



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO DEL MERCADO ENERGÉTICO
FOTOVOLTAICO MUNDIAL, ESTIMACIÓN DEL
NÚMERO DE GWs A INSTALAR Y NÚMERO DE
NUEVAS PLANTAS EN ESTADOS UNIDOS HASTA
2028**

Diego Manuel de la Torre Eguilior

Director: David Hernández García

Coordinadora:

Madrid

2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:

ESTUDIO DEL MERCADO ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO MUNDIAL, ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE
GWs A INSTALAR Y NÚMERO DE NUEVAS PLANTAS EN ESTADOS UNIDOS HASTA 2028

en la ETS de Administración y Dirección de Empresas - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas
en el

curso académico 2023 / 2024 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Diego Manuel de la Torre Eguilior

Fecha: 1 / 12 / 2023

Autorizada la entrega del proyecto

Fdo.: David Hernández García

Fecha: 1 / 12 / 2023

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Diego Manuel de la Torre Eguilior DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Análisis de las Licencias Cruzadas de Patentes bajo una perspectiva de la Teoría de Juegos, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 1 de Diciembre de 2023

ACEPTA



Fdo Diego Manuel de la Torre Eguilior

Estudio del Mercado Energético Fotovoltaico Mundial, estimación del número de GWs a instalar y número de nuevas plantas en Estados Unidos hasta 2028

Autor: de la Torre Eguilior, Diego Manuel

Director: Hernández García, David.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

Resumen del Proyecto

El principal objetivo del Proyecto es realizar un estudio del mercado fotovoltaico a nivel mundial, estudiando la situación histórica global a nivel energético, los distintos Acuerdos Internacionales realizados y las metas propuestas a futuro, así como un análisis de la situación energética actual y sus tendencias y objetivos futuros. Además, se expondrán, por regiones, las cuales son: Estados Unidos, Unión Europea, Asia & Pacífico, Latinoamérica y Oriente Medio & Norte de África, las estimaciones del aumento de la capacidad fotovoltaica realizadas por dos instituciones de prestigio (IEA y EIA). Estas estimaciones, junto con el análisis energético previo, nos servirán de guía y de base para determinar las variables de nuestro modelo estadístico, con el que poder estimar nosotros mismos los GWs a instalar de energía fotovoltaica en Estados Unidos hasta 2028. Tras ello, analizaremos la tendencia histórica de la capacidad de las plantas fotovoltaicas en EE. UU., con la que poder estimar el número de plantas fotovoltaicas que se harán cargo de este aumento de capacidad. Por último, se analizarán los resultados y se asentarán las bases para posibles estudios futuros, en los que se incluye la estimación de los GWs y número de plantas fotovoltaicas hasta 2028 a nivel mundial.

Palabras clave: Fotovoltaica, estimaciones de aumento de capacidad, número de plantas fotovoltaicas, estimaciones hasta 2028, modelo de estimación, Estados Unidos, LCOE, GW, CO₂, índice de riesgo climático (IRC).

Study of the Global Photovoltaic Energy Market, estimation of the number of GWs to be installed, and the number of new plants in the United States until 2028

Author: de la Torre Eguilior, Diego Manuel

Supervisor: Hernández García, David.

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The main objective of the Project is to conduct a study of the global photovoltaic market, examining the historical global energy situation, various international agreements, and proposed future goals. Additionally, an analysis of the current energy situation, its trends, and future objectives will be presented. Furthermore, estimates of the increase in photovoltaic capacity will be provided by region, including the United States, European Union, Asia & Pacific, Latin America, and the Middle East & North Africa. These estimates, along with the previous energy analysis, will serve as a guide and foundation for determining the variables of our statistical model. This model aims to independently estimate the GWs of photovoltaic energy to be installed in the United States until 2028. Subsequently, we will analyze the historical trend of the capacity of photovoltaic plants in the U.S. to estimate the number of photovoltaic plants that will accommodate this increase in capacity. Finally, the results will be analyzed, laying the groundwork for possible future studies, including the estimation of GWs and the number of photovoltaic plants until 2028 globally.

Keywords: Photovoltaic, capacity increase estimates, number of photovoltaic plants, estimates until 2028, estimation model, United States, LCOE, GW, CO2, Climate Risk Index (CRI).

Contenido

Capítulo 1: Introducción.....	15
1.1 Contexto energético actual.....	15
Capítulo 2: Estado del Arte.....	31
2.1 Estimaciones para EE. UU.	31
2.2 Estimaciones para el resto de las regiones	39
Capítulo 3: Desarrollo del modelo propio de estimación.....	46
3.1 Parámetros y variables del modelo	46
3.2 Datos históricos de los parámetros seleccionados para EE. UU.....	51
3.3 Desarrollo del modelo de estimación	54
3.4 Estimación de nuevos GW en Estados Unidos.....	62
3.5 Estimación de nuevas plantas fotovoltaicas en EE. UU. Hasta 2028	66
Capítulo 4: Conclusiones	69
4.1 Conclusiones y mejoras del modelo y de las estimaciones	69
4.2 Posibles trabajos futuros	72
Capítulo 5: Bibliografía	79

Índice de Gráficas

Gráfica 1: Inversión en energías limpias. Fuente: IEA.....	23
Gráfica 2: Generación de electricidad por tecnología. Fuente: IEA.....	24
Gráfica 3: Emisiones de CO2 por economía. Fuente: IEA.....	25
Gráfica 4: Demanda de las Fuentes de energía a nivel mundial. Fuente: IEA.....	26
Gráfica 5: Emisiones de CO2 por escenario. Fuente: IEA.....	27
Gráfica 6: Emisiones de CO" por escenario, aumento de temperatura en 2100 y nivel del NZE. Fuente: IEA.....	27
Gráfica 7: Capacidad de manufacturación respecto al NZ. Fuente: IEA.....	28
Gráfica 8: Inversiones en el escenario NZ. Fuente: IEA.....	29
Gráfica 9: Coste de Capital para proyectos solares en 2021. Fuente: IEA.....	29
Gráfica 10: Emisiones estimadas de CO2. Fuente: EIA.....	36
Gráfica 11: Emisiones de CO2 por energía de generación eléctrica. Fuente: EIA.....	37
Gráfica 12: Capacidad instalada total en 2022 por escenarios. Fuente: EIA.....	37
Gráfica 13: Generación de electricidad estimada por fuentes de energía. Fuente: EIA.....	38
Gráfica 14: Gnereación de electricidad neta por fuentes. Fuente: EIA.....	38
Gráfica 15: Consumo, producción y exportación de petroleo en USA. Fuente: EIA.....	39
Gráfica 16: Consumo, prodducción y exportación de gas natural por USA. Fuente: EIA.....	39
Gráfica 17: Estimación GW instalados en Asia. Fuente: IEA.....	42
Gráfica 18: Estimación GW instalados en USA. Fuente: IEA.....	43
Gráfica 19: Estimación GW instalados en Europa. Fuente: IEA.....	43
Gráfica 20: Estimación GW instalados en Latinoamérica. Fuente: IEA.....	44
Gráfica 21: : Estimación GW instalados en Oriente Medio y Norte de África. Fuente: IEA.....	45
Gráfica 22: Coste nivelado de la Electricidad (LCOE) por tecnología. Fuente: AleaSoft.....	48
Gráfica 23: LCOE histórico para la fotovoltaica. Fuente: AleaSoft.....	49
Gráfica 24: Relación entre el precio Spot del Barril Brent y los nuevos GW fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.....	55
Gráfica 25: Estimación del LCOE (USD 2023/MWh) para eólicas terrestres futuras. Fuente: Elaboración propia.....	64
Gráfica 26: Representación histórica de las hectáreas por MW de fotovoltaica instalado. Fuente: Elaboración propia.....	65

Gráfica 27: MW por planta 2017-2022 y línea de tendencia. Fuente: Elaboración propia	67
Gráfica 28: Estimación de los GWs a instalar hasta 2028 por parte de EIA vs el modelo elaborado. Fuente: Elaboración propia	71

Índice de Tablas

Tabla 1: Capacidad estimada en distintos escenarios por EIA. Fuente: Elaboración propia	35
Tabla 2: Capacidad estimada en distintos escenarios por EIA. Fuente: Elaboración propia	35
Tabla 3: Capacidad estimada en distintos escenarios por EIA. Fuente: Elaboración propia	36
Tabla 4: Estimación de GW instalados en Asia. Fuente: Elaboración Propia.....	42
Tabla 5: Estimación de GW instalados en USA. Fuente: Elaboración Propia.....	43
Tabla 6: Estimación de GW instalados en Europa. Fuente: Elaboración Propia.....	44
Tabla 7: Estimación de GW instalados en Latinoamérica. Fuente: Elaboración Propia.....	44
Tabla 8: Estimación de GW instalados en Oriente Medio y Norte de África. Fuente: Elaboración Propia.....	45
Tabla 9: Datos históricos de las variables (1/2). Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 10: Datos históricos de las variables (2/2). Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 11: P_valor del consumo de carbón. Fuente: Excel.....	56
Tabla 12: Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_valores de las 8 variables independientes. Fuente: Excel.....	57
Tabla 13: Matriz de correlación del modelo con 8 variables independientes. Fuente: Excel.....	58
Tabla 14: Matriz de Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para el modelo de 8 variables independientes. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 15: Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_valores de las 7 variables independientes.....	59
Tabla 16: Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_valores de las 6 variables independientes.....	60
Tabla 17: Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_valores de las 4 variables independientes del modelo final. Fuente: Excel.....	61
Tabla 18: Matriz de correlación del modelo final. Fuente: Excel.....	61
Tabla 19: Matriz de Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para el modelo final. Fuente: Elaboración propia	62
Tabla 20: Valores futuros de la variable asociada al precio spot del Barril Brent. Fuente: Elaboración Propia	63
Tabla 21: Estimación del LCOE (USD 2023/MWh) para eólicas terrestres futuras. Fuente: Elaboración propia	64

Tabla 22: Valores futuros de las variables independientes. Fuente: Elaboración propia	65
Tabla 23: Estimación de los GWs de fotovoltaica a nivel de servicio a instalar en EE. UU. hasta 2028. Fuente: Elaboración propia	66
Tabla 24: Capacidad Total instalada anualmente, número de plantas y su relación desde 2013-2022. Fuente: Elaboración propia	67
Tabla 25: Media de los MW por planta estimados anualmente hasta 2028. Fuente: Elaboración propia	68
Tabla 26: predicción de las nuevas plantas fotovoltaicas a construir hasta 2028. Fuente: Elaboración propia	68
Tabla 27: Estimación de los GWs a instalar hasta 2028 por parte de IEA vs el modelo elaborado. Fuente: Elaboración propia	71
Tabla 28: Valores históricos de las variables independientes para Asia & Pacífico. Fuente: Elaboración propia	72
Tabla 29: % de capacidad instalada en cada país respecto a la capacidad anual instalada total en Asia-Pacífico. Fuente: Elaboración propia.....	73
Tabla 30: Valores históricos de las variables independientes para la Unión Europea. Fuente: Elaboración propia	74
Tabla 31: % de capacidad instalada en cada país respecto a la capacidad anual instalada total en la UE. Fuente: Elaboración propia.....	75
Tabla 32: Valores históricos de las variables independientes para Latinoamérica. Fuente: Elaboración propia	76
Tabla 33: Valores históricos obtenidos de LCOE para países latinoamericanos. Fuente: Elaboración propia	77
Tabla 34: % de capacidad instalada en cada país respecto a la capacidad anual instalada total en Latinoamérica. Fuente: Elaboración propia	77

El principal objetivo del Proyecto es realizar un estudio de mercado del sector energético fotovoltaico mundial, con el que finalmente poder estimar el número de Gigavatios (GWs) y nuevas plantas fotovoltaicas que se van a instalar en Estados Unidos hasta 2028. Para cumplir con este objetivo, nos apoyaremos en estudios de mercado y estimaciones ya hechas por las principales organizaciones energéticas, estudiando los parámetros a los que se les da importancia en estas proyecciones y analizando otros nuevos, los cuales, si son significativos, poder incluir a nuestro modelo de previsión.

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo introductorio comenzaremos contextualizando el estado energético actual mundial, los principales acuerdos de transición energética firmados y los objetivos propuestos. A su vez, es importante recalcar que, a lo largo del trabajo, dividimos el territorio mundial en cinco regiones: USA, Asia (exc. China) & Pacífico, Unión Europea, Latinoamérica, y Oriente Medio & Norte de África.

1.1 Contexto energético actual

El inicio del uso de fuentes de energía por parte de la humanidad en cantidades significativas se remonta a la Revolución Industrial, donde, con la invención de la máquina de vapor, el carbón se posicionaba como la principal fuente de energía. A lo largo de los años, otros combustibles fósiles ganaron importancia, tal y como el petróleo con la llegada de los automóviles, y, a la par, se desarrollaron las primeras fuentes de generación eléctrica renovable, con la construcción de centrales hidroeléctricas a finales del siglo XIX.

Para continuar con el análisis energético actual, es necesario explicar términos tales como qué son las fuentes de energía renovables, las fuentes de energía no renovables, sus orígenes y qué tipo de energías engloban estos dos grupos.

- **Fuentes de energía no renovable:** Comúnmente definidas como aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en cantidades limitadas y que acaban por agotarse. Dentro de este grupo, existen dos subcategorías: Combustibles fósiles y combustibles nucleares.

- Combustibles fósiles: Usando como referencia a la conocida empresa energética Naturgy, los combustibles fósiles “son resultado de la descomposición de la materia orgánica durante miles de años, la cual proviene de los restos de organismos que en algún momento vivieron en el planeta tierra, como plantas o animales. [...] estos restos se han cubierto posteriormente por capas de sedimento, y la elevada presión y temperatura ejercida por estas capas durante millones de años transforma la materia original en otras sustancias orgánicas que presentan diferentes estados: sólido en el caso del **carbón**, líquido en el caso del **petróleo** o gaseoso en el caso del **gas natural**.”¹

De esta forma, los tipos de combustibles fósiles son:

- El carbón: Originado por restos vegetales.
- El petróleo: Formado por hidrocarburos insolubles al agua.
- El gas natural: Formado principalmente por metano, otros alcanos y pequeños porcentajes de dióxido de carbono, nitrógeno, ácido sulfhídrico y helio.

En la última década, la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que están cambiando el clima ha impulsado el crecimiento de todo tipo de energías alternativas a los combustibles fósiles, los cuales se señalan como la causa principal del cambio climático.

- Combustibles nucleares: Las plantas nucleares producen energía a través de un proceso denominado fisión nuclear, llevado a cabo en un reactor, la cual es utilizada para generar electricidad en las centrales nucleares. En este proceso, el núcleo del elemento químico radiactivo en cuestión, mayoritariamente uranio o plutonio, es dividido en núcleos más pequeños y otras subpartículas como neutrones libres, fotones y partículas alfa y beta, a través de la colisión con otra partícula subatómica, resultando en un gran aporte de energía.

¹ Naturgy. (s.f.). Conoce más sobre los combustibles fósiles. Recuperado de https://www.naturgy.es/blog/negocios_y_autonomos/conoce_combustibles_fosiles

Aunque la energía nuclear no está considerada como fuente renovable, al ser las reservas de los elementos químicos radioactivos presentes en la tierra finitas, se ha convertido en una gran aliada para descarbonizar la economía, dado que dichos procesos no generan CO₂ ni ningún otro gas de efecto invernadero. A su vez, el uso de estos combustibles tiene ciertas desventajas como la generación de residuos radiactivos y el grave impacto ambiental que conllevaría un accidente en una planta nuclear, pero, a pesar de ello, la capacidad nuclear del planeta debería incrementarse durante la próxima década si queremos cumplir con los objetivos de mitigación del cambio climático, tal y como sostiene la “International Energy Agency (IEA)”².

Tal y como recoge el banco BBVA en uno de sus análisis: “En los últimos siglos, las energías no renovables han tomado la delantera, permitiendo un desarrollo económico sin precedentes, pero generando problemas climáticos y ambientales de escala global que amenazan la propia supervivencia de las sociedades humanas. Abandonar su uso requiere cambios profundos no solo en la matriz energética, sino a escala social y económica”³. El análisis incluye que, para poder llevar a cabo esta transformación energética, es imprescindible poder ofrecer alternativas renovables a menor precio que las de fuentes de combustión fósil, siendo necesaria una gran inversión a nivel global para su desarrollo y mejora.

- **Fuentes de energía renovable:** Denominadas de esta forma por las Naciones Unidas a aquellos tipos de energía “derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse”⁴. Las principales fuentes de energía renovable son:
 - Energía Solar: Con el uso de paneles solares se es capaz de captar la radiación proveniente del sol y, a través de distintas tecnologías, usarse para producir calor, refrigeración o electricidad. Se trata de energía solar fotovoltaica cuando la

² Agencia Internacional de Energía. (2022). Resumen Ejecutivo - World Energy Outlook 2022. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary?language=es>

³ BBVA. (s.f.). ¿Qué son las energías no renovables y qué tipos existen? Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-las-energias-no-renovables-y-que-tipos-existen/>

⁴ Naciones Unidas. (s.f.). ¿Qué es la energía renovable? Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>

radiación solar se transforma en electricidad, a partir de una reacción química que se da lugar en los módulos de los paneles solares. Por otro lado, se trata de energía solar térmica cuando la radiación se concentra directamente para calentar un fluido.

- Energía Eólica: Responsable de aprovechar la energía del viento, el cual hace mover las aspas de los aerogeneradores, comúnmente denominados molinos de viento, y esta energía mecánica es transformada a través de un generador en electricidad. Esta tecnología puede estar ubicada en la superficie terrestre o bien en la superficie acuática, ya sea en aguas dulces o en alta mar (parques eólicos offshore).
- Energía Geotérmica: haciendo referencia a la definición de Naciones Unidas, “La energía geotérmica utiliza la energía térmica disponible del interior de la Tierra. El calor se extrae de unos depósitos geotérmicos a través de pozos u otros medios. Los depósitos con estas temperaturas lo suficientemente elevadas y permeables de forma natural se denominan depósitos hidrotermales, mientras que los depósitos que cuentan con el suficiente calor, pero que utilizan medios de estimulación hidráulica, se llaman sistemas geotérmicos mejorados.”⁵
- Energía Hidroeléctrica: Aquella que aprovecha la energía que produce el movimiento del agua en embalses y ríos para generar electricidad. De la misma forma que para los aerogeneradores, las plantas hidroeléctricas utilizan la energía cinética del agua para hacer mover unas turbinas y esa energía mecánica transformarla en electricidad con el uso de un generador. Aquellas plantas hidroeléctricas que se encuentran en embalses hacen caer el agua estancada desde gran altitud para este fin, mientras que las que están ubicadas en un río utilizan la energía del propio flujo de agua.
- Energía Oceánica: También basada en la energía del agua, pero enfocada en grandes masas como son el mar o el océano, aprovechando las olas, corrientes marinas y energías térmicas del agua marina para producir electricidad o calor.
- Bioenergía/ Biomasa: Definida como aquella energía que reside en la materia orgánica como la madera, carbón, estiércol y otros abonos. Esta fuente de energía

⁵ Naciones Unidas. (s.f.). ¿Qué es la energía renovable? Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>

es generalmente utilizada para producir calor (a través de su quema), electricidad (quemando el combustible orgánico y calentando agua, el vapor hace mover una turbina a su paso la cual adquiere energía cinética, que es transformada en electricidad mediante un generador) o bien como biocombustibles líquidos (aquellos restos orgánicos provenientes de cultivos agrícolas).

Habiendo definido los principales términos a tener en cuenta, vamos a resumir los principales acuerdos climáticos internacionales que se han pactado a lo largo de la historia reciente, lo cual nos dará una perspectiva sobre la preocupación climática de las principales potencias mundiales durante los últimos años, y los resultados que éstos han tenido medioambientalmente.

- **El Protocolo de Kioto:** adoptado en 1997, es un acuerdo internacional que buscaba abordar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) un 5% en comparación con los niveles de 1990. Los compromisos del protocolo estaban enfocados en los países industrializados, variaban entre los países, y se fijó un plazo de actuación desde 2008 hasta 2012. Aunque algunos países clave no participaron plenamente o se retiraron, durante ese período las emisiones se redujeron más de un 22% y fue un hito importante, ya que debido a sus limitaciones se buscó un nuevo marco más inclusivo, culminando en el Acuerdo de París en 2015.
- **El Acuerdo de París:** uno de los acuerdos más significativos, adoptado durante la COP21, estableció un marco global para evitar un cambio climático peligroso, manteniendo el calentamiento global muy por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales y prosiguiendo los esfuerzos para limitarlo a 1.5°C. Tanto países desarrollados como en vías de desarrollo deben presentar planes nacionales de mitigación, denominadas Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, y adaptación al cambio climático. El Acuerdo de París es considerado un hito importante en la cooperación global para abordar el cambio climático debido a su enfoque inclusivo y su compromiso con medidas significativas para enfrentar este desafío.
- **Acuerdo de Kigali:** Este acuerdo, alcanzado en 2016 y entrado en vigor en 2019, es un tratado internacional que tiene como objetivo la reducción en un 80% en 2050 del uso de hidrofluorocarbonos (HFC), poderosos gases de efecto invernadero utilizados en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. El objetivo es mitigar el calentamiento global al evitar

la emisión de estos gases y promover el desarrollo y la adopción de alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

A parte de estos tratados internacionales, los compromisos climáticos internacionales han sido, y siguen siendo, constantes. Entre otros acuerdos están los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la enmienda de Doha, los acuerdos de Cancún y Copenhague, los Objetivos de Desarrollo de Milenio (ODM), la cumbre de la Tierra, la creación del IPCC o el protocolo de Montreal, además de las Conferencias de Naciones Unidas sobre el cambio climático o “*Conference of the Parties*” (COP por sus siglas en inglés) celebradas anualmente, donde los países miembros de Naciones Unidas profundizan en los futuros acuerdos climáticos y sus consecuencias.

Teniendo en cuenta el desarrollo de los principales acuerdos climáticos internacionales, sobre todo los más recientes y vigentes, procedemos a exponer el contenido del estudio realizado por IEA denominado “World Energy Outlook 2022”⁶ (WEO2022), el cual recoge la situación energética mundial actual, explica las circunstancias que han causado la crisis energética, la distribución de la generación energética de las distintas tecnologías y otros muchos datos interesantes del sector.

En este estudio, IEA deja claro que la invasión rusa de Ucrania provocó en 2022 una crisis energética mundial sin precedentes, no solo por los recortes de suministro de gas natural por parte de Rusia a Europa y las sanciones puestas por la segunda a las importaciones de petróleo y carbón de la primera, influyendo de esta forma en el precio de compra de gas natural y del carbón, que han alcanzado niveles récord en todo el mundo, sino que ha puesto en evidencia y hace patente la fragilidad e insostenibilidad de nuestro actual sistema energético.

A su vez, esta gran crisis energética ha generado unos enormes beneficios para los productores de combustibles fósiles (2 billones de dólares respecto a sus ingresos netos de 2021) pero, desgraciadamente, el aumento de los precios ha provocado que unos 75 millones de personas que recientemente han logrado acceso a la electricidad pierdan la capacidad de pagarla, lo que significa que, por primera vez desde que se realiza este seguimiento, el número total de personas en todo el mundo sin acceso a la electricidad haya empezado a aumentar. Ante esta situación, los gobiernos

⁶ Agencia Internacional de Energía. (2022). Resumen Ejecutivo - World Energy Outlook 2022. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary?language=es>

han destinado hasta ahora más de 500.000 millones de dólares, principalmente en las economías avanzadas, para proteger a los consumidores de los efectos inmediatos de la escasez de energía y los elevados precios, intentando así asegurar el suministro de combustibles alternativos y almacenamiento de gas suficientes. Por otro lado, también se han adoptado medidas a corto plazo como prolongar la vida útil de algunas centrales nucleares y acelerar el desarrollo de nuevos proyectos de energías renovables, haciendo visible la importancia de una red energética sólida sostenida por tecnologías renovables.

De esta forma, es importante destacar que el estudio *WEO2022* desmiente los rumores de cierta parte de la población, que culpa a las políticas climáticas y los compromisos de cero emisiones por la subida de precios, poniendo como ejemplo aquellas regiones más afectadas, donde una mayor proporción de energías renovables estaba directamente relacionada con precios más bajos en la electricidad, amortiguando el impacto para los consumidores.

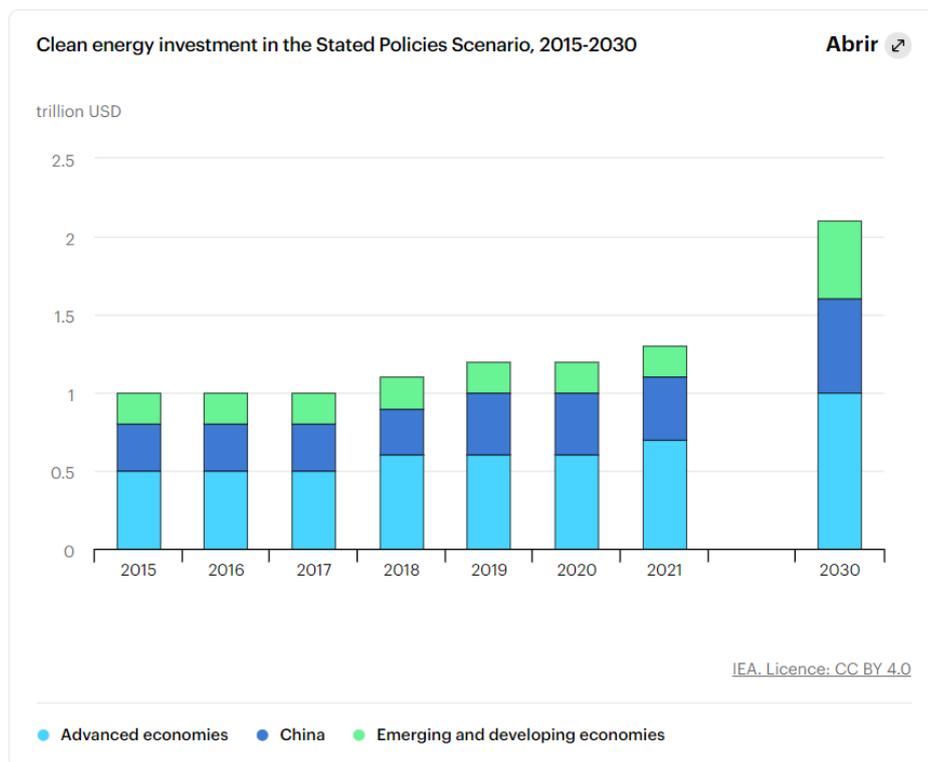
Junto a las medidas a corto plazo, muchos gobiernos han adoptado medidas a más largo plazo. Los tres escenarios que se analizan en este *World Energy Outlook* se diferencian principalmente por las hipótesis que plantean en relación con las políticas gubernamentales. Y son:

- El escenario de Políticas Declaradas (*Stated Policies Scenario* o **STEPS**): muestra la trayectoria que las políticas actuales implican.
- El escenario de Compromisos Anunciados (*Announced Pledges Scenario* o **APS**): el cual asume que todos los objetivos anunciados por los gobiernos se cumplen por completo y en los plazos previstos, incluyendo sus objetivos de acceso a la energía y de cero emisiones a largo plazo.
- El escenario Cero Emisiones Netas en 2050 (*Net Zero Emissions by 2050* o **NZE**): que traza el camino a seguir para lograr la estabilización del aumento de la temperatura mundial en 1,5 °C y el acceso universal a la electricidad y sistemas modernos de energía para 2030.

De esta forma, según el estudio, las nuevas políticas implementadas en los principales mercados energéticos contribuyen a impulsar la inversión anual en energías limpias hasta superar los 2 billones de dólares en 2030 en el escenario STEPS, lo que supone un aumento de más del 50% respecto a los niveles actuales. Así, Las energías limpias se presentan como una gran oportunidad de crecimiento y generación de empleo, y como un ámbito relevante de competencia económica

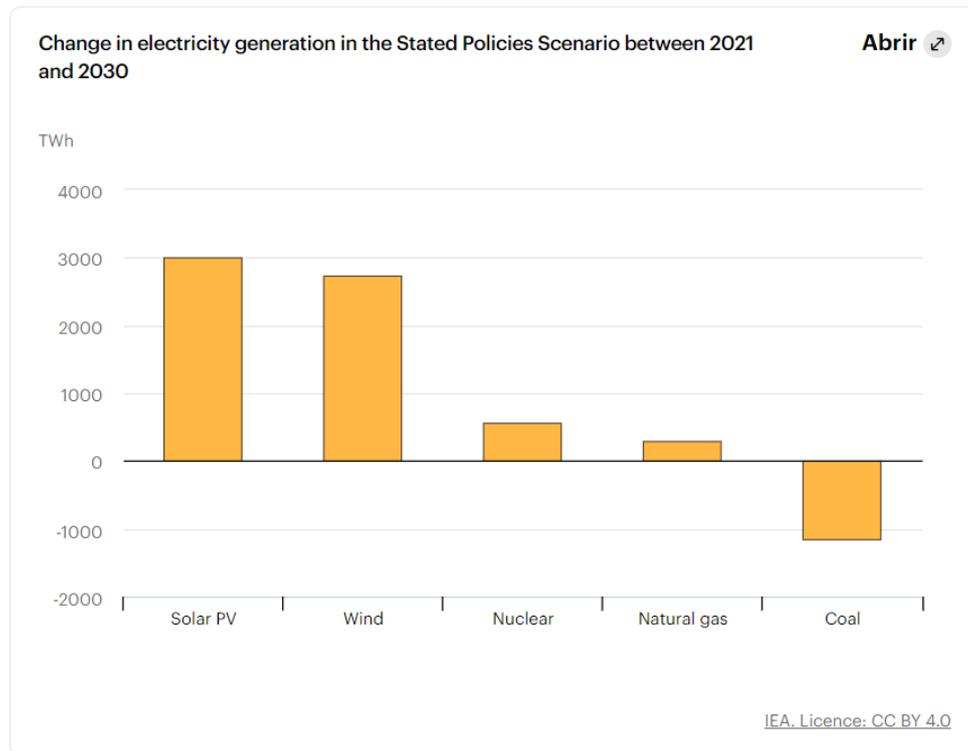
internacional. A su vez, el *WEO2022* pone gran atención e importancia a políticas a nivel nacional como es el ejemplo de la Ley de Reducción de la Inflación promulgada en Estados Unidos, gracias a la cual, en gran medida, se prevé que en 2030 el aumento de la capacidad de energía solar y eólica en ese país se multiplique por dos y medio respecto a los niveles actuales, y las ventas de coches eléctricos, por siete. De la misma manera, los nuevos objetivos siguen estimulando la implantación a gran escala de energías limpias en China, disminuyendo así su consumo de carbón y de petróleo, y en la Unión Europea, la aceleración del despliegue de las energías renovables, y la mejora de su eficiencia, hacen que el estudio estime una reducción de su demanda de gas natural y petróleo en un 20%, y del carbón en un 50%, a lo largo de esta década. Por último, el estudio incluye los ejemplos de Japón, donde el programa de Transformación Verde (GX) supone un importante impulso a la financiación de tecnologías como la nuclear, el hidrógeno de bajas emisiones y el amoníaco, de Corea del Sur, donde también se quiere aumentar la proporción de energía nuclear y renovable en su mix energético, y de la India, la cual sigue avanzando hacia su objetivo de capacidad renovable nacional de 500 gigavatios (GW) en 2030, y donde las energías renovables cubren casi dos tercios de la creciente demanda de electricidad del país.

A continuación, se puede observar la creciente inversión en energías limpias desde 2015 y lo estimado hasta 2030 en el escenario STEPS, el cual tiene en cuenta las Políticas Declaradas.



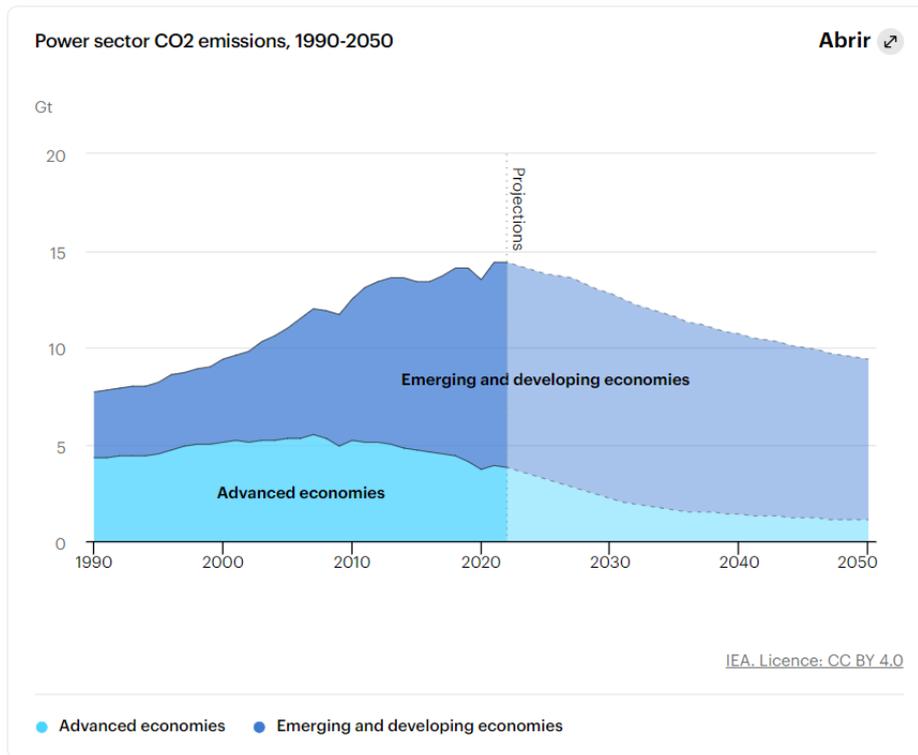
Gráfica 1: Inversión en energías limpias. Fuente: IEA

Tal y como precisa IEA en este estudio, se observa que, a medida que los mercados se reequilibran, las energías renovables, con el refuerzo de la energía nuclear, experimentan un aumento sostenido; y que el repunte del carbón es simplemente temporal y responde a la crisis energética actual. Además, se determina que el aumento de la generación de electricidad renovable es lo suficientemente rápido como para superar el crecimiento de la generación total de electricidad, reduciendo la contribución de los combustibles fósiles al sector eléctrico, haciendo que la inversión en nuevos activos de tecnologías fósiles no aumente y se focalice en alternativas renovables, tal y como podemos observar en el siguiente gráfico llevado a cabo por IEA.



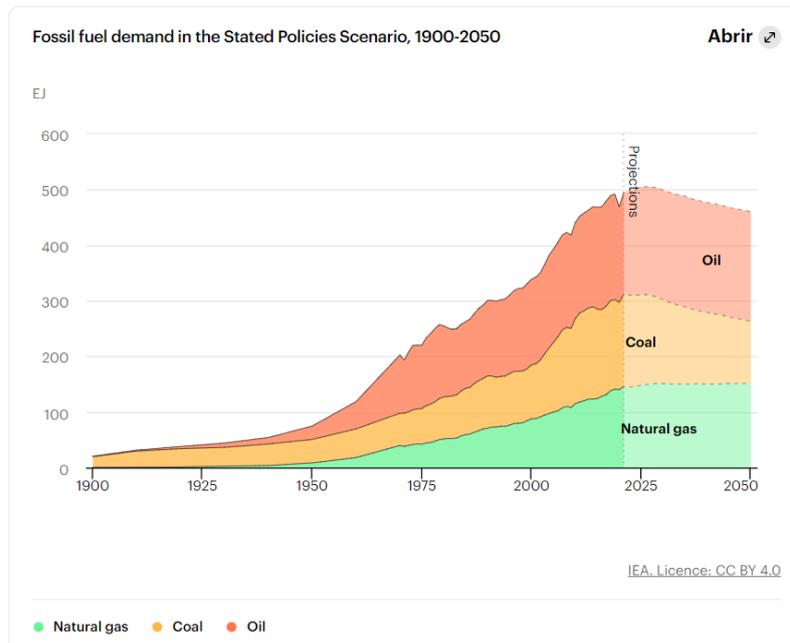
Gráfica 2: Generación de electricidad por tecnología. Fuente: IEA

Siguiendo la trayectoria comentada, por primera vez en un escenario del *WEO* basado en las políticas actuales, se observa que la demanda mundial de cada uno de los combustibles fósiles alcanza un punto máximo o una meseta. En el escenario *STEPS*, se pronostica una reducción en el uso del carbón en los próximos años, la demanda de gas natural llega a un nivel máximo a finales de la década, y el aumento en la adopción de vehículos eléctricos resulta en que la demanda de petróleo se mantenga estable hasta mediados de la década de 2030 antes de disminuir ligeramente hasta la mitad del siglo. Como resultado, la demanda total de combustibles fósiles disminuye de manera constante desde mediados de la década de 2020 hasta 2050, y con ella las emisiones de CO₂, tal y como podemos observar en el gráfico adjunto.



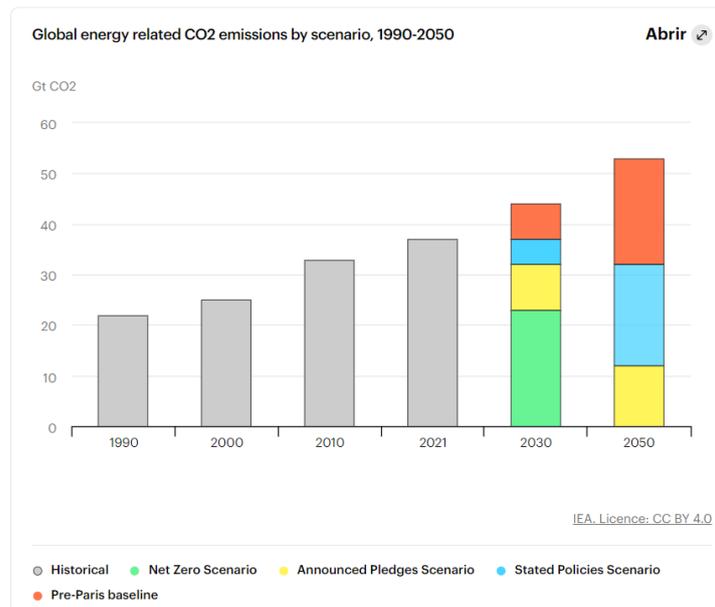
Gráfica 3: Emisiones de CO2 por economía. Fuente: IEA

Dado que el uso mundial de combustibles fósiles ha aumentado a la par que el PIB desde el inicio de la Revolución Industrial, revertir este aumento al tiempo que se sigue expandiendo la economía mundial supondrá un momento crucial en la historia de la energía, teniendo en cuenta que la participación de los combustibles fósiles en el mix energético mundial se ha mantenido sistemáticamente alta, en torno al 80%, durante décadas. En 2030, según el escenario STEPS, esta se reducirá por debajo del 75% y se situará justo por encima del 60% en 2050. Además, las emisiones mundiales de CO2 relacionadas con la energía se estima que lleguen a su máximo en el escenario STEPS en 2025, y desciendan progresivamente hasta 2050. Esto tendría como resultado un aumento de 2,5 °C en la temperatura mundial para 2100, lo cual es una mejora de pasadas estimaciones debido a las políticas previamente comentadas y las mejoras tecnológicas, pero está lejos de ser suficiente para evitar graves cambios climáticos, según se afirma en el *WEO*.

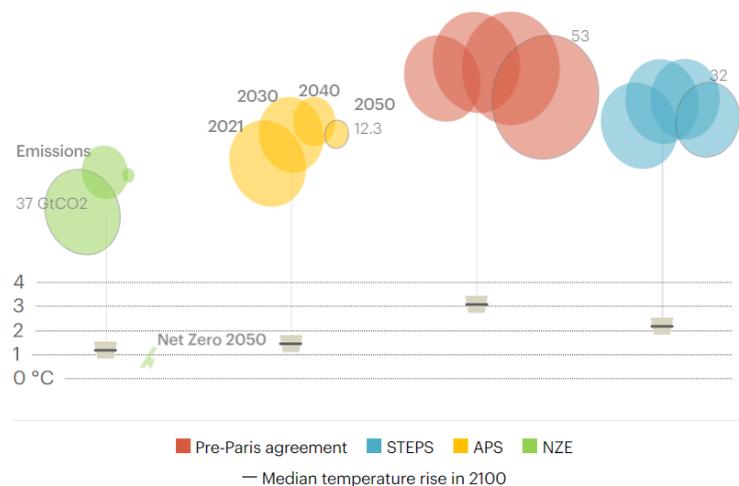


Gráfica 4: Demanda de las Fuentes de energía a nivel mundial. Fuente: IEA

A su vez, el estudio recalca que el pleno cumplimiento de todos los compromisos climáticos conduciría al mundo hacia un terreno más seguro, pero todavía existe una gran brecha entre las ambiciones actuales y una estabilización de 1,5 °C. Sostiene que, si se aplicasen a tiempo y en su totalidad, el aumento de la temperatura en el escenario APS para 2100 sería de 1,7 °C, la cual aún así está lejos del escenario NZE, que prevé un aumento de 1,5 °C y siendo cero las emisiones netas para 2050. El texto también destaca la importancia de acelerar la inversión en energías limpias para evitar la necesidad de aumentar la inversión en petróleo y gas, lo cual podría comprometer el objetivo climático de 1.5 °C.



Gráfica 5: Emisiones de CO2 por escenario. Fuente: IEA

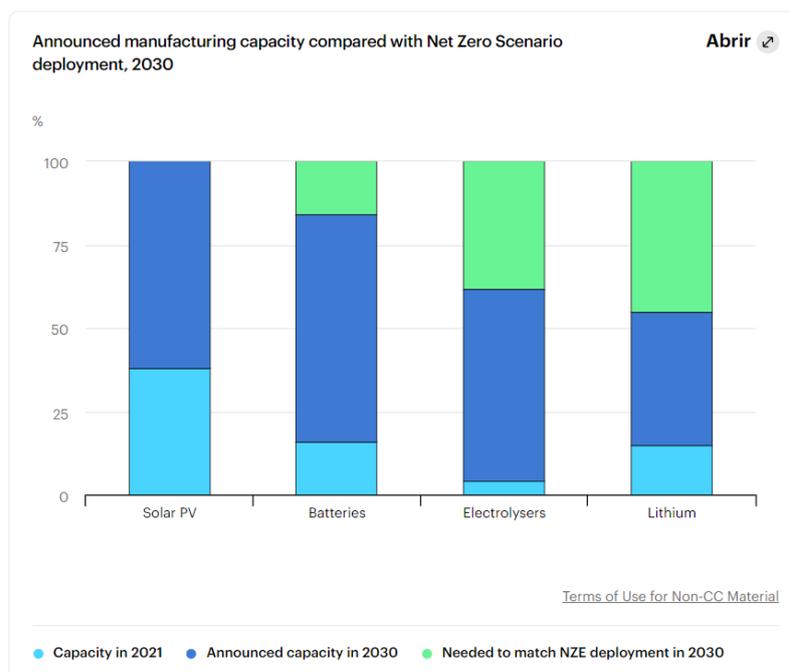


Gráfica 6: Emisiones de CO₂ por escenario, aumento de temperatura en 2100 y nivel del NZE. Fuente: IEA

De acuerdo con la IEA, esta década se presenta como un periodo crucial para lograr un sistema energético que sea más seguro, sostenible y accesible, siempre y cuando se tomen medidas energéticas de inmediato. La agencia aboga por que las inversiones se enfoquen en la generación de electricidad con bajas emisiones y la electrificación, así como en la expansión y modernización de las redes eléctricas como la solución para acelerar la reducción de emisiones y la disminución de los costos de la electricidad. Además, el informe señala que, si se mantienen las tasas actuales de

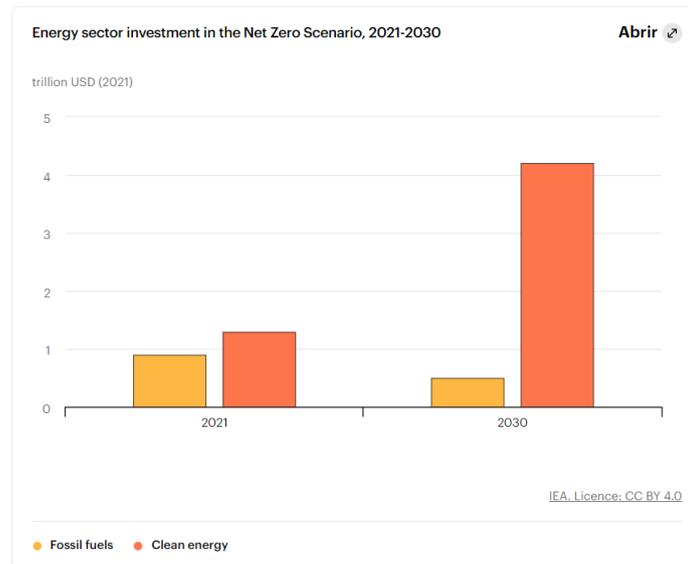
crecimiento en la energía solar fotovoltaica, la energía eólica, los vehículos eléctricos y las baterías, se logrará una transformación mucho más rápida que la proyectada en el escenario STEPS, aunque esto requerirá políticas que fomenten esta expansión a nivel global, más aún cuando el aumento de la demanda energética por parte de las economías emergentes hasta 2050 será lo equivalente a la demanda de la Unión Europea.

Para que los escenarios más favorables se cumplan, y de esa forma las fuentes de energía renovable obtengan un mayor porcentaje en el mix energético a costa de disminuir el uso de combustibles fósiles, el estudio insiste en que es imprescindible no sólo la inversión a nivel estatal en esta transición energética, sino también el compromiso e inversión privadas. De esta forma, si se ejecutan todos los planes anunciados de expansión de la industria manufacturera de energía solar fotovoltaica, la capacidad de producción se acercaría a los niveles previstos en el escenario NZE.



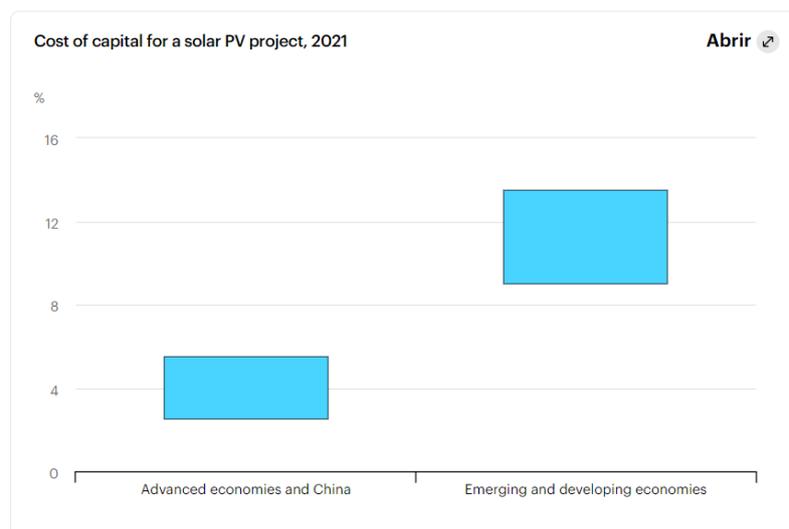
Gráfica 7: Capacidad de manufacturación respecto al NZ. Fuente: IEA

Este aumento en la inversión en el sector de la energía es crucial para mitigar de picos de precio y volatilidad en el mercado, y para avanzar hacia un escenario de emisiones netas nulas en 2050. Según el escenario STEPS, la inversión en 2030 debería superar los 2 billones de dólares, y en el escenario NZE esta cifra debería superar los 4 billones, lo cual, partiendo de los 1,3 billones de dólares actuales, subraya la necesidad de atraer nuevos inversores al sector energético.



Gráfica 8: Inversiones en el escenario NZ. Fuente: IEA

Este WEO hace además hincapié en que la insuficiencia de inversión en energías sostenibles es más pronunciada en las economías en desarrollo y emergentes, lo cual es una señal de preocupación, considerando el esperado crecimiento veloz de su demanda de servicios energéticos ya comentado. El costo de financiamiento para una instalación de energía solar fotovoltaica en 2021 en las principales economías emergentes era de dos a tres veces mayor que en las economías avanzadas y en China.



Gráfica 9: Coste de Capital para proyectos solares en 2021. Fuente: IEA

Por último, en este *WEO* IEA subraya que no solo los argumentos medioambientales a favor de las energías limpias ya son fuertes, sino que los argumentos económicos en favor de tecnologías limpias competitivas en costos y accesibles también son sólidas, pero reconoce que algunas partes del sistema de combustibles fósiles seguirán siendo fundamentales para la seguridad energética, como las centrales de gas para picos de demanda de electricidad y las refinerías para abastecer a usuarios residuales de combustibles para el transporte. Se advierte sobre las consecuencias negativas para la seguridad energética en caso de cierres imprevistos o prematuros de estas infraestructuras.

Capítulo 2: Estado del Arte

Dado que el fin último de este trabajo es realizar un estudio del mercado energético fotovoltaico mundial, para seguidamente estimar el número de GWs a instalar y número de nuevas plantas hasta 2028, es importante informarnos primero sobre las estimaciones hechas por las principales empresas gubernamentales y de prestigio del sector energético, cuyos estudios serán expuestos en este capítulo y analizados para determinar sus puntos fuertes y débiles, intentando posteriormente bien mejorar los débiles o complementar el estudio todo lo posible.

Tras una exhaustiva búsqueda, los estudios más relevantes en los que se estiman las nuevas capacidades de energía fotovoltaica a gran escala, hasta 2028 y de las cinco regiones seleccionadas (USA, Asia (exc. China) & Pacífico, Unión Europea, Latinoamérica, y Oriente Medio & Norte de África) son: Para USA se usará el estudio *Annual Energy Outlook 2023*⁷ realizado por EIA y para el resto de los países el informe *Renewables 2022*⁸ realizado por IEA.

2.1 Estimaciones para EE. UU.

La aprobación de la Ley de Reducción de la Inflación (IRA) de 2022, firmada por el presidente Biden el 16 de agosto, ha marcado un punto de inflexión en el desarrollo y crecimiento del mercado de energías renovables en los Estados Unidos. Su entrada en vigor ha significado una gran disposición a invertir en el sector, lo que, junto con la reducción en el costo de las materias primas, ha aumentado su rentabilidad y proporcionado un importante estímulo para la generación de energía renovable. Según el Informe de Perspectivas del Mercado Solar de EE. UU., publicado por Wood Mackenzie y la Asociación de Industrias de Energía Solar (SEIA)⁹, se estima un aumento en la capacidad de energía solar de hasta cinco veces más de la actual para 2033.

⁷ Administración de Información de Energía. (s.f.). Annual Energy Outlook. Recuperado de <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>

⁸ Agencia Internacional de Energía. (2022). Renewables 2022. Recuperado de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>

⁹ Wood Mackenzie. (s.f.). US Solar Market Insight. Recuperado de <https://www.woodmac.com/industry/power-and-renewables/us-solar-market-insight/>

Así, el crecimiento de la capacidad de energía solar instalada en los próximos años está fuertemente influenciado por esta nueva ley, y es imperativo tenerla en cuenta en la toma de decisiones y las previsiones en la región de Estados Unidos. Por esta razón, se ha tomado como referencia el informe *Annual Energy Outlook 2023 (AEO2023)*, realizado por la Administración de Información de Energía de EE. UU. (EIA, por sus siglas en inglés), agencia estadística y analítica del Departamento de Energía de los Estados Unidos, y la base de datos de la EIA. Este informe explora las tendencias energéticas a largo plazo en los Estados Unidos y ha incorporado la forma en que la IRA modifica el panorama político en su metodología de pronóstico.

El propio pronóstico de la EIA utiliza diferentes escenarios para comprender cómo las distintas suposiciones afectan las tendencias energéticas. Según el informe, cada escenario (también conocido como caso) representa un cambio de un solo factor con respecto al caso de referencia, excepto en aquellos donde se combinan suposiciones de los casos macroeconómicos y de costes de las tecnologías renovables. Estos casos incluyen, entre otros:

- Caso de Referencia: Utilizado como línea base, refleja leyes y regulaciones adoptadas hasta mediados de noviembre de 2022, incluida la IRA. Supone que los costos de capital de las tecnologías de generación de energía disminuyen con el tiempo a medida que la comercialización se expande y la experiencia en construcción y fabricación se acelera. También asume una tasa de crecimiento anual del PIB en EE. UU. del 1.9% durante el período de proyección y un precio del barril Brent de \$101 en 2050.
- Caso de Alto Crecimiento Económico: Supone que la tasa de crecimiento anual compuesta del PIB de EE. UU. es del 2.3%.
- Caso de Bajo Crecimiento Económico: Supone que la tasa de crecimiento anual compuesta del PIB de EE. UU. es del 1.4%.
- Caso de Alto Coste de las Tecnologías Renovables: Supone que no hay reducciones de costes por aprendizaje práctico, y los costes de las tecnologías de cero emisiones de carbono se mantienen en los niveles de 2022 hasta 2050.
- Caso de Bajo Coste de las Tecnologías Renovables: Supone una reducción de los costes más rápida y determinadas externamente hasta 2050, lo que resulta en una reducción de los costes del 40% aproximadamente para 2050 en comparación con el caso de Referencia para cada tecnología renovable. Además, se asume que los costes fijos de operación y mantenimiento disminuyen junto con el coste de capital debido a la mejora tecnológica.

Los casos combinados expuestos en el informe son:

- Caso de Alto Crecimiento Económico y Alto Coste de las Tecnologías Renovables
- Caso de Alto Crecimiento Económico y Bajo Coste de las Tecnologías Renovables
- Caso de Bajo Crecimiento Económico y Alto Coste de las Tecnologías Renovables
- Caso de Bajo Crecimiento Económico y Bajo Coste de las Tecnologías Renovables

Otros casos estudiados en el informe:

- Alto Precio del Petróleo: El Precio del barril Brent en 2050 es de \$190.
- Bajo Precio del Petróleo: El Precio del barril Brent en 2050 es de \$51.
- Oferta Alta de Petróleo y Gas: Un 50% más de recuperación de recursos de petróleo y gas y un 50% menos de costes de perforación en relación con el Caso de Referencia.
- Oferta Baja de Petróleo y Gas: Un 50% menos de recuperación de recursos de petróleo y gas y un 50% más de costes de perforación en relación con el caso de referencia.

Con respecto a la adopción de la IRA, todos los casos citados han incorporado las disposiciones de esta ley publicadas hasta mediados de noviembre de 2022. Las estimaciones realizadas al modificar la adopción de esta ley se reflejan en los siguientes casos:

- Alta adopción de la IRA: Supone la misma perspectiva económica que el caso de referencia, pero considera una mayor adopción de la *Inflation Reduction Act*.
- Baja adopción de la IRA: Supone la misma perspectiva económica que el caso de referencia, pero considera una menor adopción de *Inflation Reduction Act*.
- Sin IRA / No aplicación de la IRA: Supone la misma perspectiva económica que el caso de referencia, pero excluye las disposiciones de la IRA.

Dado que el propósito de este trabajo contempla las futuras instalaciones fotovoltaicas hasta 2028, expondremos en este capítulo las estimaciones ya realizadas por EIA hasta dicho año. Para ello, se ha utilizado el pronóstico de "Capacidad Neta de Verano" del informe, ya que la Capacidad Nominal no está disponible y es muy similar a la Capacidad de Verano. Estos datos descargados son acumulativos de GW por año proyectados, de los cuales se utiliza la información de "Fotovoltaica Solar", que se refiere a plantas fotovoltaicas a escala de servicios públicos. Restando la capacidad

del año anterior a la del próximo año, se puede calcular la cantidad de GW instalados anualmente, como se muestra en las siguientes tablas para cada caso y año.

Yearly Installed capacity cases (GW)									
IRA used as in 2022									
Year	Reference case (2022)	High Economic Growth	Low Economic Growth	High Oil Price	Low Oil Price	High Oil & Gas Supply	Low Oil & Gas Supply	High Zero-Carbon Technology Cost	Low Zero-Carbon Technology Cost
2022	14,63	14,63	14,63	14,63	14,63	14,63	14,63	14,63	14,63
2023	28,14	28,14	28,14	28,14	28,14	28,14	28,14	28,14	28,14
2024	35,18	35,18	35,18	35,18	35,18	35,18	35,18	35,18	35,18
2025	43,97	43,97	43,97	43,97	43,97	43,97	43,97	12,64	43,97
2026	54,97	54,97	54,97	54,97	54,97	40,95	54,97	13,55	54,97
2027	45,41	42,27	48,93	35,11	68,70	34,72	68,70	8,93	60,12
2028	28,36	25,84	28,90	13,77	48,28	34,25	57,97	0,00	41,10

Tabla 1: Capacidad estimada en distintos escenarios por EIA. Fuente: Elaboración propia

Yearly Installed capacity cases (GW)				
IRA used as in 2022				
Year	High Macro and High Zero-Carbon Technology Cost	High Macro and Low Zero-Carbon Technology Cost	Low Macro and High Zero-Carbon Technology Cost	Low Macro and Low Zero-Carbon Technology Cost
2022	14,63	14,63	14,63	14,63
2023	28,14	28,14	28,14	28,14
2024	35,18	35,18	35,18	35,18
2025	10,31	43,97	17,10	43,97
2026	12,27	54,97	8,35	54,97
2027	11,29	68,70	16,26	68,70
2028	2,80	43,61	7,77	39,95

Tabla 2: Capacidad estimada en distintos escenarios por EIA. Fuente: Elaboración propia

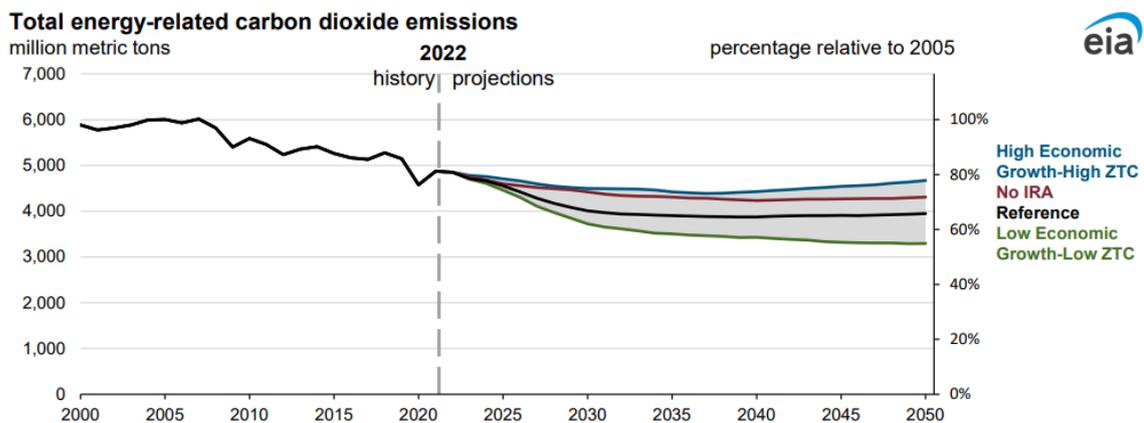
Yearly Installed capacity cases (GW)			
IRA used as in 2022			
No IRA			
Year	High Uptake of IRA	Low Uptake of IRA	No IRA
Year	High Uptake of Inflation Reduction Act	Low Uptake of Inflation Reduction Act	No Inflation Reduction Act
2022	14,63	14,63	14,63
2023	28,14	28,14	28,14
2024	35,18	35,18	35,18
2025	43,97	8,78	8,67
2026	54,97	14,57	18,60
2027	68,70	9,63	14,18

2028	45,39	6,79	9,92
------	-------	------	------

Tabla 3: Capacidad estimada en distintos escenarios por EIA. Fuente: Elaboración propia

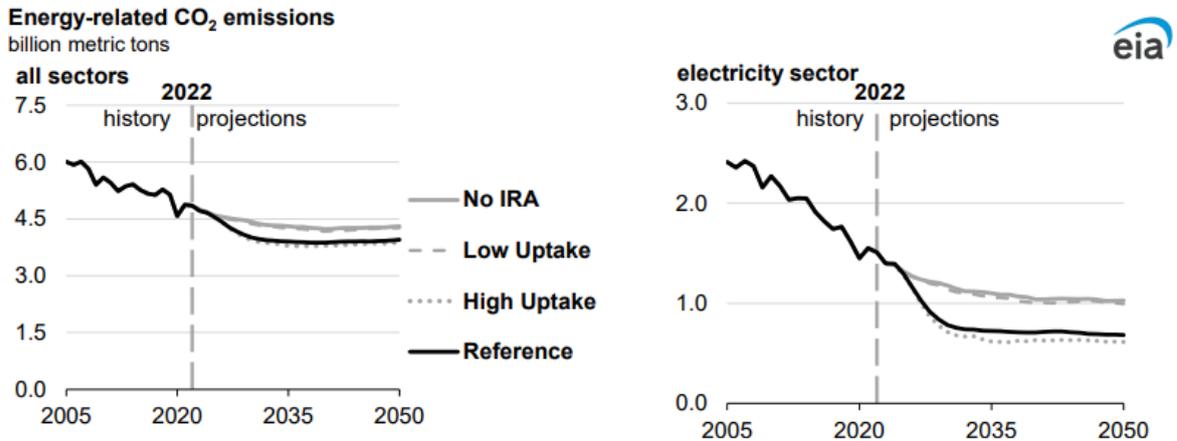
Junto con las proyecciones, EIA destaca ciertos aspectos a futuro, de los cuales los más relevantes se recogen son:

Las emisiones de CO2 relacionadas con la energía disminuyen en todos los casos AEO2023 debido a una mayor electrificación, una mayor eficiencia de los equipos y una mayor generación de carbono. Para 2030, dichas emisiones caen entre un 25% y un 38% respecto a los niveles de 2005, tal y como muestra el estudio en la siguiente imagen.



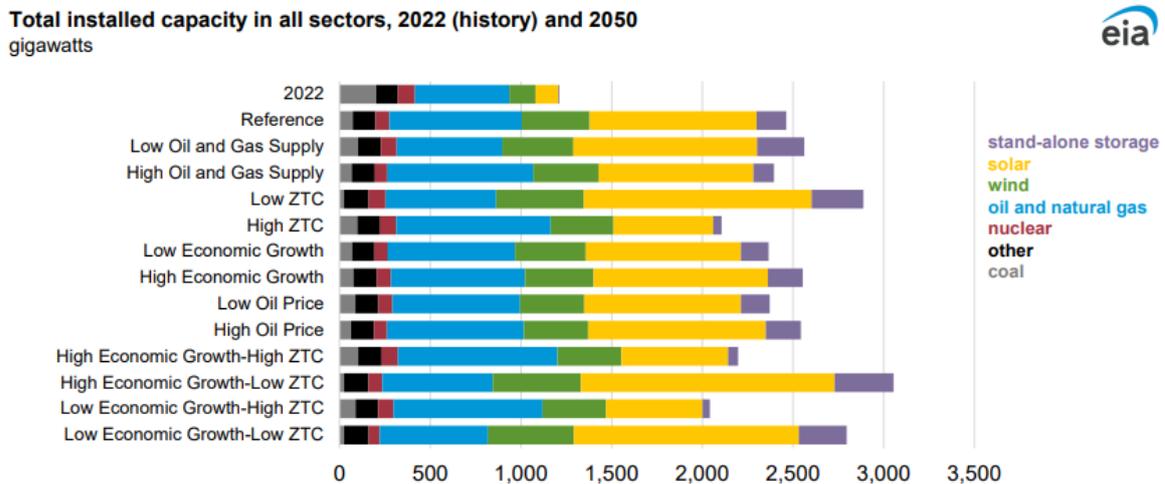
Gráfica 10: Emisiones estimadas de CO2. Fuente: EIA

Más concretamente, si nos fijamos exclusivamente en el nivel de aplicación de la política de la IRA, en el caso de “No aplicación de la IRA” y de “Baja adopción de la IRA” las emisiones de CO2 de Estados Unidos caen un 26% y un 27%, respectivamente, para el año 2030 respecto a los niveles de 2005. Por su parte, en el “Caso de Referencia” y “Alta adopción de la IRA”, los pronósticos son aún más alentadores desde el punto de vista climático, con los cuales se estima unas reducciones del 33% y 34%, respectivamente.



Gráfica 11: Emisiones de CO₂ por energía de generación eléctrica. Fuente: EIA

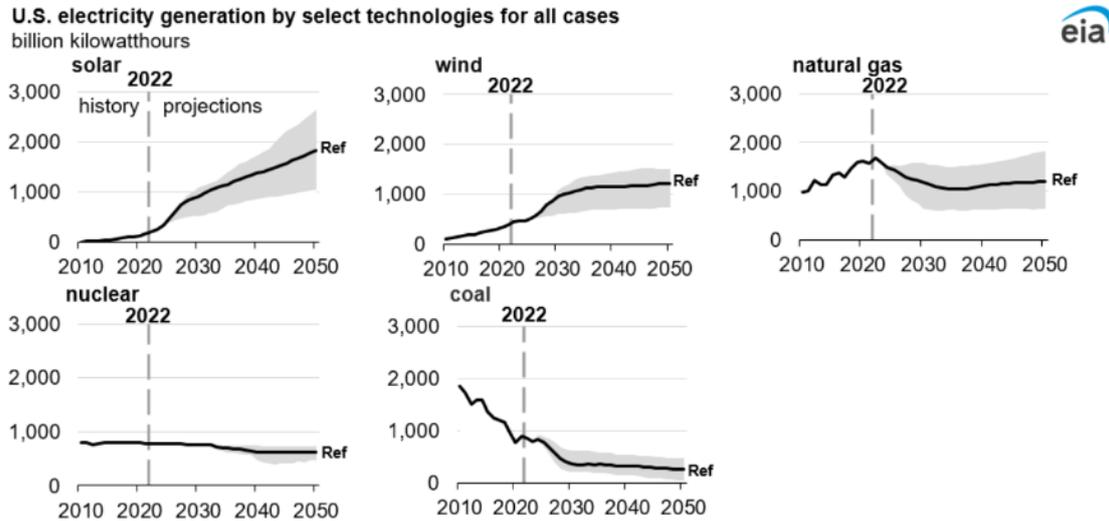
A su vez, la capacidad de generación de energía renovable aumenta en todas las regiones de los Estados Unidos y en todos los casos expuestos del estudio AEO2023, respaldada por el crecimiento en la capacidad instalada de baterías, tal y como se observa por parte de la energía fotovoltaica en las tablas expuestas anteriormente y en la imagen siguiente.



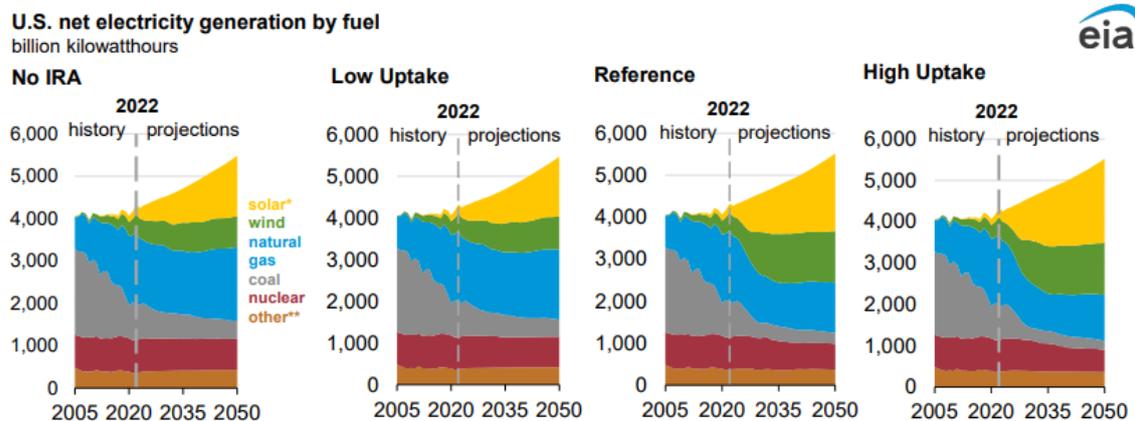
Gráfica 12: Capacidad instalada total en 2022 por escenarios. Fuente: EIA

Además, el estudio afirma que la demanda energética será satisfecha progresivamente en mayor medida por energías renovables, tal y como se puede observar en las siguientes imágenes, donde la generación eléctrica en Kilovatios hora (KWh) de las tecnologías de energía solar y eólica aumentan en todos los casos, y para 2050 generarían la mayoría de la energía en Estados Unidos en los casos de “Referencia” y “Alta adopción de la IRA”. De esta forma, un mayor uso de energías

renovables conduce a una reducción de la generación y al uso de tecnologías de almacenamiento, como son las baterías.

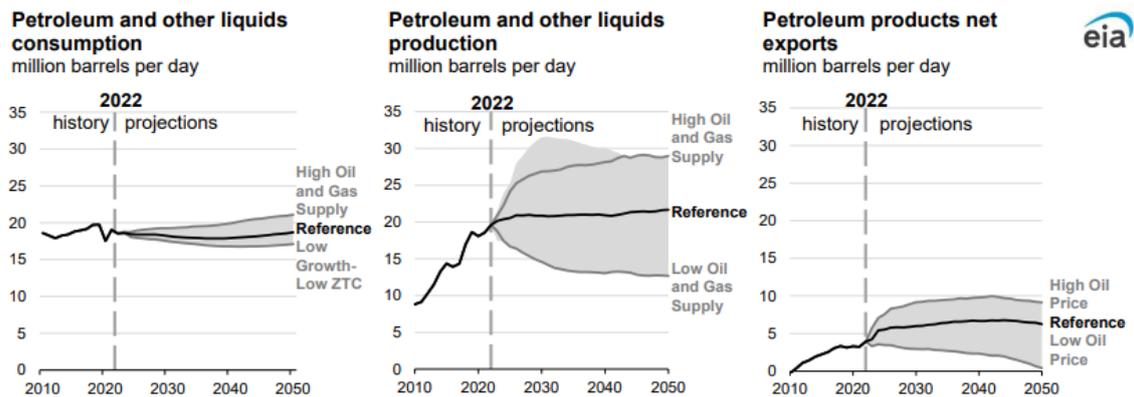


Gráfica 13: Generación de electricidad estimada por fuentes de energía. Fuente: EIA

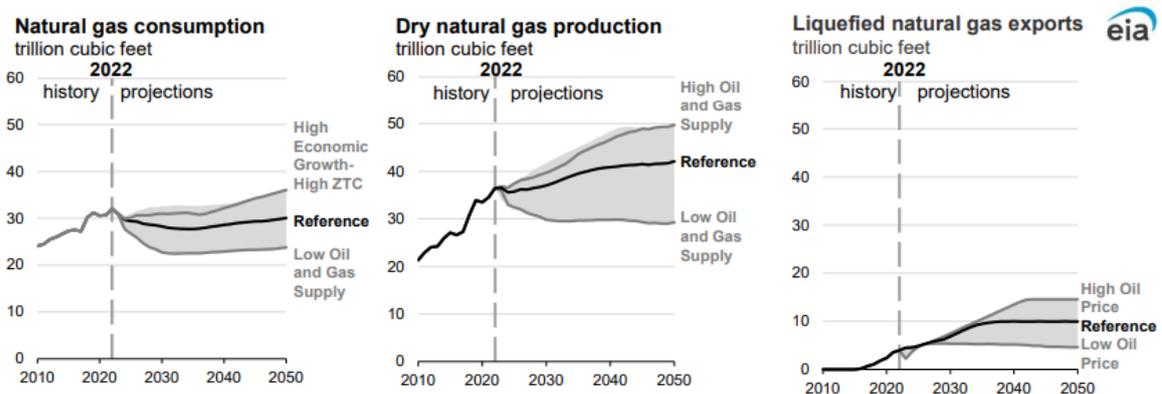


Gráfica 14: Gnereación de electricidad neta por fuentes. Fuente: EIA

Por último, en el “Annual Energy Outlook 2023” se proyecta que Estados Unidos siga siendo exportador neto de productos derivados del petróleo hasta 2050 y, aunque el consumo interno de gas natural licuado se intuye estable, las exportaciones de este producto impulsan su producción en el país. Estos datos son de gran interés y relevancia, ya que la situación macroeconómica de cada país, y su relación comercial con los distintos recursos naturales y fuentes de energía, tienen un impacto directo en su situación y tendencia energética.



Gráfica 15: Consumo, producción y exportación de petróleo en USA. Fuente: EIA



Gráfica 16: Consumo, producción y exportación de gas natural por USA. Fuente: EIA.

2.2 Estimaciones para el resto de las regiones

El caso de Estados Unidos es muy particular debido a la situación única causada por la aplicación de la política *Inflation Reduction Act*, y es la región para la cual existe la base de datos más detallada de la capacidad instalada proporcionada por una entidad pública, como EIA, así como de estimaciones futuras. Para el resto de las regiones del mundo, no existen bases de datos con pronósticos y escenarios tan detallados y extensos como la utilizada para Estados Unidos, por lo que la única solución es exponer como estado del arte los pronósticos de una fuente confiable.

Se ha decidido que el pronóstico elegido para el resto del mundo debe cumplir con los siguientes requisitos:

Los datos pronosticados deben ser de la capacidad instalada a gran escala, deben proporcionar pronósticos futuros suficientes para permitir el estudio y elaboración de estimaciones propias, y deben ser elaborados por una entidad pública, alejada de la tentación de manipular los datos objetivos para obtener financiación privada, como podrían tener entidades privadas.

Por lo tanto, la fuente seleccionada es la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), que se describe a sí misma como "el corazón del diálogo global sobre energía, proporcionando análisis fidedignos, datos, recomendaciones de políticas y soluciones del mundo real para ayudar a los países a proporcionar energía segura y sostenible para todos". Su informe titulado "Renovables 2022" es parte de una serie de informes elaborados anualmente por esta institución, donde "analizan el sector de la energía renovable, basándose en las políticas actuales y los desarrollos del mercado, así como pronosticar la implementación de tecnologías de energía renovable en electricidad, transporte y calefacción hasta 2027, al mismo tiempo que exploran los desafíos clave para la industria e identifican barreras para un crecimiento más rápido"¹⁰.

A lo largo del estudio, IEA afirma el gran aumento y expansión de las energías renovables, las cuales tienen previsto que aumenten sus capacidades instaladas de forma mucho más rápida que lo pronosticado en años anteriores. Esto es causa, según el estudio, de la crisis energética provocada por la invasión de Rusia a Ucrania, haciendo ver que la dependencia en los combustibles fósiles explotados por ciertos países es un gran riesgo para la estabilidad energética, y haciendo cada vez más competitivas en el mercado a las energías renovables. A su vez, en "Renewables 2022", queda contrastado que las políticas llevadas a cabo por distintas regiones hacen aumentar las estimaciones de capacidad renovable instalada en ellas, respecto a años anteriores. Ejemplo de estas políticas, que van a hacer aumentar exponencialmente las energías renovables, son la IRA en EE. UU. (más otras políticas climáticas que tienen a nivel estatal 37 de los 50 estados miembros), ya comentada anteriormente, la decimocuarta política de Plan a 5 años de China, o el plan "REPowerEU" llevada a cabo por la Unión Europea; políticas que se estima pueden acercarnos al objetivo de cero emisiones para 2050.

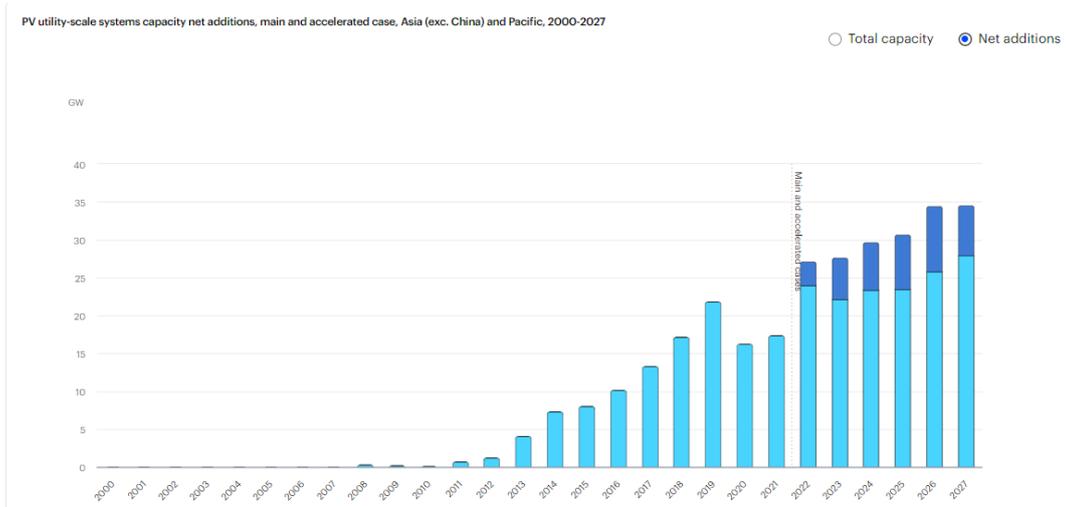
¹⁰ Agencia Internacional de Energía. (2022). Renewables 2022. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>

A su vez, IEA plantea en este estudio que las energías renovables serán la mayor fuente de energía que generarán electricidad, transformando el “mix” energético global. Más en concreto, afirma que la energía fotovoltaica será aquella con mayor potencia instalada para 2027, superando a carbón, y las fuentes de energía eólica puede duplicar su capacidad para el mismo año. Este aumento de la energía fotovoltaica vendría de la mano de nuevas políticas por parte de India y Estados Unidos, que podrían diversificar la fabricación de los módulos y paneles solares, aunque China siguiese siendo el mayor productor. La inversión en la fabricación de paneles solares en India y EE. UU. Se espera que alcance los 25 mil millones de dólares entre 2022 y 2027, aumentando siete veces más que los años anteriores. Por parte de la India, la iniciativa de “Incentivos Vinculados a la Producción” (PLI) logra reducir la diferencia de costes con los productores chinos en aproximadamente un 80%, mientras que los incentivos fiscales derivados de la IRA en Estados Unidos podrían también igualar los costes de producción de este país con los de China, promoviendo la compra local de los productos. Aún así, las inversiones hechas por China hacen que, aunque la cadena de suministro local de paneles solares se diversifique, sigan siendo los mayores fabricantes.

Otra de las razones por las que se argumenta un gran aumento de las energías renovables es la importancia que está teniendo la producción de hidrógeno verde, para la cual se estima que entre 25 países se enfoquen 50 GW de energía eólica y fotovoltaica exclusivamente para la producción de este tipo de combustible. Entre dichos países estarían China y Australia, pero también son muy relevantes Chile, Estados Unidos y regiones como Oriente Próximo y el Norte de África.

Habiendo explicado brevemente los argumentos base para las estimaciones llevadas a cabo por IEA, es importante aclarar que este informe incluye un panel de datos dinámico que permite a los usuarios explorar datos históricos y estimaciones para todos los sectores, regiones y tecnologías. Seleccionando los sistemas fotovoltaicos a gran escala como la tecnología de generación, las adiciones netas como los datos elegidos y la región deseada, se proporcionan dos pronósticos (Caso principal y Caso acelerado), que son las estimaciones anuales realizadas para las capacidades instaladas a gran escala, y que se presentan a continuación.

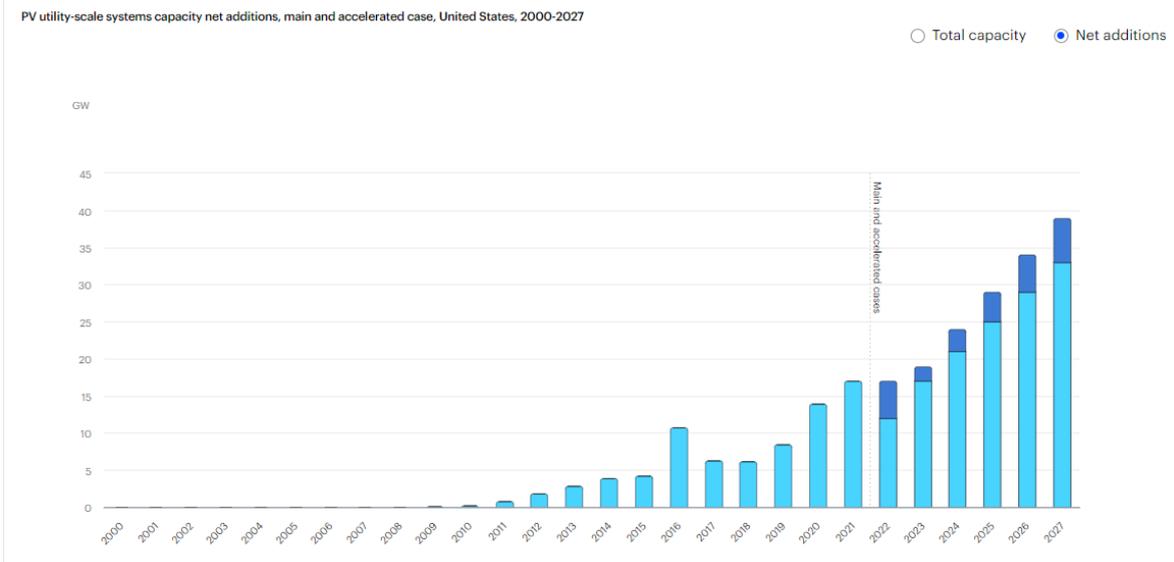
Los datos históricos de energía fotovoltaica a gran escala y las estimaciones previstas por EIA para las cinco regiones del estudio son las siguientes y, para una mejor visualización de los GWs instalados pronosticados, se incluyen tablas que los recogen.



Gráfica 17: Estimación GW instalados en Asia. Fuente: IEA

Year	Yearly Installed capacity cases (GW)	
	Caso más probable	Caso Acelerado
2022	24,00	27,20
2023	22,10	27,60
2024	23,40	29,70
2025	23,50	30,60
2026	25,80	34,40
2027	27,90	34,50

Tabla 4: Estimación de GW instalados en Asia. Fuente: Elaboración Propia.

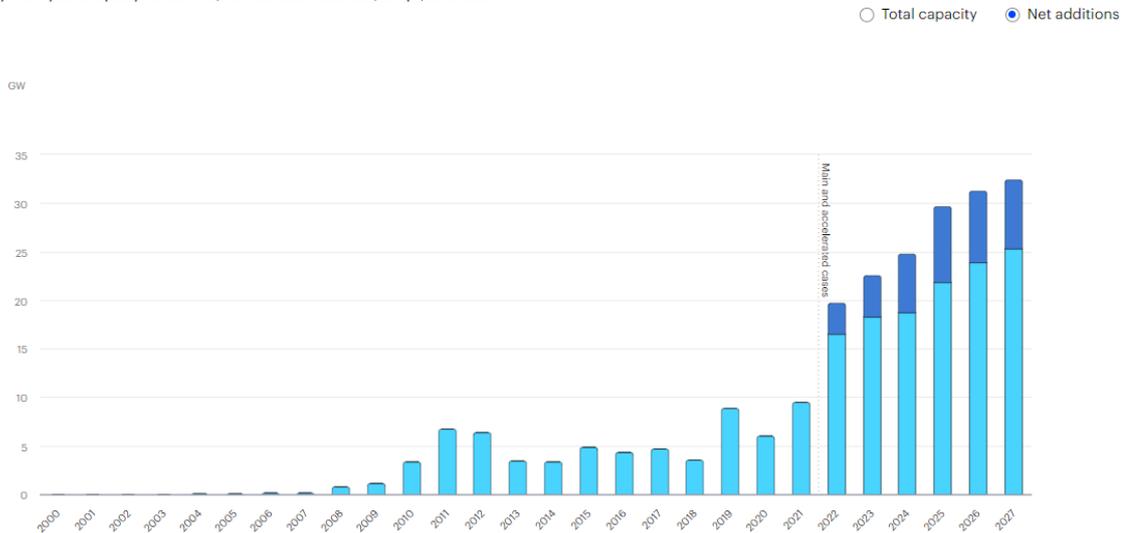


Gráfica 18: Estimación GW instalados en USA. Fuente: IEA

Yearly Installed capacity cases (GW)		
Year	Caso más probable	Caso Acelerado
2022	12,00	17,00
2023	17,00	19,00
2024	21,00	24,00
2025	25,00	29,00
2026	29,00	34,00
2027	33,00	39,00

Tabla 5: Estimación de GW instalados en USA. Fuente: Elaboración Propia.

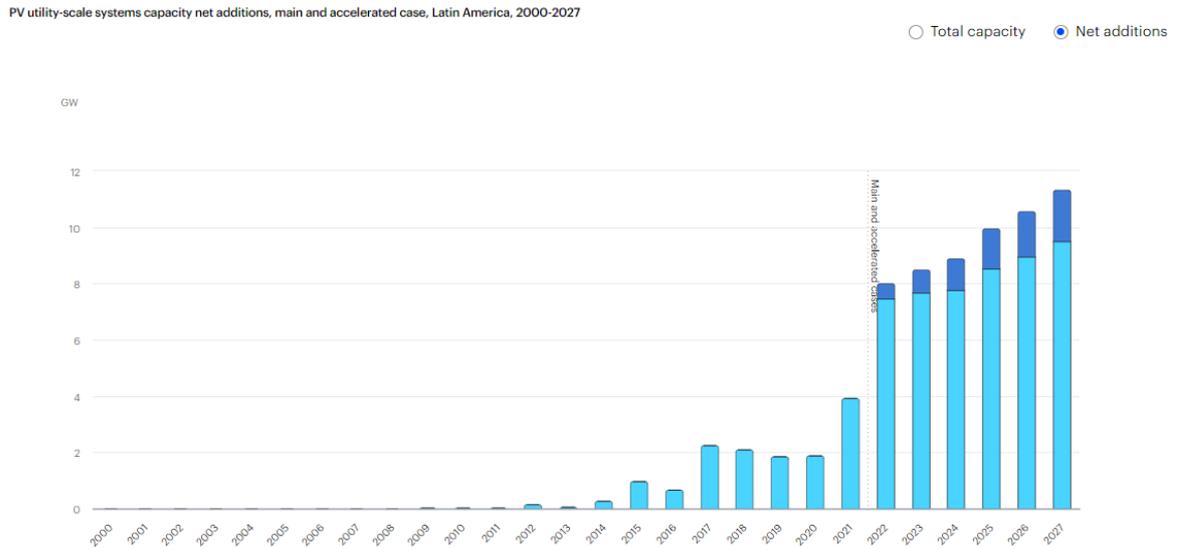
PV utility-scale systems capacity net additions, main and accelerated case, Europe, 2000-2027



Gráfica 19: Estimación GW instalados en Europa. Fuente: IEA

Yearly Installed capacity cases (GW)		
Year	Caso más probable	Caso Acelerado
2022	16,50	19,70
2023	18,30	22,60
2024	18,80	24,80
2025	21,90	29,70
2026	23,90	31,20
2027	25,40	32,50

Tabla 6: Estimación de GW instalados en Europa. Fuente: Elaboración Propia.

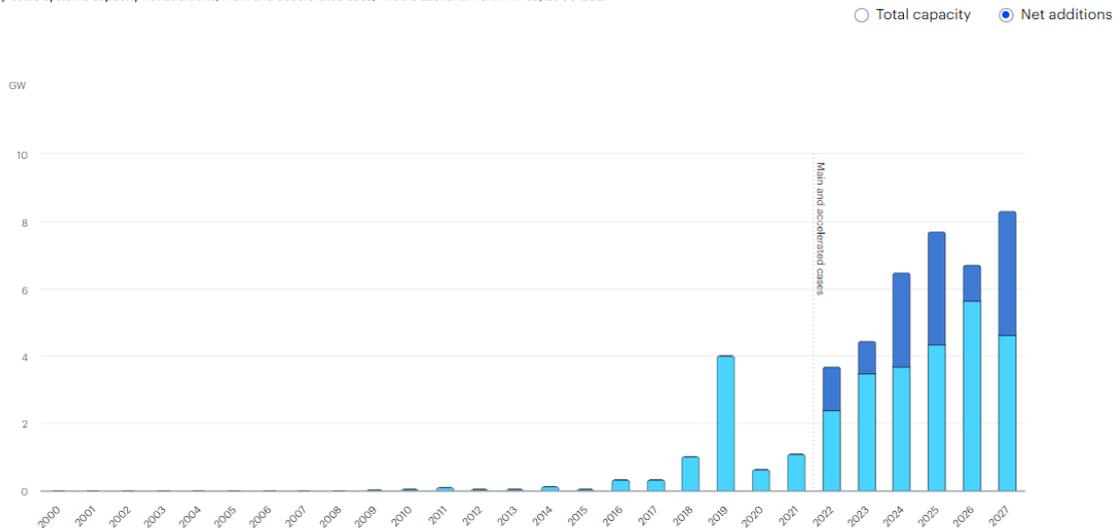


Gráfica 20: Estimación GW instalados en Latinoamérica. Fuente: IEA

Yearly Installed capacity cases (GW)		
Year	Caso más probable	Caso Acelerado
2022	7,50	8,00
2023	7,70	8,50
2024	7,80	8,90
2025	8,50	9,90
2026	8,90	10,50
2027	9,50	11,40

Tabla 7: Estimación de GW instalados en Latinoamérica. Fuente: Elaboración Propia.

PV utility-scale systems capacity net additions, main and accelerated case, Middle East and North Africa, 2000-2027



Gráfica 21: : Estimación GW instalados en Oriente Medio y Norte de África. Fuente: IEA

Yearly Installed capacity cases (GW)		
Year	Caso más probable	Caso Acelerado
2022	2,40	3,70
2023	3,50	4,50
2024	3,70	6,50
2025	4,30	7,70
2026	5,60	6,70
2027	4,60	8,30

Tabla 8: Estimación de GW instalados en Oriente Medio y Norte de África. Fuente: Elaboración Propia.

Tal y como podemos observar, todos los años hay un aumento de la capacidad instalada de energía fotovoltaica en todas las regiones estudiadas. Pero, si comparamos las estimaciones hechas por ambos estudios para Estados Unidos, cabe destacar que existe una gran variación en las estimaciones en función de los distintos casos. Es por ello que vemos necesario realizar nosotros mismos una previsión de cada una de las regiones expuestas, recogiendo los parámetros clave que se han estudiado en los estudios presentados además de complementarlos con otros nuevos.

Capítulo 3: Desarrollo del modelo propio de estimación

Una vez expuestas las previsiones realizadas por las instituciones EIA e IEA, ambas de gran reconocimiento dentro del sector energético, los cuales nos han servido de gran ejemplo, vamos a exponer y definir los parámetros y variables que serán estudiados y analizados para llevar a cabo nuestro propio modelo de estimación en EE. UU., el cual, sentará las bases para poder recomendar la forma de actuar para las demás regiones, a continuación mencionadas, para futuros trabajos de estimación a nivel global. Las otras regiones son: Asia (exc. China) & Pacífico, Unión Europea, Latinoamérica, y Oriente Medio & Norte de África.

3.1 Parámetros y variables del modelo

Los parámetros y variables a tener en cuenta a la hora de realizar nuestro modelo son:

- Variación del PIB (%PIB):

El Producto Interior Bruto medio de cada una de las regiones es uno de los parámetros a tener en cuenta, dada la importancia que los otros estudios le dan y al ser un indicador económico fundamental. Dado que el PIB es una medida clave para evaluar la salud económica y el tamaño de una economía, se entiende que un mayor aumento del PIB en un país o región específicos implica una estimulación de la economía en este, implicando mayores inversiones, las cuales pueden aumentar el número de proyectos energéticos. De igual manera, un indicador de crecimiento negativo podría ir de la mano de bajos niveles de inversión y poco desarrollo energético. De esta forma, la variación del PIB será un parámetro cuantitativo en nuestro estudio y hará referencia al porcentaje de crecimiento respecto al año anterior.

- Coste de las Plantas Fotovoltaicas (LCOE FV):

También usado en el estudio AEO2023, con este parámetro cuantitativo se pretende tener en cuenta el coste de generación eléctrica por parte de las plantas fotovoltaicas en comparación con otras fuentes de energía. Contabilizar de forma correcta este parámetro implica considerar varios factores, tales como:

- Los costes iniciales (CAPEX), que incluye la inversión inicial en la construcción de la planta de generación, que abarca la infraestructura y el equipamiento.
- Los costes de operación y mantenimiento (O&M), asociados con la operación continua, el mantenimiento y los gastos operativos de la planta.
- La vida útil de la instalación, es decir, la cantidad de años que se espera que la instalación esté en funcionamiento y genere electricidad.
- La Tasa de Descuento, utilizada para calcular el valor presente de los flujos de caja futuros.
- El Factor de Capacidad, que representa la eficiencia operativa de la instalación y se refiere a la proporción de la capacidad nominal que realmente se utiliza.

Todos estos factores se recogen en un único término denominado LCOE ("Levelized Cost of Electricity") o Costo Nivelado de la Electricidad en español. El LCOE, es una medida utilizada en el sector de la energía para evaluar y comparar el coste de producir electricidad a partir de diferentes fuentes de generación, es expresado en coste por unidad de electricidad generada (generalmente en dólares por megavatio-hora o €/MWh) y tiene en cuenta diversos factores a lo largo del ciclo de vida de una instalación de generación de energía. Un LCOE más bajo indica un costo por unidad de electricidad más competitivo y, por lo tanto, una mayor viabilidad económica de la tecnología de generación de energía en cuestión.

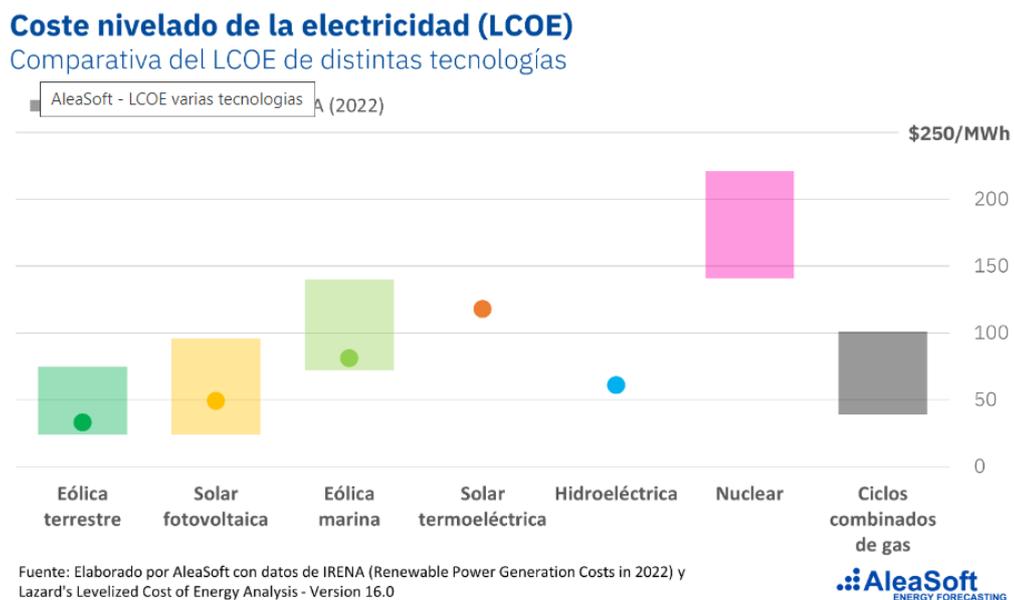
La fórmula para calcular el LCOE es:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Siendo:

- I_t los gastos de inversión en cada año t
- M_t los costes de operación y mantenimiento en el año t
- F_t el coste del combustible en el año t
- E_t es la producción de electricidad en el año t
- r es la tasa de descuento
- n es vida útil del sistema
- Para el año n habrá que sumar el coste de desmantelamiento si fuese necesario

Debido a la disminución de costes de los paneles solares, dada por la innovación tecnológica, las economías de escala, la experiencia, aprendizaje y creación de políticas gubernamentales, las energías fotovoltaicas han obtenido una gran competitividad en el mercado. Este hecho se observa en la disminución a nivel global del LCOE de las fotovoltaicas, que hace de la energía solar “la fuente de electricidad más barata de la historia”¹¹ según el artículo de World Energy Trade, el cual toma como base el World Energy Outlook de IEA. Este artículo enfatiza la importancia de las políticas climáticas vigentes en cada país con respecto a la disminución del LCOE de las fotovoltaicas, que a su vez está provocando que el LCOE para esta tecnología en distintos países del mundo se esté igualando, haciendo de esta fuente de energía una de las más competitivas a nivel mundial, tal y como se observa en las siguientes imágenes realizadas por AleaSoft¹² con datos de IRENA, en la que se comparan los LCOEs de las distintas tecnologías y cómo ha variado a nivel mundial el LCOE para la fotovoltaica.



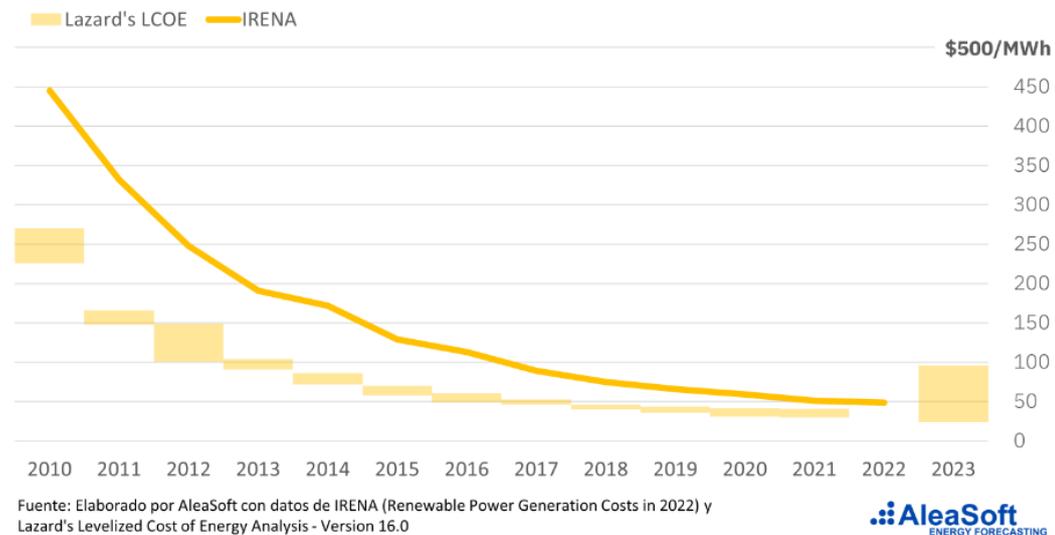
Gráfica 22: Coste nivelado de la Electricidad (LCOE) por tecnología. Fuente: AleaSoft

¹¹ World Energy Trade. (s.f.). Los costos de la energía solar caen a mínimos históricos. Recuperado de <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/los-costos-de-la-energia-solar-caen-a-minimos-historicos>

¹² AleaSoft. (s.f.). Caída del LCOE de energías renovables en la última década impulsa la transición energética. Recuperado de <https://aleasoft.com/es/caida-lcoe-energias-renovables-ultima-decada-impulsa-transicion-energetica/>

Coste nivelado de la electricidad (LCOE) de la solar fotovoltaica

Promedio del LCOE de proyectos de solar fotovoltaica 2010-2023



Gráfica 23: LCOE histórico para la fotovoltaica. Fuente: AleaSoft

De este modo, al analizar este parámetro, podremos estudiar como la variación de costes de la fotovoltaica afecta a su desarrollo.

- Coste de las Plantas Eólicas (LCOE Wind):

De igual forma que vamos a tener en cuenta el coste de generación eléctrica por parte de las plantas fotovoltaicas, tendremos también en cuenta el coste de las plantas eólicas, ya que, al incentivar la generación renovable, tiene sentido comparar el coste de generación de ambas tecnologías y estudiar la relación que puede haber con el aumento de la capacidad fotovoltaica.

- Nuevos GW de eólica (GW):

Relacionado con la variable anterior, se estudiará si hay relación entre la nueva capacidad instalada de fotovoltaica y de eólica en el modelo.

- Emisiones de CO2:

Dadas las históricas intenciones por parte de un gran número de países a nivel mundial de disminuir las emisiones de CO2, y su teórica solución a través del aumento de la capacidad de energías renovables, se tendrá en cuenta la evolución de las emisiones en el modelo.

- Precio del Petróleo (\$ Barril Brent):

Parámetro usado en las estimaciones de EIA, el cual es un “commodity” o producto básico. El “barril de Brent” se refiere a un tipo específico de petróleo crudo que se extrae en el Mar del Norte, conocido por su calidad relativamente alta, y es considerado como un indicador del precio del petróleo a nivel mundial, al utilizarse como referencia para establecer los precios de muchos otros tipos de petróleo. El estudio del precio del Barril de Brent y su relación con los nuevos GWs instalados de energía fotovoltaica es muy interesante de analizar, y como fuente fiable para obtener sus valores históricos recurriremos a Bloomberg.

- Implantación de nuevas políticas climáticas:

Tal y como se ha observado en el capítulo anterior, tanto el estudio realizado por EIA como el de IEA hacen gran hincapié en la importancia de la aplicación de nuevas políticas climáticas a la hora de estimar capacidades futuras, las cuales, según los estudios, hacen que crezcan significativamente. Dado que no todas las políticas climáticas llevadas a cabo tienen un impacto instantáneo y directo en la sociedad, sino que hay muchas de ellas que son objetivos a largo plazo, dividiremos este parámetro en dos variables “dummy” distintas, donde cada una será binaria, tomando el valor 1 si hay una política climática de este tipo en vigor y 0 si no la hay. De esta forma, por un lado, estará la variable “Políticas Climáticas Fuertes (PCF)”, las cuales serán aquellas en las que se observa que han marcado un antes y un después a corto plazo en el desarrollo de energías limpias en el país o región en cuestión; y, por otro lado, las “Políticas Climáticas Débiles (PCD)”, que hará referencia a aquellas políticas enfocadas en objetivos a más largo plazo y que por tanto no tienen un efecto inmediato en las inversiones energéticas. De esta forma, a través de estas dos variables, podemos incluir en el análisis estadístico la contribución que tiene la aplicación de políticas climáticas sólidas al aumento de la capacidad fotovoltaica.

- Índice de riesgo climático global (IRC):

Aunque no está contemplado dentro de los estudios presentados, este parámetro es una medida que evalúa la vulnerabilidad de los países a los eventos climáticos extremos y los impactos relacionados con el cambio climático. Este índice se basa en diversos factores, incluyendo la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como tormentas, inundaciones, sequías y olas de calor, así como la capacidad de los países para mitigar y adaptarse a los impactos del cambio

climático, teniendo en cuenta factores como el desarrollo económico, la infraestructura, la gobernanza y la preparación. De esta forma, este índice hace un ranking de los países en función de su riesgo, siendo el país con ranking 1 el de mayor riesgo, tomando la variación de los factores comentados 10 años hacia atrás. Este parámetro será estudiado en nuestro modelo al ser una herramienta valiosa para comprender cómo diferentes naciones pueden estar afectadas de manera desigual por los fenómenos climáticos extremos y cómo están posicionadas para enfrentar estos desafíos, analizando cómo afectan estos hechos al desarrollo de la energía fotovoltaica. Para poder dar valor a esta variable para las regiones, se valorará el ranking que tiene cada país incluido en cada región, y así poder clasificarlo.

- Hectáreas por MW instalado para fotovoltaica:

Seguramente muy relacionado con el cálculo del LCOE FV, al ser una inversión inicial. Dado que IRENA nos facilita la media de hectáreas por MW de fotovoltaica instalado históricamente año a año, se ha decidido incluirlo en el modelo.

• Consumo de carbón:

Como uno de los principales combustibles para la generación de electricidad y para el calentamiento de los hogares, siendo una alternativa a la instalación de energía fotovoltaica, se estudia el consumo del carbón como posible variable independiente significativa.

3.2 Datos históricos de los parámetros seleccionados para EE. UU.

Al recoger los datos históricos de los parámetros mencionados en el apartado anterior, se ha decidido recoger datos hasta 2013, es decir, tener datos históricos reales de diez años, los cuales creemos que son suficientes como para poder realizar un buen estudio estadístico y observar de forma correcta cómo cada parámetro afecta a la instalación de nueva energía fotovoltaica a gran escala.

Dado que es el país que está teniendo uno de los mayores incrementos de fotovoltaica a nivel mundial, y del que más valores públicos, tanto históricos como estimados, se tienen; hemos decidido enfocar el trabajo en el estudio y estimación de los nuevos GW a instalar anualmente hasta 2028 en Estados Unidos, así como el número de plantas fotovoltaicas asociadas a ellos.

Sus datos históricos son:

	nuevos GW FV	PIB	LCOE	Barril Brent	PCF	PCD	IRC
Unidades	GW	[% crec. Resp. Año anterior]	[2023 USD/Mwh]	\$ spot promedio	"1"=Sí "0"=No	"1"=Sí "0"=No	Pos. Ranking
2013	2,76	2,10	260,05	106,10	0	1	26
2014	3,41	2,50	182,19	96,62	0	1	25
2015	3,46	2,90	172,81	52,55	0	1	28
2016	8,11	1,80	160,77	44,30	0	1	10
2017	5,24	2,50	119,50	54,41	0	1	12
2018	4,92	3,00	94,95	70,63	0	1	12
2019	5,63	2,50	81,47	64,54	0	1	16
2020	10,67	-2,20	67,77	42,93	0	1	15
2021	13,64	5,80	62,43	70,57	0	1	15
2022	14,63	1,90	60,96	101,29	1	1	14

Tabla 9: Datos históricos de las variables (1/2). Fuente: Elaboración propia

	nuevos GW FV	Emisiones CO2	Nuevos GW Onshore Wind	LCOE Onshore Wind	Hectares por MW FV	Consumo de Carbón
Unidades	GW	MtCO2	GW	[2023 USD/Mwh]	ha/MW	Mt
2013	2,76	5153	0,90	83,03	2,45	837
2014	3,41	5194	4,30	72,20	2,20	831
2015	3,46	5047	8,30	69,80	2,12	722
2016	8,11	4955	8,70	67,39	2,17	663
2017	5,24	4891	6,30	61,37	2,05	650
2018	4,92	5001	6,90	57,76	1,99	625
2019	5,63	4892	9,20	55,36	1,94	533
2020	10,67	4373	16,90	43,99	1,94	433
2021	13,64	4677	13,40	35,19	1,94	494
2022	14,63	4735	10,00	30,48	1,94	469

Tabla 10: Datos históricos de las variables (2/2). Fuente: Elaboración propia

Respecto a los datos históricos de Estados Unidos, cabe destacar que:

Para obtener el valor de la **nueva capacidad (GW)** de fotovoltaica instalada anualmente en este país, se han obtenido los datos de todas las plantas fotovoltaicas instaladas anualmente, junto con su capacidad, pudiendo así calcular el aumento de capacidad fotovoltaica a escala de servicios en

GWs. Concretamente, estos datos los hemos obtenido de la propia base de datos de EIA, del último informe revisado EIA-860 publicado¹³, el cual es del año 2022, y del libro Excel titulado “3_3_SolarY2022”, en el cual, a través del uso de tablas dinámicas, hemos podido obtener los datos anuales mostrados.

Respecto a la **variación del PIB** de EE. UU., hemos podido obtener estos datos históricos de la página de “Trading Economics”¹⁴, los cuales hemos verificado con Bloomberg, pero dado que Bloomberg solamente nos ofrecía datos hasta 2016, finalmente nos decantamos por usar la primera fuente.

Por su parte, los valores del **LCOE** se han obtenido directamente de IRENA¹⁵ (“International Renewable Energy Agency”), en la que están publicados. Estos valores, que se ofrecían en USD 2019, se han convertido a USD 2023 a través de la inflación anual conocida.

El precio del **Barril Brent** lo hemos podido obtener directamente de Bloomberg, el cual, al ser una “commodity”, tiene un valor dinámico en bolsa y en concreto sus valores “spot” son globales. Para poder determinar un precio anual, hemos descargado los precios “spot” diarios de los años correspondientes y a través del uso de tablas dinámicas hemos podido obtener fácilmente los valores promedio anuales. Tal y como hemos comentado, al ser precios globales, esta columna será igual para las demás regiones.

Comentando las **Políticas Climáticas**, dado que Estados Unidos aprobó la Ley de Política Energética (Energy Policy Act) en 1992, en la que aborda diversos aspectos de la política energética en Estados Unidos, incluyendo disposiciones relacionadas con energías renovables y eficiencia energética, y ha sido partícipe del Acuerdo de París, los cuales clasificamos como débiles, al estar enfocados a largo plazo, se ha determinado que durante los años estudiados (2013 a 2022) ha tenido vigentes políticas climáticas débiles. A su vez, debido a la entrada en vigor de la “Inflation Reduction Act” en

¹³ Administración de Información de Energía. (s.f.). Electric Power Annual Data - Form EIA-860. Recuperado de <https://www.eia.gov/electricity/data/eia860/>

¹⁴ Trading Economics. (s.f.). Full Year GDP Growth United States. Recuperado de <https://es.tradingeconomics.com/united-states/full-year-gdp-growth>

¹⁵ IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (s.f.). Solar costs. Recuperado de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Solar-costs>

2022, la cual ha revolucionado la inversión en energías renovables, tiene en 2022 una política climática fuerte vigente.

Las **Emisiones de CO₂** por parte de Estados Unidos han ido disminuyendo anualmente, salvo ciertos repuntes específicos, tal y como se han comprometido en los diversos acuerdos internacionales y políticas estatales. Los datos históricos se han obtenido de Enerdata¹⁶, y están expresados en Megatoneladas de CO₂.

Para obtener las nuevas capacidades instaladas de energía eólica terrestre de los últimos años (**Nuevos GW Onshore Wind**), hemos recurrido a IEA¹⁷, expresando los datos en GW. Y para el LCOE de la energía eólica terrestre (**LCOE Onshore Wind**), se ha recurrido a IRENA¹⁸, donde, al igual que para el LCOE FV, los valores se ofrecían en USD 2019 y se han convertido a USD 2023 a través de la inflación anual conocida.

Además, para determinar las **Hectáreas por MW FV**, expresados en ha/MW, es una media a nivel mundial que recogió IRENA en la publicación “Power Generation Cost 2021”¹⁹, en la cual incluye la media de hectáreas usadas por MW instalado para plantas fotovoltaicas desde 2010. Por último, el **Consumo de Carbón**, expresado en Megatoneladas, se obtiene de Enerdata²⁰, como las Emisiones de CO₂.

3.3 Desarrollo del modelo de estimación

A la hora de realizar el estudio estadístico hemos decidido utilizar Excel como herramienta, a través de la activación de la opción “Análisis de Datos”.

¹⁶ Enerdata. (s.f.). Emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles. Recuperado de <https://datos.enerdata.net/co2/emisiones-CO2-procedentes-quema-combustible.html>

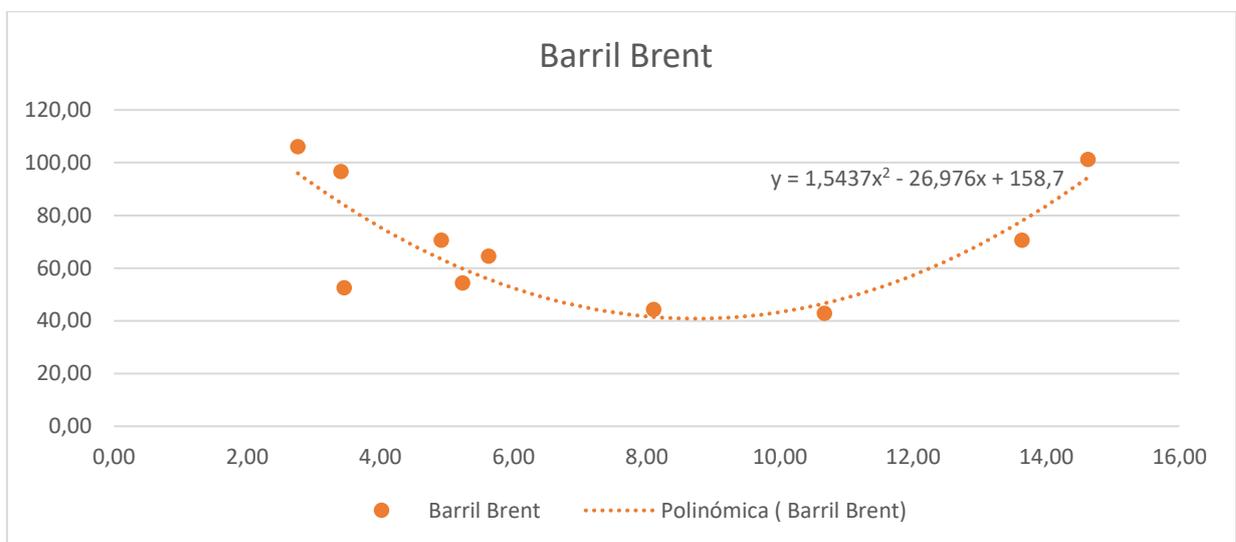
¹⁷ Agencia Internacional de Energía. (s.f.). Renewables Data Explorer. Recuperado de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-data-explorer>

¹⁸ IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (s.f.). Wind Costs. Recuperado de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Wind-Costs>

¹⁹ IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (2021). Power Generation Costs 2021. Recuperado de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8

²⁰ Enerdata. (s.f.). Consumo mundial de carbón. Recuperado de <https://datos.enerdata.net/carbon-lignito/consumo-mundial-carbon.html>

Inicialmente, antes de realizar cualquier tipo de estudio, es necesario observar la relación que existe entre la variable dependiente “Nuevos GW FV” y el resto de las variables independientes. Al realizar este ejercicio, observamos que todas las variables independientes tienen una distribución más o menos lineal respecto a la variable dependiente, excepto el precio del Barril Brent, el cual tiene una relación parabólica (en forma de U) con la variable dependiente, tal y como se observa en la gráfica siguiente, siendo necesario hacer una Transformación Cuadrática de la variable, para lo cual simplemente elevaremos al cuadrado sus valores y de ahora en adelante se usará la variable “Barril Brent ^2” en el estudio estadístico.



Gráfica 24: Relación entre el precio Spot del Barril Brent y los nuevos GW fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia

1. Lista de variables independientes: PIB, LCOE FV, Brent ², PCF, PCD, IRC, Emisiones CO2, GW Wind, LCOE Wind, ha por MW FV, Consumo de carbón.

Haciendo un primer uso de la herramienta “Análisis de Datos” ofrecida por Excel, observamos que tanto para la variable independiente de políticas climáticas débiles en vigor “PCD”, como para la de índice de riesgo climático “IRC”, el p_valor asociado a ellas no es calculable, indicándonos directamente que su relevancia en el estudio no es suficiente.

Es importante dejar claro que en el análisis estadístico estamos intentando dar valor a la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{nuevos GW FV} = & \beta_0 + \beta_1 * \text{PIB} + \beta_2 * \text{LCOE FV} + \beta_3 * \text{Brent}^2 + \beta_4 * \text{PCF} + \beta_5 * \text{PCD} + \beta_6 \\ & * \text{IRC} + \beta_7 * \text{Emisiones CO2} + \beta_8 * \text{GW Wind} + \beta_9 * \text{LCOE Wind} + \beta_{10} \\ & * \text{ha por MW FV} + \beta_{11} * \text{Consumo Carbón}. \end{aligned}$$

La herramienta nos facilita, entre otros muchos datos que se comentarán después, los coeficientes de las variables independientes, es decir, las β s, que nos indicarán si dichas variables independientes están relacionadas directamente con la variable dependiente (si son positivas), indicando que a medida que aumenta la variable independiente lo hace también la dependiente, o indirectamente (si son negativas), indicando que a medida que aumenta la variable independiente disminuye la dependiente. A su vez, también nos facilita la “probabilidad” de cada una de las variables independientes, es decir, sus p_{valor} , el cual, dado que hemos indicado que queremos que nuestro modelo tenga una significancia del 95%, si son menores a 0,05 implica que dicha variable es significativa en el modelo, y si es mayor a 0,05 no lo es.

2. *Lista de variables independientes: PIB, LCOE FV, Brent², PCF, Emisiones CO2, GW Wind, LCOE Wind, ha por MW FV, Consumo de carbón.*

Seguidamente, se realiza un nuevo estudio para determinar si las demás variables son significativas, en el cual se observa que la mayoría no lo son, pero dado que puede haber relación entre las variables, decidimos ir quitando una a una aquellas que son menos significativas, empezando por el consumo de carbón, el cual es el menos significativo de todos.

	<i>Probabilidad</i>
Consumo de Carbón	0,93735349

Tabla 11: P_{valor} del consumo de carbón. Fuente: Excel

3. *Lista de variables independientes: PIB, LCOE FV, Brent², PCF, Emisiones CO2, GW Wind, LCOE Wind, ha por MW FV.*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99740709
Coefficiente de determinación R ²	0,99482091
R ² ajustado	0,95338821
Error típico	0,93591769
Observaciones	10

Valor crítico de F
 0,15661257

	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0,26959617
PIB	0,98063917
LCOE FV	0,5251129
Barril Brent^2	0,54552415
Emisiones CO2	0,62419219
Nuevos GW Onshore Wind	0,52904191
LCOE Onshore Wind	0,68689278
Hectares per MW FV	0,22838555
PCF	0,71474151

Tabla 12: Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_valores de las 8 variables independientes.

Fuente: Excel

De nuevo, como podemos observar, aunque la significancia global del modelo es buena, al ser el coeficiente de determinación (R^2) muy próximo a 1, el cual indica la proporción de la variabilidad en la variable dependiente que es explicada por el modelo, y el R^2 ajustado también es muy elevado, el cual indica lo mismo que el Coeficiente de determinación, pero penalizando por número de variables utilizadas, podemos observar que el valor crítico de F es superior a 0.05, implicando que ninguna de las variables independientes son significativas para el modelo, tal y como también podemos observar individualmente en las probabilidades de cada variable.

De esta forma, decidimos estudiar la multicolinealidad en el modelo, a través del cálculo del Factor de Inflación de la Varianza (VIF) para cada una de las variables. Para ello se necesita calcular previamente la matriz de correlación (R^2) para cada variable independiente entre sí, sus Tolerancias y sus VIFs, según las siguientes fórmulas.

$$T = 1 - R^2$$

$$VIF = \frac{1}{T}$$

La matriz de correlación resultante es:

	PIB	LCOE FV	Barril Brent ²	CO2	Nuevos GW Wind	LCOE Wind	ha por MW FV	PCF
PIB	1,000							
LCOE FV	0,025	1,000						
Barril Brent ²	0,183	0,364	1,000					
Emisiones CO2	0,419	0,771	0,414	1,000				
Nuevos GW Onshore					1,000			
LCOE Onshore						1,000		
Wind	-0,284	-0,799	-0,566	-0,922	1,000			
LCOE Onshore							1,000	
Wind	-0,019	0,920	0,112	0,801	-0,782	1,000		
Hectares per MW FV	0,010	0,983	0,440	0,710	-0,786	0,864	1,000	
PCF	-0,069	-0,348	0,477	-0,225	0,119	-0,568	-0,301	1,000

Tabla 13: Matriz de correlación del modelo con 8 variables independientes. Fuente: Excel

Y la de VIFs es la siguiente:

	VIF							
	PIB	LCOE FV	Barril Brent ²	Emisiones CO2	Nuevos GW Wind	LCOE Onshore Wind	Hectares per MW FV	PCF
PIB	-	1,00	1,03	1,21	1,09	1,00	1,00	1,00
LCOE FV		-	1,15	2,47	2,76	6,53	28,88	1,14
Barril Brent²			-	1,21	1,47	1,01	1,24	1,30
Emisiones CO2				-	6,68	2,80	2,02	1,05
Nuevos GW Wind					-	2,58	2,61	1,01
LCOE Onshore Wind						-	3,94	1,48
Hectares per MW FV							-	1,10
PCF								-

Tabla 14: Matriz de Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para el modelo de 8 variables independientes.

Fuente: Elaboración propia

Observando el valor del VIF del LCOE FV y Hectáreas por MW FV, al ser mayor que 10 implica que existe un problema de multicolinealidad entre ellas, lo cual tiene sentido, ya que el precio de generación por parte de las fotovoltaicas, como observamos con la fórmula del LCOE, depende de

las inversiones, y la inversión inicial estará muy relacionada con la cantidad de hectáreas que se deban de obtener para llevar a cabo la instalación, por lo que, se debe eliminar alguna de las variables. Probando a eliminar por separado cada una de ellas, se llega a la conclusión que es más favorable para el modelo eliminar la variable LCOE FV.

4. *Lista de variables independientes: PIB, Brent², PCF, Emisiones CO2, GW Wind, LCOE Wind, ha por MW FV.*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,99518769
Coefficiente de determinación R ²	0,99039854
R ² ajustado	0,95679343
Error típico	0,90108266
Observaciones	10

Valor crítico de F
0,03320372

	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0,17085017
PIB	0,30325693
Barril Brent ²	0,13747007
Emisiones CO2	0,22809895
Nuevos GW Onshore Wind	0,8548374
LCOE Onshore Wind	0,08905486
Hectares per MW FV	0,06455165
PCF	0,53464706

Tabla 15: *Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_ valores de las 7 variables independientes.*

Observando los resultados, podemos intuir que el modelo va obteniendo significado y relevancia, tal y como muestran los coeficientes R², el valor crítico de F y la significancia de algunas de las variables.

De esta forma, excluimos la variable “Nuevos GW Onshore Wind”, al no ser significativa.

5. *Lista de variables independientes: PIB, Brent², PCF, Emisiones CO2, LCOE Wind, ha por MW FV.*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99508385
Coeficiente de determinación R ²	0,99019186
R ² ajustado	0,97057559
Error típico	0,74360734
Observaciones	10

<i>Valor crítico de F</i>
0,00419985

	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	0,08057971
PIB	0,14156918
Barril Brent ²	0,03059362
Emisiones CO2	0,11807491
LCOE Onshore Wind	0,01919507
Hectares per MW FV	0,0147898
PCF	0,32861871

Tabla 16: Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_ valores de las 6 variables independientes.

Analizando el nuevo modelo, se llega a la conclusión de que también hay que deshacerse de la variable PIB por los mismos motivos, así como de las Emisiones de CO2, teniendo siempre en cuenta la posibilidad de multicolinealidad y de correlaciones entre variables.

A su vez, cabe mencionar que se ha decidido no eliminar la variable PCF, la cual hace referencia a las Políticas Climáticas Fuertes, en el caso de Estados Unidos a la “Inflation Reduction Act”, debido a la influencia contrastada que ha tenido la aplicación de esta política. Que el modelo indique que no es significativa es signo de que se podría mejorar en el futuro.

6. Lista de variables independientes: Brent², PCF, LCOE Wind, ha por MW FV.

Los resultados del modelo son:

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,9871863
Coeficiente de determinación R ²	0,9745368
R ² ajustado	0,95416623
Error típico	0,92807386

Observaciones 10

Valor crítico de F

0,00035553

	<i>Coefficientes</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	-17,813551	0,07024208
Barril Brent^2	-0,00040251	0,03769128
LCOE Onshore Wind	-0,42423121	0,00034341
Hectares per MW FV	24,8744991	0,0043841
PCF	1,49535306	0,38868555

Tabla 17: Estadísticas de la regresión, Valor crítico de F y p_valores de las 4 variables independientes del modelo final. Fuente: Excel

Observando los coeficientes de correlación, determinación y R² ajustado, podemos decir que la significancia global del modelo es alta. A su vez, comparándolo con modelos anteriores, el valor crítico de F mejora, indicando que hay variables significativas, cosa que podemos observar en la probabilidad de cada una de las variables independientes, las cuales son todas significativas (p_valor < 0.05) excepto la PCF, que, tal y como hemos explicado anteriormente, dada su importancia teórica y debido a que al excluirla la adaptación del modelo no mejora, hemos decidido dejarla en el modelo.

Respecto a la matriz de correlación, insertada a continuación, podemos observar que existe una fuerte correlación positiva, entre la variable de Hectáreas y la del LCOE para las eólicas. Para poder remediar este problema se ha estudiado incluir una nueva variable que sea múltiplo de ambas (hectáreas por MW FV * LCOE Onshore Wind), la cual ha dado peores resultados en el modelo, por lo que son correlaciones que tendremos que asumir.

	<i>Barril Brent^2</i>	<i>LCOE Onshore Wind</i>	<i>Hectares per MW FV</i>	<i>PCF</i>
Barril Brent^2	1,000			
LCOE Onshore Wind	0,112	1,000		
Hectares per MW FV	0,440	0,864	1,000	
PCF	0,477	-0,568	-0,301	1,000

Tabla 18: Matriz de correlación del modelo final. Fuente: Excel

Por parte de los Factores de Inflación de la Varianza (VIFs), al no superar ninguno el valor límite de 10, se puede concluir que el modelo al que hemos llegado no tiene ningún problema de multicolinealidad.

	Barril Brent^2	LCOE Onshore Wind	Hectares per MW FV	PCF
Barril Brent^2	-	1,01	1,24	1,30
LCOE Onshore Wind		-	3,94	1,48
Hectares per MW FV			-	1,10
PCF				-

Tabla 19: Matriz de Factores de Inflación de la Varianza (VIF) para el modelo final. Fuente: Elaboración propia

De esta forma, observando los coeficientes de cada variable independiente, nuestro modelo final para estimar los nuevos GW de FV en Estados Unidos es:

$$\text{nuevos GW FV} = -17,813551 - 0,00040251 * \text{Brent}^2 + 1,49535306 * \text{PCF} - 0,42423121 * \text{LCOE Wind} + 24,8744991 * \text{ha por MW FV}$$

3.4 Estimación de nuevos GW en Estados Unidos

Para la estimación de los nuevos GW a instalar de fotovoltaica a nivel de servicios en EE. UU. Hasta 2028, debemos de tener las estimaciones de los valores de las variables independientes del modelo final hasta el mismo año.

- **Precio Spot Barril Brent (\$):**

En la base de datos de EIA²¹ se nos ofrecen los valores estimados del precio spot del barril de petróleo Brent hasta 2050, los cuales están en valor USD 2022/barril, utilizando el valor de la inflación, tal y como hemos hecho previamente, obtenemos el precio del barril valorado en dólares

²¹ Administración de Información de Energía. (s.f.). Annual Energy Outlook 2023 - Datos del Explorador. Recuperado de <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=12-AEO2023&cases=ref2023&sourcekey=0>

en 2023, tal y como hemos realizado el modelo, y lo elevamos a 2 para tener el valor de la variable *Barril Brent*², obteniendo los siguientes valores:

	Barril Brent (\$2022)	Barril Brent (\$2023)	Barril Brent²
2023	92	96,692	9349,34
2024	93	97,743	9553,69
2025	87	91,437	8360,72
2026	88	92,488	8554,03
2027	88	92,488	8554,03
2028	89	93,539	8749,54

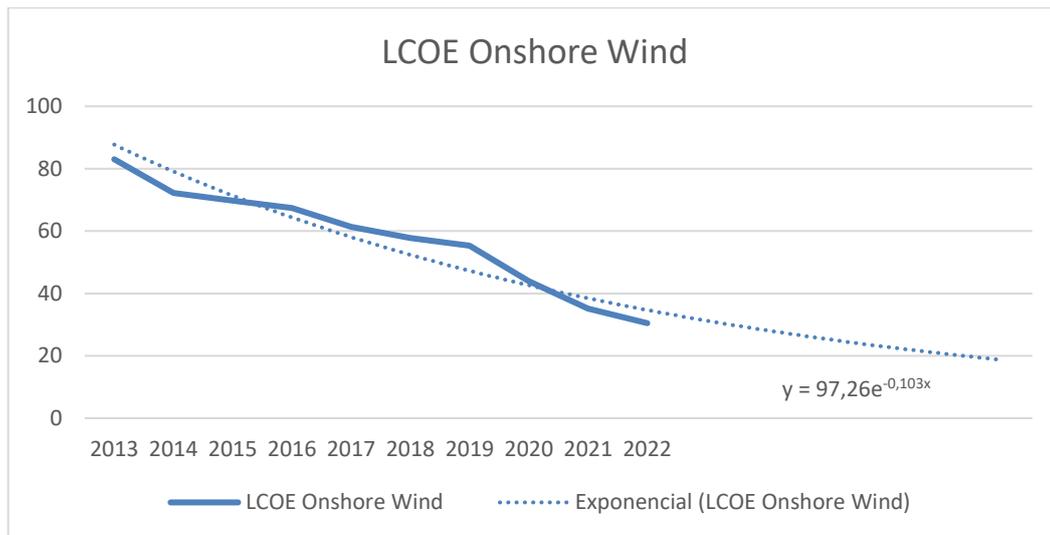
Tabla 20: Valores futuros de la variable asociada al precio spot del Barril Brent. Fuente: Elaboración Propia

- **Políticas climáticas Fuertes (PCF):**

Dado que la *Inflation Reduction Act* presuntamente está vigente hasta 2032, se ha decidido modelar esta variable binaria como si hasta 2028 hubiese una Política Climática Fuerte en vigor, por este motivo.

- **LCOE Eólica Terrestre:**

Dado que los valores futuros de LCOE para la energía eólica terrestre no ha sido estimada por ninguna fuente fiable, se ha decidido estimarla a través de una línea de tendencia, recurso que sabemos que tiene un error asociado, pero que se plantea como única alternativa. De esta forma, representando los valores históricos presentados anteriormente, y dibujando la línea de tendencia que más se ajusta a ellos, obtenemos la siguiente gráfica:



Gráfica 25: Estimación del LCOE (USD 2023/MWh) para eólicas terrestres futuras. Fuente: Elaboración propia

La línea de tendencia escogida es una exponencial, ya que la de tipo lineal indicaba que el valor en 2028 sería muy cercano a 0, lo cual creemos que es bastante improbable, por lo que hemos utilizado la siguiente línea que mejor se adapta y representa la tendencia de los datos, que es la exponencial. Como resultado, usando la ecuación de la línea de tendencia ($y = 97,26 * e^{-0,103*x}$), se estiman los valores del LCOE hasta 2028.

	LCOE Onshore Wind
2023	31,32
2024	28,26
2025	25,49
2026	23,00
2027	20,75
2028	18,72

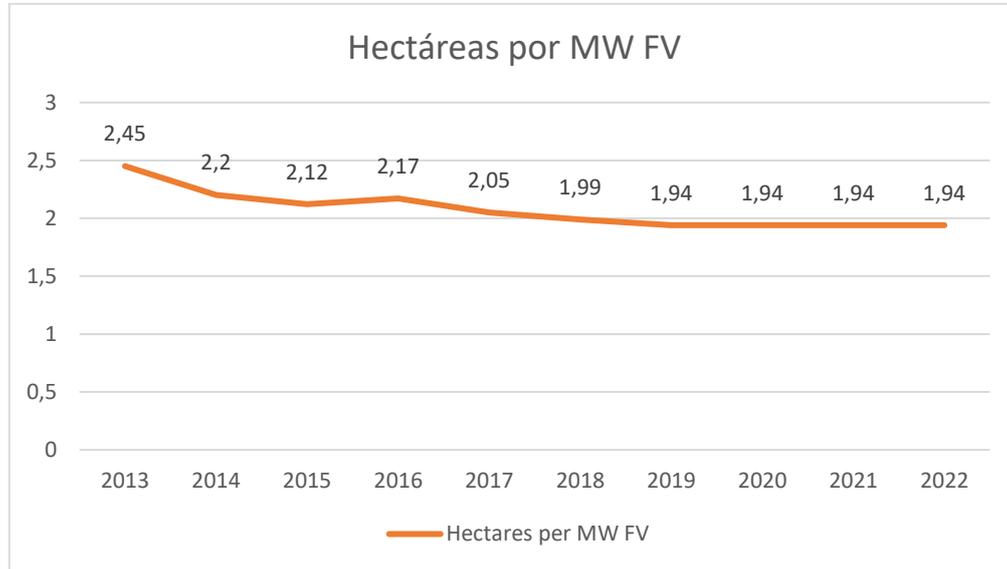
Tabla 21: Estimación del LCOE (USD 2023/MWh) para eólicas terrestres futuras. Fuente: Elaboración propia

- **Hectáreas por MW de FV:**

De la misma forma que para el caso del LCOE para las eólicas, se deben de estimar estos valores.

Observando la representación de los valores históricos, llegamos a la conclusión de que existe un estancamiento en la tendencia de esta variable, por lo que, para intentar no alterar los datos y ser

lo más imparcial posible, se ha decidido utilizar el valor tope de 1.94, en el cual lleva varios años estancado el número de Hectáreas por MW de FV.



Gráfica 26: Representación histórica de las hectáreas por MW de fotovoltaica instalado. Fuente: Elaboración propia

Resultado de la estimación:

De esta forma, los valores futuros de las variables independientes son:

	Barril Brent²	LCOE Onshore Wind	Hectares per MW FV	PCF
2023	9349,34	31,32	1,94	1,00
2024	9553,69	28,26	1,94	1,00
2025	8360,72	25,49	1,94	1,00
2026	8554,03	23,00	1,94	1,00
2027	8554,03	20,75	1,94	1,00
2028	8749,54	18,72	1,94	1,00

Tabla 22: Valores futuros de las variables independientes. Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de la fórmula del modelo final, las estimaciones de los GWs de fotovoltaica a nivel de servicios a instalar en EE. UU. Son:

**Nuevos GW
FV**

2023	14,886
2024	16,105
2025	17,758
2026	18,739
2027	19,694
2028	20,477

Tabla 23: Estimación de los GWs de fotovoltaica a nivel de servicio a instalar en EE. UU. hasta 2028. Fuente:
Elaboración propia

3.5 Estimación de nuevas plantas fotovoltaicas en EE. UU. Hasta 2028

Teniendo como input las estimaciones de GW de fotovoltaica a instalar en Estados Unidos, decidimos estimar el número de plantas fotovoltaicas que se harán cargo de soportar esta nueva capacidad instalada.

En primer lugar, como sucedió con las previsiones de instalación anual de GW, Estados Unidos es la región para la cual se dispone de los datos más detallados sobre el número de plantas en funcionamiento y su potencia instalada correspondiente. En consecuencia, se utiliza nuevamente la base de datos de la EIA (Agencia de Información de Energía), específicamente los resultados de la encuesta Formulario EIA-860, que recopila información específica a nivel de generador sobre generadores existentes y planificados y equipos ambientales asociados en plantas de energía eléctrica con una capacidad nominal combinada de 1 megavatio o más.

Para estimar adecuadamente el número de plantas solares fotovoltaicas a escala de servicios públicos por GW instalado y minimizar el impacto de causas excepcionales, se ha decidido utilizar y analizar los datos pasados recopilados por la EIA de 2013 a 2022, siendo este último el año más reciente con datos limpios y actualizados, confiando en que las irregularidades en el sector perderán peso en las estimaciones. Para 2022, se utiliza el archivo denominado "3_3_SolarY2022", concretamente los datos incluidos en la pestaña "Operable", que incluye aquellos generadores que están actualmente en funcionamiento, fuera de servicio o en espera.

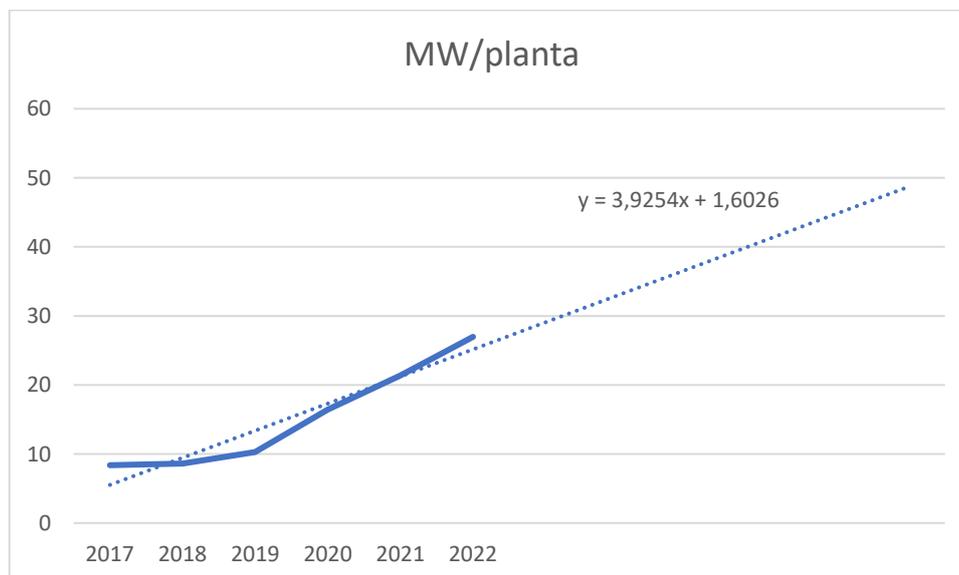
Mediante el uso de tablas dinámicas y filtrando solo los datos de las plantas fotovoltaicas para cada uno de los años desde 2013, los datos se pueden agrupar en número de plantas y capacidad instalada en ellas anualmente. A su vez, de esta forma podemos calcular la media de MW instalados

por cada planta anualmente, simplemente dividiendo entre sí ambos datos, teniendo como resultados lo siguiente:

	Capacidad Total (MW)	Nº de plantas	MW/planta
2013	2761,7	302	9,1
2014	3411,1	388	8,8
2015	3457,8	445	7,8
2016	8108,2	539	15,0
2017	5237,1	625	8,4
2018	4917,8	571	8,6
2019	5627,3	547	10,3
2020	10673,6	650	16,4
2021	13639,2	638	21,4
2022	11058,3	410	27,0

Tabla 24: Capacidad Total instalada anualmente, número de plantas y su relación desde 2013-2022. Fuente: Elaboración propia

Fijándonos en la creciente capacidad media de los últimos 6 años (desde 2017), los cuales siguen una tendencia mucho más lineal que el conjunto de los últimos 10 años, tal y como se observa en la siguiente gráfica, podemos estimar los MW medios por planta instalada en Estados Unidos hasta 2028, los cuales tienen una tendencia creciente.



Gráfica 27: MW por planta 2017-2022 y línea de tendencia. Fuente: Elaboración propia

A través de la ecuación de la línea de tendencia, somos capaces de estimar los MW por planta:

	MW/planta
2023	29,1
2024	33,0
2025	36,9
2026	40,9
2027	44,8
2028	48,7

Tabla 25: Media de los MW por planta estimados anualmente hasta 2028. Fuente: Elaboración propia

Teniendo estos valores y la estimación de los GWs a instalar anualmente obtenemos la predicción de las nuevas plantas fotovoltaicas a construir cada año, dando como resultados los presentados en la siguiente tabla.

	Nº de Plantas
2023	512,0
2024	488,0
2025	481,0
2026	459,0
2027	440,0
2028	420,0

Tabla 26: predicción de las nuevas plantas fotovoltaicas a construir hasta 2028. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Conclusiones

Haciendo un balance sobre todo lo discutido a lo largo del trabajo, teniendo en cuenta las distintas acciones a nivel internacional que se han llevado a cabo, tanto a través de acuerdos como de políticas estatales, el compromiso latente globalmente en disminuir la huella de carbono y realizar una transición energética hacia tecnologías más limpias, la importancia de la energía fotovoltaica es más fuerte que nunca, afirmación que se observa en la tendencia de esta energía y las estimaciones futuras que realizan instituciones como IEA y EIA.

Cabe mencionar que esta transición debe de realizarse desde todos los aspectos de la sociedad, por lo que es importante que las tecnologías llamadas a suplir la energía proporcionada actualmente por energías no renovables, como es la fotovoltaica, además de tener la capacidad suficiente, sean económicamente beneficiosas no solo en el coste de la inversión y generación, sino también facilitando energía barata y beneficios sociales, como pueden ser puestos de trabajo que sustituyan a los eliminados con las energías no renovables, para que, de esta forma, la transición sea transversal y realmente alcanzable.

4.1 Conclusiones y mejoras del modelo y de las estimaciones

Observando el modelo final de estimación al que hemos llegado:

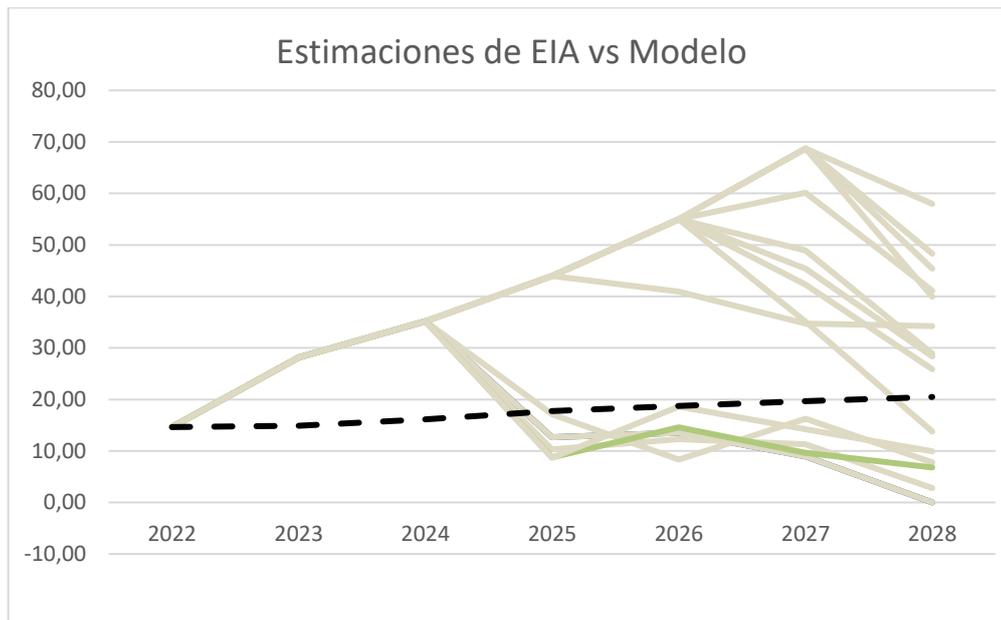
$$\begin{aligned} \text{nuevos GW FV} = & -17,813551 - 0,00040251 * \text{Brent}^2 + 1,49535306 * \text{PCF} - 0,42423121 \\ & * \text{LCOE Wind} + 24,8744991 * \text{ha por MW FV} \end{aligned}$$

Se llega a la conclusión de que la instalación de nuevos GW de fotovoltaica en Estados Unidos es directamente proporcional al a las hectáreas usadas por MW de fotovoltaica y a si hay o no alguna política climática fuerte en vigor. Sobre la relación directa entre los GW de fotovoltaica y las hectáreas por MW, debo mencionar que me resulta una relación contraria a la que me esperaba, ya que a mayores hectáreas usadas por MW instalado de fotovoltaica habrá mayor coste de inversión en esta tecnología, por lo que es una variable que se debería de estudiar con mayor profundidad para verdaderamente comprender el porqué de esta relación directa entre esta variable independiente y la dependiente.

Respecto a la relación directa de las políticas climáticas fuertes (PCF) y la instalación de nuevos GW de fotovoltaica, me parece lógica esta relación, ya que, tal y como se ha demostrado a lo largo del trabajo, las recientes políticas llevadas a cabo por distintos países han sido la razón por la que se ha incrementado la inversión en la tecnología fotovoltaica. Aún así, sería interesante estudiar los aspectos y facilidades económicas y sociales que representan estas políticas climáticas fuertes, pudiendo así separarlas en el modelo y observar verdaderamente el impacto que tienen en el resultado final.

Por otro lado, la relación indirecta de la variable dependiente con el precio del Barril Brent no me sorprende, ya que, al disminuir el valor de la “commodity” los inversores tendrán mayor interés en invertir en otras fuentes de energía como la fotovoltaica. Pero, por otro lado, me sorprende que la relación entre los nuevos GWs de fotovoltaica y el LCOE para las eólicas sea indirectamente proporcional, ya que, si el LCOE disminuye, el coste de generación de energía por parte de esta tecnología cae y sería un incentivo para los inversores en invertir en las eólicas terrestres. Por ello, también sería interesante estudiar variables como el rendimiento de las plantas eólicas y sus riesgos asociados, para tener un mejor conocimiento sobre el porqué de esta relación indirecta dada por el modelo.

Comentando los resultados obtenidos con los estimados tanto por IEA como por EIA, podríamos decir que es una mezcla entre ambos, ya que es muy conservador durante todos los años, pareciéndose a las estimaciones de IEA los primeros años y a la media de los distintos casos estudiados por EIA los últimos.



Gráfica 28: Estimación de los GWs a instalar hasta 2028 por parte de EIA vs el modelo elaborado. Fuente: Elaboración propia

	GW Modelo	GW IEA
2023	14,9	17,0
2024	16,1	21,0
2025	17,8	25,0
2026	18,7	29,0
2027	19,7	33,0
2028	20,5	35,0

Tabla 27: Estimación de los GWs a instalar hasta 2028 por parte de IEA vs el modelo elaborado. Fuente: Elaboración propia

Esto no significa que nuestra estimación sea pobre y nuestro modelo un mal modelo, pero se debe de comprender que la dependencia de la variable dependiente únicamente en 4 variables independientes es un modelo muy superficial. Para mejorar nuestras estimaciones deberíamos de tener en cuenta absolutamente todos los tipos de energía, sus capacidades históricas, el terreno disponible para realizar nuevas plantas, desglosar el LCOE de las distintas tecnologías en todos sus inputs (CAPEX, tasa de interés, vida media de las plantas, costes de operación, mantenimiento y desmantelamiento...), además de valorar otros aspectos que no sean cuantitativos sino cualitativos, tales como la mentalidad climática de la sociedad del país en cuestión.

4.2 Posibles trabajos futuros

Dado que la idea principal de este trabajo era llegar a estimar los GW futuros en todo el mundo, a continuación, expongo los valores de las variables independientes obtenidos para las demás regiones.

- **Valores de las variables:**
 - **Asia & Pacífico:**

	nuevos GW FV	PIB	LCOE	Barril Brent	PCF	PCD
Unidades	GW	[% crec. Resp. Año anterior]	[2023 USD/Mwh]	\$ spot promedio	"1"=Sí "0"=No	"1"=Sí "0"=No
2013	14,00	5,20%	186,05	106,10	1	1
2014	16,10	4,80%	144,71	96,62	1	1
2015	22,10	4,70%	104,76	52,55	1	1
2016	40,40	4,70%	97,90	44,30	1	1
2017	46,90	5,10%	89,83	54,41	1	1
2018	40,40	4,80%	67,69	70,63	1	1
2019	39,70	4,00%	59,45	64,54	1	1
2020	48,90	-0,10%	71,34	42,93	1	1
2021	42,90	6,10%	39,16	70,57	1	1
2022	74,80	2,80%	38,89	101,29	1	1

Tabla 28: Valores históricos de las variables independientes para Asia & Pacífico. Fuente: Elaboración propia

Para obtener las **nuevas capacidades (GWs)** de fotovoltaica para Asia, se han usado los datos históricos de IEA²². Sumando las capacidades netas anuales de Asia (exc. China) & Pacífico, a las de China, obtenemos los valores totales de aumento de capacidad fotovoltaica en Asia & Pacífico de forma anual. Por su parte, el crecimiento del **PIB (%)**, lo obtenemos de los datos históricos del banco mundial²³.

²² Agencia Internacional de Energía. (s.f.). Renewables Data Explorer. Recuperado de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-data-explorer>

²³ Banco Mundial. (s.f.). Crecimiento del PIB real. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=Z4>

Respecto a los valores del **LCOE**, dado que no es posible encontrar precios para la región Asia & Pacífico, se ha decidido usar los precios de China e India, ya que, como podemos observar en la siguiente tabla, la contribución de estos dos países a la capacidad fotovoltaica de toda la región es muy elevada. De esta forma, se usará directamente el precio de China para aquellos años en los que la contribución de la India no sea alta (2013 y 2020), y una media del LCOE de ambos países para aquellos años en los que la contribución de ambos sea significativa (todos los demás). Estos datos son obtenidos de datos oficiales de IRENA²⁴. Aún así, dado que China es el mayor productor de paneles solares a nivel mundial, se intuye que tanto este país como aquellos cercanos a él tengan precios bajos de LCOE y parecidos entre ellos.

	GW Asia-Pacífico	% Respecto a la capacidad anual instalada total en Asia-Pacífico		
		China	India	Suma
2013	14,00	71,43%	2,14%	73,57%
2014	16,10	54,66%	11,18%	65,84%
2015	22,10	63,35%	6,79%	70,14%
2016	40,40	75,00%	8,66%	83,66%
2017	46,90	71,64%	15,78%	87,42%
2018	40,40	57,67%	20,30%	77,97%
2019	39,70	45,09%	18,89%	63,98%
2020	48,90	66,87%	4,91%	71,78%
2021	42,90	59,67%	17,95%	77,62%
2022	74,80	67,91%	18,32%	86,23%

Tabla 29: % de capacidad instalada en cada país respecto a la capacidad anual instalada total en Asia-Pacífico. Fuente: Elaboración propia

Por último, respecto a las **Políticas Climáticas**, desde el 12º Plan Quinquenal de China²⁵ (de 2011 a 2015) el país ha hecho un gran esfuerzo en desarrollar energías renovables, enfocarse en el medio ambiente y realizar una transición energética real, incentivando la inversión en la industrial de las

²⁴ IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (s.f.). Solar costs. Recuperado de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Solar-costs>

²⁵ 201401824.(s.f.). Trabajo de Fin de Grado sobre "Inversión e Innovación en Energías Renovables a Raíz del Desarrollo Económico: el caso de la República Popular de China, Evolución a través de los Planes Quinquenales". Recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/37185/TFG%20-%20201401824.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

renovables y, por parte de la India, a través del Plan de Acción sobre el Cambio Climático, llevado a cabo en la década de los 2000, fue uno de los 10 primeros países en todo el mundo en contar con un instrumento de estas características, lo que ha hecho posible que India esté clasificado por parte de “Climate Action Tracker” (medición realizada por una fundación científica, avalada por el Ministerio de Medioambiente alemán y la Iniciativa Climática Internacional) entre los países más alineados con los objetivos del Acuerdo de París²⁶. Por ello, dado que China y la India son los países que tienen una mayor contribución de capacidad fotovoltaica instalada en la región, vemos aceptable poder determinar que hay políticas climáticas fuertes (PCF) en todos los años estudiados, así como políticas climáticas débiles (PCD), al ser ambos países participantes tanto del Protocolo de Kioto como del Acuerdo de París.

- **Unión Europea:**

	nuevos GW FV	PIB	LCOE	Barril Brent	PCF	PCD
Unidades	GW	[% crec. Resp. Año anterior]	[2023 USD/Mwh]	\$ spot promedio	"1"=Sí "0"=No	"1"=Sí "0"=No
2013	2,80	-0,10%	249,63	106,10	0	1
2014	1,30	1,60%	195,79	96,62	0	1
2015	1,70	2,30%	151,15	52,55	0	1
2016	1,20	2,00%	130,51	44,30	0	1
2017	1,30	2,80%	114,00	54,41	0	1
2018	1,90	2,10%	131,56	70,63	1	1
2019	6,90	1,80%	101,64	64,54	1	1
2020	5,20	-5,70%	123,85	42,93	1	1
2021	8,60	5,50%	75,41	70,57	1	1
2022	15,10	3,50%	81,58	101,29	1	1

Tabla 30: Valores históricos de las variables independientes para la Unión Europea. Fuente: Elaboración propia

De nuevo, para obtener las **nuevas capacidades (GWs)** de fotovoltaica a escala de servicios para la Unión Europea, se han usado los datos históricos de IEA, donde directamente se nos facilitan los

²⁶ Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s.f.). Acción Climática en India: Avances y Desafíos - Gobierno Abierto. Recuperado de <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/accion-clima-india-avances-desafios-gobierno-abierto>

datos de esta región. Respecto al **crecimiento anual del PIB(%)**, el banco mundial nos los ofrece en su base de datos²⁷.

Por su parte, los valores del **LCOE** para la UE son más difíciles de obtener, ya que existe un LCOE distinto para cada país. Debido a ello, hemos decidido actuar como en el caso de la región Asia & Pacífico, centrándonos en los países más relevantes histórica y actualmente en fotovoltaica a escala de servicios en la Unión Europea, los cuales son: Alemania, España, Países Bajos, Polonia, Italia y Francia, tal y como observamos en la siguiente tabla, donde se puede observar que a través de estos 6 países se engloba la mayor parte de fotovoltaica en la UE con las características que estamos estudiando.

	GW UE	% Respecto a la capacidad anual instalada total en la UE						
		Alemania	España	Países Bajos	Polonia	Italia	Francia	Suma
2013	2,80	35,71%	3,57%	0,00%	0,00%	7,14%	21,43%	67,86%
2014	1,30	30,77%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	30,77%	61,54%
2015	1,70	35,29%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	47,06%	82,35%
2016	1,20	58,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	25,00%	83,33%
2017	1,30	30,77%	0,00%	7,69%	0,00%	7,69%	46,15%	92,31%
2018	1,90	31,58%	0,00%	15,79%	10,53%	0,00%	31,58%	89,47%
2019	6,90	7,25%	57,97%	11,59%	1,45%	4,35%	8,70%	91,30%
2020	5,20	19,23%	23,08%	19,23%	11,54%	3,85%	9,62%	86,54%
2021	8,60	16,28%	37,21%	9,30%	8,14%	1,16%	15,12%	87,21%
2022	15,10	17,88%	27,81%	7,95%	11,26%	4,64%	11,92%	81,46%

Tabla 31: % de capacidad instalada en cada país respecto a la capacidad anual instalada total en la UE.

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, el valor del LCOE para las fotovoltaicas para la UE se calcula anualmente haciendo la media de los precios para estos 6 países, teniendo en cuenta si su aportación en ese año es relevante. De esta forma, el precio para Alemania y Francia se usará en todos los años, el LCOE de España a partir de 2019, el de Países Bajos a partir de 2017, el de Polonia en 2018 y a partir de 2020, y el de Italia en 2013, 2017, 2019, 2020 y 2022.

²⁷ Banco Mundial. (s.f.). Crecimiento del PIB real en la Unión Europea. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=EU>

Por último, haciendo referencia a las **Políticas Climáticas**, dado que la UE participó en el Protocolo de Kioto, asumiendo un objetivo colectivo para reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), participó en las negociaciones y fue una parte activa en la adopción del Acuerdo de París, y lleva un largo recorrido histórico de implantación de tarifas, organización de subastas para proyectos eólicos y solares, incentivos fiscales para fomentar la instalación de sistemas de energía solar, así como fondos europeos y subvenciones con el mismo fin; se ha decidido asignar a todos los años políticas climáticas débiles (**PCD**) en vigor. Por otro lado, desde la aplicación en 2018 del Paquete de Energía y Clima 2030, la UE adoptó una serie de medidas para avanzar hacia los objetivos climáticos y energéticos para 2030, lo que ha hecho aumentar la proporción de energías renovables, por lo que, debido a su impacto positivo y favorable, se ha decidido clasificarla como una política climática fuerte (**PCF**).

- Latinoamérica:

	nuevos GW FV	PIB	LCOE	Barril Brent	PCF	PCD
Unidades	GW	[% crec. Resp. Año anterior]	[2023 USD/Mwh]	\$ spot promedio	"1"=Sí "0"=No	"1"=Sí "0"=No
2013	0,10	2,90%	-	106,10	0	1
2014	0,30	1,40%	-	96,62	0	1
2015	1,00	0,50%	-	52,55	0	1
2016	0,70	-0,20%	186,53	44,30	0	1
2017	2,20	1,90%	148,02	54,41	0	1
2018	2,10	1,60%	125,15	70,63	0	1
2019	1,90	0,70%	111,92	64,54	0	1
2020	1,90	-6,50%	89,18	42,93	0	1
2021	3,90	6,70%	65,83	70,57	0	1
2022	7,50	3,80%	57,81	101,29	0	1

Tabla 32: Valores históricos de las variables independientes para Latinoamérica. Fuente: Elaboración propia

Tal y como se ha procedido en las regiones anteriores, las **nuevas capacidades (GWs)** de fotovoltaica a escala de servicios para Latinoamérica se han obtenido de IEA, y el crecimiento anual del **PIB (%)**, del banco mundial.

Comentando los valores del **LCOE**, teniendo en cuenta los únicos años en los que hemos podido obtener el valor del LCOE para fotovoltaica a escala de servicios para los tres principales países con fotovoltaica instalada de estas características, los cuales se recogen en la siguiente tabla, podemos

observar que la diferencia de precios entre estos países no es muy grande. A su vez, dado que Brasil es el país para el cual tenemos datos históricos fiables durante más años (hasta 2016), y que la capacidad instalada en estos tres países es prácticamente la totalidad de la capacidad instalada en toda la región, tal y como observamos en la segunda tabla a continuación, se ha decidido asignar los valores de LCOE de Brasil a toda la región de Latinoamérica, pudiendo así llevar a cabo nuestro análisis estadístico más adelante. Los valores del LCOE histórico de Brasil se han obtenido de los informes realizados anualmente por IRENA llamados “Renewable Power Generation Cost”.

	Brasil	Chile	México
2021 USD/MWh	58	46,2	53
2022 USD/MWh	55	42	66

Tabla 33: Valores históricos obtenidos de LCOE para países latinoamericanos. Fuente: Elaboración propia

	GW UE	% Respecto a la capacidad anual instalada total en la UE			
		Brasil	Chile	México	Suma
2013	0,10	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%
2014	0,30	0,00%	66,67%	0,00%	66,67%
2015	1,00	10,00%	30,00%	10,00%	50,00%
2016	0,70	0,00%	71,43%	14,29%	85,71%
2017	2,20	40,91%	27,27%	0,00%	68,18%
2018	2,10	35,71%	14,29%	47,62%	97,62%
2019	1,90	26,32%	14,74%	57,89%	98,95%
2020	1,90	18,95%	12,11%	65,26%	96,32%
2021	3,90	33,33%	43,59%	20,51%	97,44%
2022	7,50	46,13%	39,33%	14,40%	99,87%

Tabla 34: % de capacidad instalada en cada país respecto a la capacidad anual instalada total en Latinoamérica. Fuente: Elaboración propia

Por último, para las variables de las **Políticas Climáticas**, nos hemos vuelto a centrar únicamente en Brasil, Chile y México, por las mismas razones comentadas anteriormente. Estos países históricamente han llevado a cabo varias iniciativas para aumentar la capacidad de generación fotovoltaica, como realizar subastas, promover incentivos fiscales, procesos de licitación o el impulso de certificados de energía limpia y programas de financiación, además de ser todos partícipes del Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. Por ello, se ha decidido asociar a la región políticas climáticas débiles (**PCD**) en vigor, pero, dado que ninguna de las políticas aplicadas en estos países ha tenido tanta relevancia como políticas implementadas en otras regiones, por ejemplo, la “Inflation reduction Act” en EE. UU., los planes quinquenales de China o el Paquete de Energía y

Clima 2030 para la UE, se entiende que no ha habido ninguna política climática fuerte (**PCF**) en vigor.

- **Modo de llevarlo a cabo:**

Dado que para estas regiones no tenemos los valores de las demás variables independientes, se podrían utilizar la tendencia global tanto del LCOE para la eólica terrestre, como para las Hectáreas por MW de fotovoltaica instalada. Para las emisiones de CO₂, el consumo de carbón, los GW históricos de eólica instalada en cada región y el índice de riesgo climático (IRC) se podrá operar como para algunas de las anteriores variables y fijarnos solamente en los países que más afectan en la región.

Posteriormente, teniendo los valores históricos por región, se operaría de igual manera que para Estados Unidos, realizando análisis de datos y llegando a un modelo final en cada región con el que poder estimar los GW a instalar y posteriormente el número de plantas fotovoltaicas necesarias.

Capítulo 5: Bibliografía

1. Naturgy. (s.f.). Conoce más sobre los combustibles fósiles. Recuperado de https://www.naturgy.es/blog/negocios_y_autonomos/conoce_combustibles_fosiles
2. Agencia Internacional de Energía. (2022). World Energy Outlook 2022: Resumen Ejecutivo. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary?language=es>
3. BBVA. (s.f.). ¿Qué son las energías no renovables y qué tipos existen?. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-las-energias-no-renovables-y-que-tipos-existen/>
4. Naciones Unidas. (s.f.). ¿Qué es la energía renovable? Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
5. Naciones Unidas. (s.f.). ¿Qué es la energía renovable? Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
6. Agencia Internacional de Energía. (2022). Resumen Ejecutivo - World Energy Outlook 2022. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary?language=es>
7. Administración de Información de Energía. (s.f.). Annual Energy Outlook. Recuperado de <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>
8. Agencia Internacional de Energía. (2022). Renewables 2022. Recuperado de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>
9. Wood Mackenzie. (s.f.). US Solar Market Insight. Recuperado de <https://www.woodmac.com/industry/power-and-renewables/us-solar-market-insight/>
10. Agencia Internacional de Energía. (2022). Renewables 2022. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
11. World Energy Trade. (s.f.). Los costos de la energía solar caen a mínimos históricos. Recuperado de <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/los-costos-de-la-energia-solar-caen-a-minimos-historicos>

12. AleaSoft. (s.f.). Caída del LCOE de energías renovables en la última década impulsa la transición energética. Recuperado de <https://aleasoft.com/es/caida-lcoe-energias-renovables-ultima-decada-impulsa-transicion-energetica/>
13. Administración de Información de Energía. (s.f.). Electric Power Annual Data - Form EIA-860. Recuperado de <https://www.eia.gov/electricity/data/eia860/>
14. Trading Economics. (s.f.). Full Year GDP Growth United States. Recuperado de <https://es.tradingeconomics.com/united-states/full-year-gdp-growth>
15. IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (s.f.). Solar costs. Recuperado de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Solar-costs>
16. Enerdata. (s.f.). Emisiones de CO2 procedentes de la quema de combustibles. Recuperado de <https://datos.enerdata.net/co2/emisiones-CO2-procedentes-quema-combustible.html>
17. Agencia Internacional de Energía. (s.f.). Renewables Data Explorer. Recuperado de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-data-explorer>
18. IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (s.f.). Wind Costs. Recuperado de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Wind-Costs>
19. IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (2021). Power Generation Costs 2021. Recuperado de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8
20. Enerdata. (s.f.). Consumo mundial de carbón. Recuperado de <https://datos.enerdata.net/carbon-lignito/consumo-mundial-carbon.html>
21. Administración de Información de Energía. (s.f.). Annual Energy Outlook 2023 - Datos del Explorador. Recuperado de <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=12-AEO2023&cases=ref2023&sourcekey=0>
22. Agencia Internacional de Energía. (s.f.). Renewables Data Explorer. Recuperado de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewables-data-explorer>
23. Banco Mundial. (s.f.). Crecimiento del PIB real. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=Z4>
24. IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables). (s.f.). Solar costs. Recuperado de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Solar-costs>
25. 201401824.(s.f.). Trabajo de Fin de Grado sobre “Inversión e Innovación en Energías Renovables a Raíz del Desarrollo Económico: el caso de la República Popular de China,

- Evolución a través de los Planes Quinquenales”. Recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/37185/TFG%20-%20201401824.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
26. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s.f.). Acción Climática en India: Avances y Desafíos - Gobierno Abierto. Recuperado de <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/accion-clima-india-avances-desafios-gobierno-abierto>
27. Banco Mundial. (s.f.). Crecimiento del PIB real en la Unión Europea. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=EU>