energía solar aumentaría muy rápidamente, creciendo de 844,39 TWh a unos 6.250 TWh. Al igual que la nuclear, las emisiones de CO2 apenas se verían afectadas.

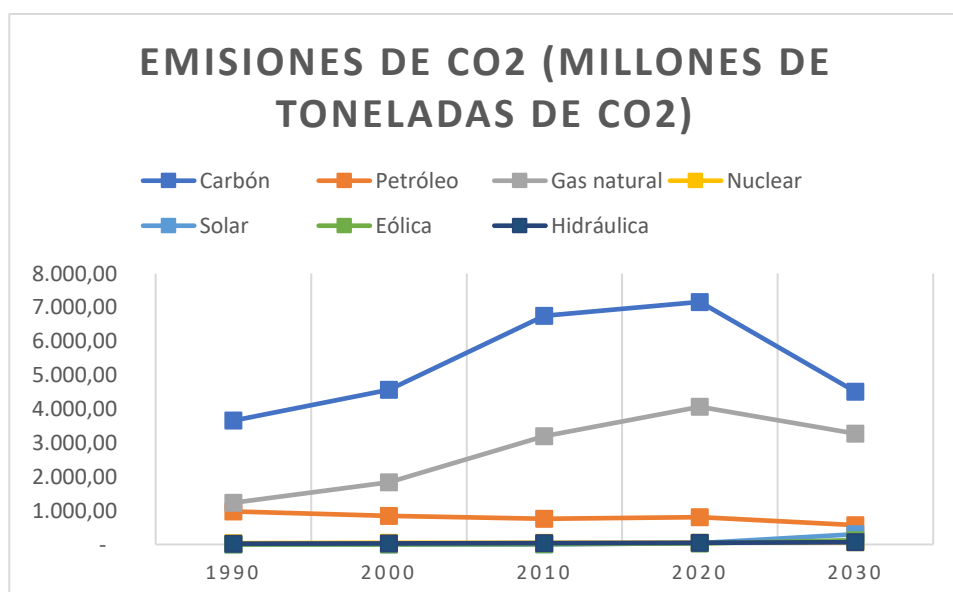
En sexto lugar, la eólica experimentaría un crecimiento de 1590,19 TWh a unos 5.750 TWh. Las emisiones serían negligentes pero haría falta la construcción de muchos campos eólicos en el mar y en tierra firme.

Finalmente, la energía hidráulica aumentaría su producción de 4.355,04 TWh a unos 6000 TWh.

Porcentualmente las energías renovables pasarían de generar menos del 40% de la energía total, a el 66%. La siguiente gráfica muestra el porcentaje de la electricidad total generada por cada energía de 1990 a 2030 siguiendo el modelo propuesto:



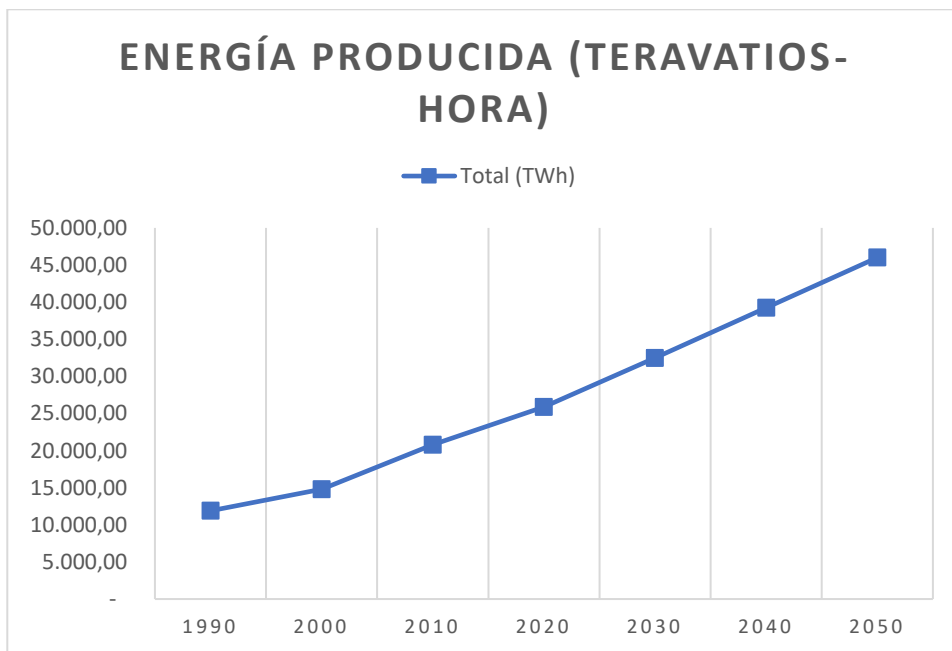
Y las emisiones totales del modelo serían disminuidas de 12.209,5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, a aproximadamente 8.900 millones. Esto significaría una reducción efectiva del 27% respecto a 2020. El siguiente gráfico muestra las emisiones provenientes de cada energía de 1990 a 2030 siguiendo el modelo propuesto:



Aunque esta reducción es mucho menor que la que se exige, es la mejor a la que podemos aspirar para 2030 debido a las limitaciones de tiempo.

#### 4.2.2050

Para 2050 el objetivo principal es conseguir un sector eléctrico con una huella de carbono neutral, y para ello hace falta reducir las emisiones actuales de CO2 en al menos un 75% respecto a las de 2020 al mismo tiempo que se supe la creciente demanda de electricidad. Si se sigue la misma tendencia que en las últimas décadas se estima que para 2050, se necesitará al menos una capacidad eléctrica de alrededor de 46.000TWh:

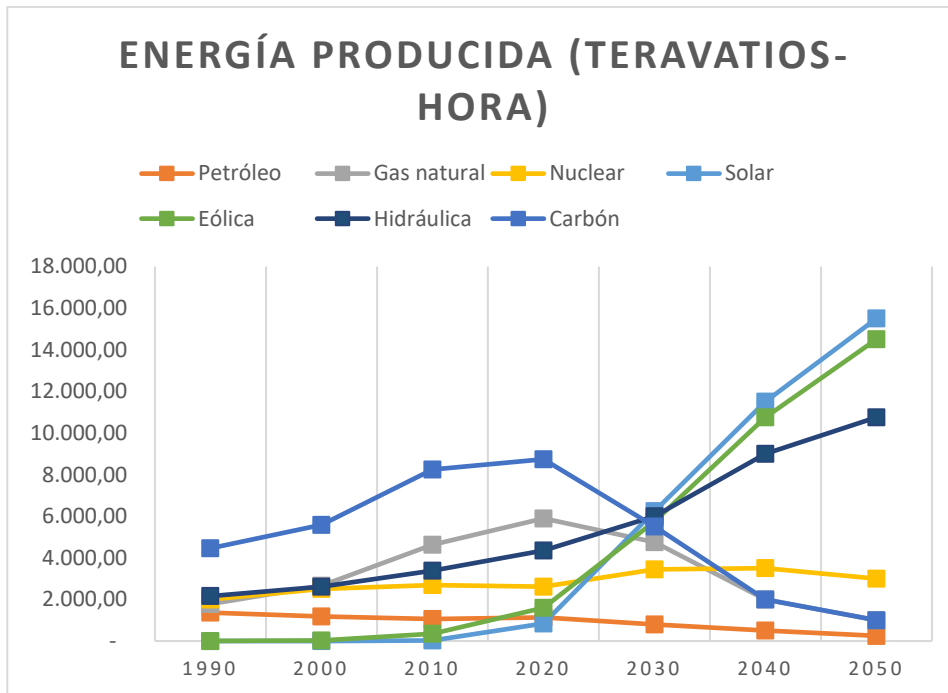


Actualmente hay dos grupos de energías principales con huellas de carbono muy pequeñas: las renovables (solar, eólica, etc.) y la nuclear. Para esta parte del proyecto se compararán dos posibles modelos energéticos creados de cero que cumplen con la reducción de emisiones propuesta para 2050, con el fin de determinar cuál es el más efectivo en la búsqueda de una industria eléctrica limpia: uno en el que hay una supremacía por parte de las renovables, y otro en el que conviven con la nuclear.



#### 4.2.1. Modelo centrado en energías renovables

El primer modelo consiste en la supremacía total de las energías renovables, con cantidades muy pequeñas de nuclear. El siguiente gráfico muestra la energía producida por fuente de energía de 1990 a 2050 siguiendo ese modelo:



Para conseguir este modelo, en las próximas tres décadas habrá que aumentar rápidamente la cantidad de energía eólica y solar, además de dejar de usar las contaminantes, como el carbón o el gas natural. En este modelo el papel de la energía nuclear es secundario, ya que solo genera alrededor del 6,5% de la energía total, y supliendo más o menos un 33% la solar, un 32% la eólica y un 23% la hidráulica, el 88% de la producción total aproximadamente. Adicionalmente, la capacidad eléctrica de las energías no renovables caería en un 85,7%.

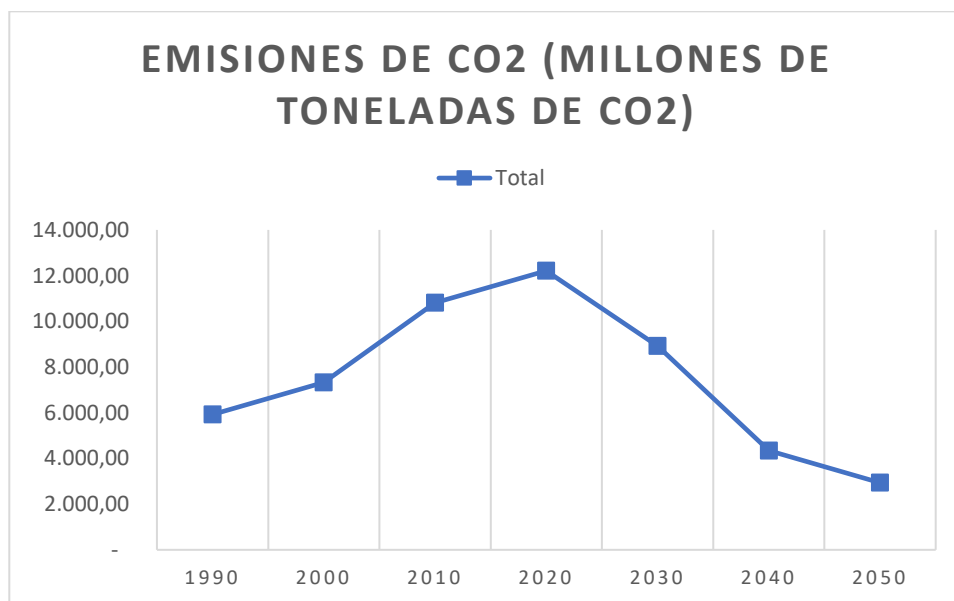
La producción mediante energía solar aumentaría de 845TWh en 2020 a aproximadamente 15.500 en 2050, un incremento del 1734%. Para llegar a esta cifra cada década se deberían instalar alrededor de 4.900TWh de capacidad.

La energía eólica pasaría de producir 1.590TWh en 2020 a más o menos 14.500TWh en 2050, un aumento del 812%. Cada década se necesitaría la instalación de unos 4.300TWh de capacidad para alcanzar esa cifra.

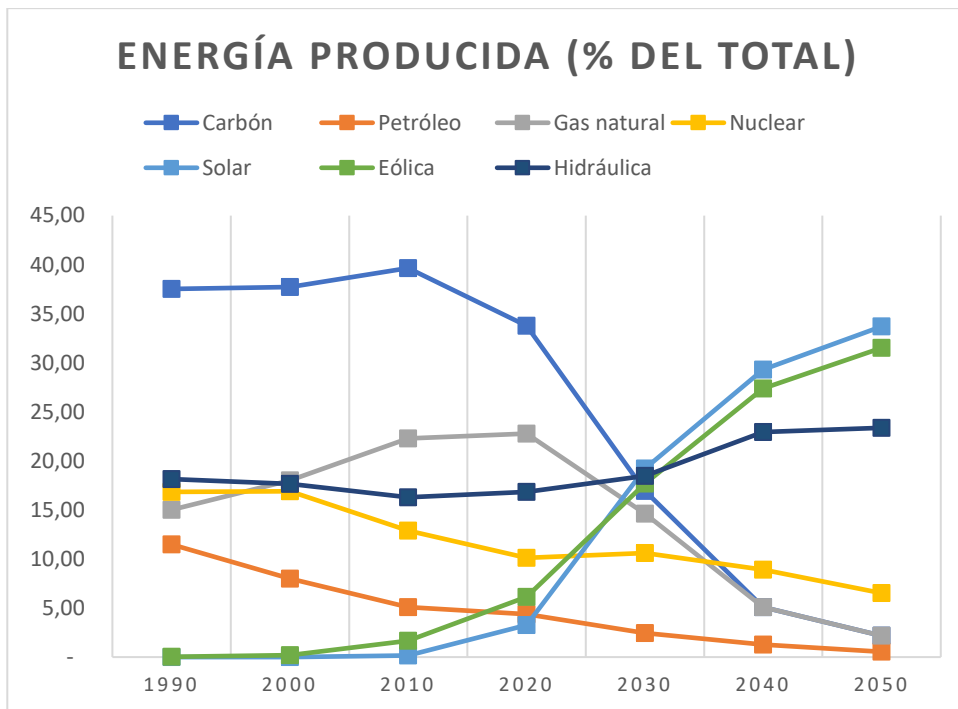
La energía hidráulica es la que menos aumentará de las tres, pasando de producir 4.355TWh en 2020 a aproximadamente 10.750TWh en 2050, un incremento del 147%. Con un ligero aumento en la creación de nuevas centrales hidroeléctricas llegaríamos a esa cifra sin ningún problema.

En este escenario la gran perjudicada (aparte de las energías fósiles) sería la energía nuclear, cuya capacidad se mantendría efectivamente igual a la de hoy en día.

En este escenario las emisiones caerían en un 76% aproximadamente, pasando de unas 12.200 millones de tCO<sub>2</sub> en 2020 a alrededor de 2.900 en 2050, lo cual llevaría a un sector eléctrico limpio. La siguiente gráfica muestra las emisiones globales de 1990 a 2050 siguiendo este modelo:

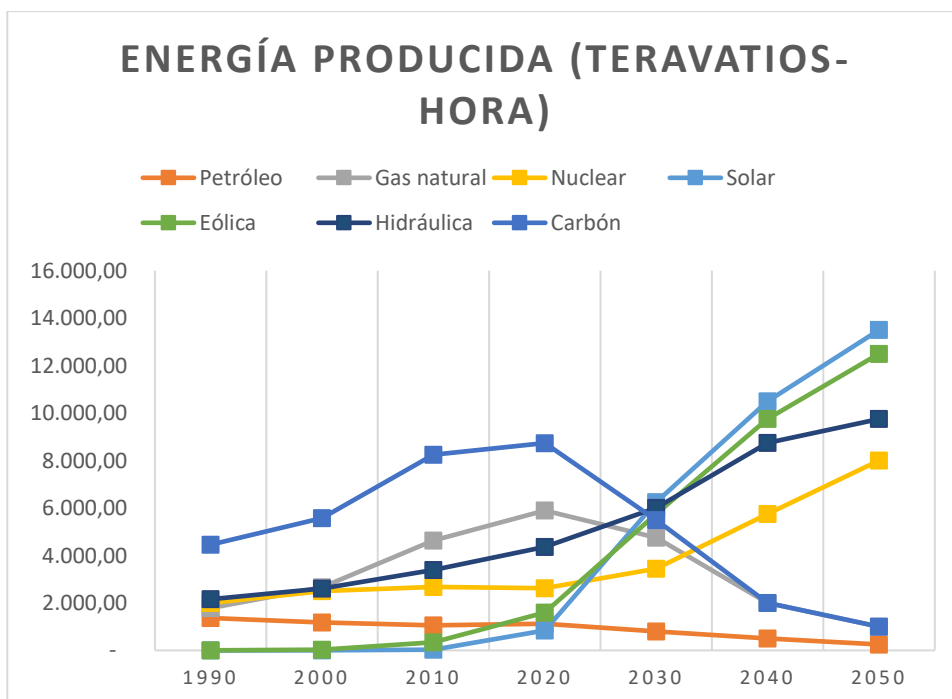


Las energías renovables pasarían de producir menos del 40% de la electricidad total al 88,5% en 2050. La siguiente gráfica muestra el porcentaje de la electricidad total generada por cada energía de 1990 a 2050 siguiendo este modelo:



#### 4.2.2. Modelo mixto

El segundo modelo se basa en un uso conjunto de renovables y nuclear en vez de principalmente renovables. El siguiente gráfico muestra la evolución de la capacidad productiva de cada energía de 1990 a 2050 siguiendo el modelo propuesto:



Al igual que el primero, este modelo incluye un rápido crecimiento de las energías renovables, y a diferencia de este, también el de la nuclear. Si se cumple este modelo, de toda la electricidad producida la nuclear generaría el 17,4%, la solar el 29%, la eólica el 27% y la hidráulica el 21%, en total las renovables generando en torno al 78% de la electricidad total. Al igual que en el primer modelo, la capacidad eléctrica de las no renovables caería en un 85,7%.

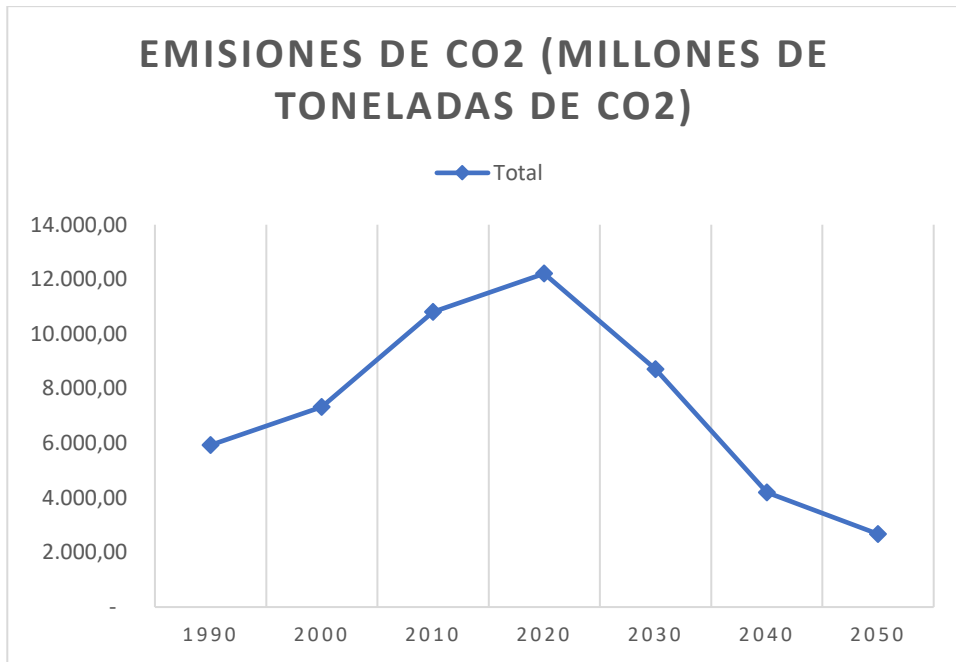
El aumento de la producción usando energía solar sería del 1.498%, pasando de unos 845TWh en 2020 a alrededor de 13.500TWh en 2050. Esto supondría la necesidad de instalar casi 4.200TWh de capacidad de energía solar por década.

En cuanto a la eólica, supondría un aumento del 686% respecto a la capacidad de generación actual, incrementando de los actuales 1.590TWh a unos 12.500TWh en 2050. Se necesitaría instalar alrededor de 3.600TWh de capacidad cada década.

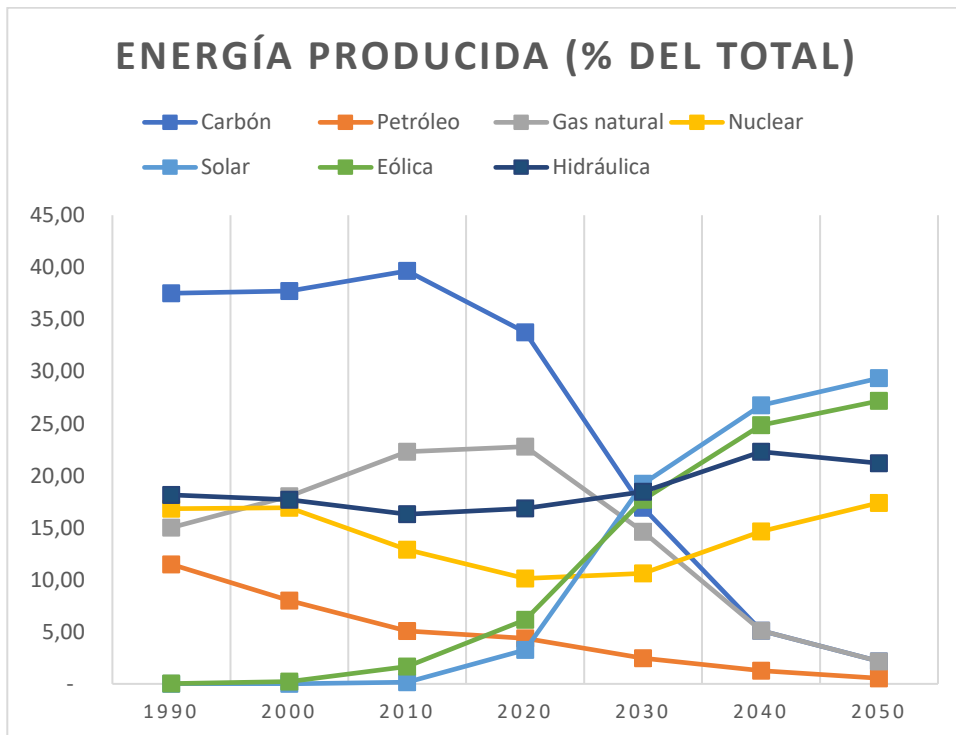
La hidráulica aumentaría en un 124% aproximadamente, pasando de producir en 2020 4.355TWh a 9.750TWh en 2050, lo que significaría que siguiendo las tendencias actuales no habría que aumentar sustancialmente cómo de rápido se instala más capacidad de esta energía.

La gran diferencia con el primer modelo es el uso de la energía nuclear en conjunto con la renovable, resultando en el incremento del 205% de la capacidad productiva de esta, pasando de 2.620TWh en 2020 a alrededor de 8.000TWh en 2050, lo que supondría la necesidad de instalar un poco más de 1.800TWh de capacidad cada década.

Las emisiones de este modelo resultarían casi iguales que las del primero, solo habiendo una diferencia del 2,5%. La siguiente gráfica muestra las emisiones totales desde 1990 a 2050 según este modelo:



Las energías renovables pasarían de producir menos del 40% a alrededor del 78%, y la nuclear pasaría del 10,6% al 17,4%. La siguiente gráfica muestra el porcentaje de la electricidad total generada por cada energía de 1990 a 2050 según este modelo:



## 5. Conclusiones

### 5.1. 2030

Como mostraban los datos, el mejor modelo al que podemos aspirar de cara al 2030 es uno que ni se acerca a los objetivos propuestos debido al poco tiempo que queda y nuestra todavía alta dependencia en las energías no renovables. Aún así, el modelo al que podemos aspirar muestra que sí es posible empezar el cambio hacia una industria limpia, así que 2030 debe marcar el principio del cambio hacia una industria eléctrica sostenible allanando el camino y facilitando el llegar a una industria completamente neutra para 2050.

### 5.2. 2050

Para 2050, se han diseñado dos modelos energéticos viables que cumplen con el objetivo de conseguir una industria limpia para este mismo año. Si solo nos fijásemos en las emisiones de CO<sub>2</sub> de cada modelo, podríamos llegar a creer que ambos son igualmente buenos, pero la verdad es algo más complicada. Cada uno de estos dos modelos tiene una batería de ventajas y de desventajas que convierte a uno de ellos en superior. En esta sección se expondrán las ventajas y desventajas que presentarían los modelos diseñados y se hará una comparación para hallar el mejor entre ambos.

#### 5.2.1. Modelo centrado en energías renovables

Debido a que este modelo usa casi exclusivamente las energías, sus ventajas son muy similares con estas mismas. Para empezar, una vez ya instalada toda la capacidad eléctrica, las emisiones que se generarían derivadas del proceso de producción serían nulas. Adicionalmente, la alta capacidad de energía solar significaría que gran parte de las ciudades y suburbios serían aprovechados para ser llenados de placas solares que generarían electricidad evitando así la creación de algunos campos solares.

El elevado uso de la eólica y la solar también permitiría llevar electricidad a lugares remotos en los cuales no hay acceso a la red primaria y evitaría la necesidad de crear largas y costosas redes de alta tensión a estos lugares.

Al igual que las ventajas, las desventajas son muy parecidas a las de las propias energías renovables. La principal carencia de este modelo es que al estar suplido principalmente por las energías solar y eólica, no siempre se podría garantizar el rendimiento máximo de ellas, causando valles en la producción. Estos valles se podrían solucionar creando grandes granjas de baterías que almacenasen la electricidad que sobra, pero esto crearía muchos nuevos problemas que no serán discutidos debido a que se salen de los límites de esta investigación.

### 5.2.2. Modelo mixto

En este modelo el uso de energía nuclear en tal medida está diseñado para combatir la principal desventaja del modelo anterior, la poca fiabilidad de las energías renovables. Evidentemente, esto trae consigo otra serie de desventajas.

Las principales ventajas de este modelo son muy similares a las del otro, la principal siendo que una vez instalada toda la capacidad, las emisiones son nulas. La solar permitiría el aprovechamiento de espacios urbanos y la eólica (en conjunto con la solar) la introducción de la electricidad a regiones aisladas. Pero más importante es que el hecho de tener una alta capacidad de energía nuclear permitiría que en momentos en los cuales las renovables no pueden generar a su máximo rendimiento, esta falta se supliera con nuclear, que aunque en menor medida que las fósiles, sí puede ser regulada para adaptarse a las necesidades en cada momento.

Las desventajas provenientes de la alta capacidad de renovables son casi completamente resueltas por la nuclear, pero esta trae otros problemas, el principal siendo los residuos. Incrementar la capacidad de esta energía significaría aumentar en gran medida los residuos nucleares que produce. Ahora bien, nuevos reactores que están siendo diseñados tienen sistemas que reciclan parte de estos residuos, lo que aumentaría su eficiencia, y los desarrollos en la energía nuclear de fisión, que produciría una cantidad muy inferior de residuos, resultan prometedores, pero como con las granjas de baterías, se escapan de las líneas de esta investigación.

### 5.2.3. Conclusiones finales

Como ya ha sido mencionado anteriormente, solo mirando a las emisiones de CO<sub>2</sub> cualquiera de estos modelos vendría bien, pero teniendo en cuenta los pros y contras de ambos modelos, el mejor es el mixto. Que el primer modelo no pueda ser 100% fiable en todo momento simplemente lo hace indeseable e impráctico, y aunque el segundo modelo venga de la mano de un incremento en los residuos nucleares, estos pueden ser tratados y almacenados muy seguramente durante miles de años (Corkhill & Hyatt, 2018). Teniendo en cuenta todos estos factores, la implementación de las renovables de la mano de la nuclear para combatir su principal desventaja es nuestra mejor apuesta para una industria eléctrica limpia y fiable.

### 5.3. Futuras líneas de investigación

Una vez estos resultados ya han sido expuestos, queda explorar cómo los nuevos avances en tecnologías energéticas (desarrollo de granjas de baterías, nuevos diseños de reactores nucleares, energía nuclear de fusión, etc.) van a afectar a la industria eléctrica y si estos avances pueden alterar la viabilidad y deseabilidad del modelo propuesto.



## 6. Bibliografía

- Acciona. (2020). *La importancia de las energías renovables*. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>
- Acciona. (2021). *¿Qué beneficios tiene la energía solar?* Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>
- BBVA. (2021). *¿Qué tipos de energías renovables existen?* Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/>
- BP. (2020). *Statistical Review of World Energy*. Obtenido de <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Corkhill, C., & Hyatt, N. (2018). *Nuclear Waste Management*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/chapter/978-0-7503-1638-5/bk978-0-7503-1638-5ch1.pdf>
- Endesa. (2021). *Historia de la electricidad*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/historia-de-la-electricidad>
- European Commission. (2021). *Progress made in cutting emissions*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/progress-made-cutting-emissions\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/progress-made-cutting-emissions_en)
- Fischedick, M., & Roy, J. (2014). *Industry*. Obtenido de IPCC: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter10.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter10.pdf)
- Foro Nuclear. (2020). *¿Cómo funciona una central nuclear?* Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/como-funciona-una-central-nuclear/>
- Foro Nuclear. (2020). *¿Qué es la electricidad?* Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-electricidad/>

- Foro Nuclear. (2020). *¿Qué es la energía nuclear?* Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear/>
- Iberdrola. (2021). *¿Qué es la energía eólica?* Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>
- Instituto Catalán de Energía. (2021). *¿Qué es la electricidad?* Obtenido de [http://icaen.gencat.cat/es/energia/formes/electricitat/que\\_es/](http://icaen.gencat.cat/es/energia/formes/electricitat/que_es/)
- Jones, D. (2021). *Global Electricity Review*. Obtenido de Ember: <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2021/03/Global-Electricity-Review-2021-translation-spanish.pdf>
- NREL. (2021). *Life cycle assessment harmonization*. Obtenido de <https://www.nrel.gov/analysis/life-cycle-assessment.html>
- Nuclear, Foro. (2020). *¿Qué es la energía hidráulica y cómo se aprovecha?* Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia-hidraulica-y-como-se-aprovecha/>
- Nunez, C. (2019). *What is nuclear energy and is it a viable resource?* Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/nuclear-energy>
- Portillo, G. (2021). *¿Qué es la energía solar?* Obtenido de Renovables Verdes: <https://www.renovablesverdes.com/que-es-la-energia-solar/>
- Real Academia Española. (2021). *Electricidad: Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/electricidad?m=form>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). *Electricity Mix*. Obtenido de Our World in Data: <https://ourworldindata.org/electricity-mix>
- Turconi, R. (2014). *Life Cycle Assessment of Electricity Systems*. Obtenido de DTU: [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/89362197/Roberto\\_Turconi\\_PhD\\_Thesis\\_WWW\\_Version.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/89362197/Roberto_Turconi_PhD_Thesis_WWW_Version.pdf)