



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

**Estimación de indicadores sociales en modelos de
simulación para análisis de la transición energética en
Europa**

Autora:

Freire Lázaro, Marta

Tutor:

Miguel González, Luis Javier

Codirector:

Parrado Hernando, Gonzalo

Valladolid, Julio 2024





A mi familia, novio y amigos por apoyarme en todo momento.

Y a Alberto Herreros y Luis Javier Miguel por su dedicación y ayuda.





RESUMEN

Cada año, crece la preocupación sobre el cambio climático y sus posibles repercusiones en nuestro planeta. Por esta razón, es fundamental realizar un análisis de la situación energética actual para comprender el comportamiento de los países y la sociedad que nos rodea. En este Trabajo de Fin de Grado, examinaremos la correlación existente entre el consumo de energía y el nivel de desarrollo de los países europeos analizando datos a nivel mundial para adquirir una mayor perspectiva, con el objetivo de proyectar posibles tendencias y estar preparados para las necesidades futuras, avanzando siempre hacia las ODS 3 (salud y bienestar) y ODS 7 (energía accesible y no contaminante).

En este estudio se analizarán también las características de los países atendiendo a su nivel de desarrollo y se analizarán aspectos existentes en nuestra sociedad como las desigualdades, la contaminación o la brecha de género.

Palabras clave: energía, desarrollo, correlación, transición, tendencias.

ABSTRACT

Every year, there is a growing concern about climate change and its potential impact on our planet. For this reason, it is essential to analyse the current energy situation in order to understand the behaviour of the countries and society around us. In this Final Degree Project, we will examine the correlation between energy consumption and the level of development of European countries by analysing global data to gain a better perspective, with the aim of projecting possible trends and being prepared for future needs, always moving towards SDG 3 (health and well-being) and SDG 7 (accessible and clean energy).

This study will also analyse the characteristics of the countries according to their level of development and will analyse existing aspects in our society such as inequalities, pollution or the gender gap.

Keywords: energy, development, correlation, transition, trends.





Índice

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	13
1.1	Motivación y antecedentes	13
1.2	Objetivo general y objetivos específicos	15
1.3	Consideraciones adicionales.....	16
1.4	Estructura de la memoria	16
2.	ENERGÍA	19
2.1	Energía renovable y no renovable	19
2.1.1	Fuentes de energía renovables	19
2.1.2	Fuentes de energía no renovables	24
2.2	Energía primaria y secundaria	25
2.3	Índices de energía.....	26
2.3.1	Consumo de energía per cápita	27
2.3.2	Share de Renovables	28
2.3.3	ODS7: Acceso a la energía eléctrica	29
3.	ÍNDICES DE DESARROLLO	31
3.1	Índice de Desarrollo Humano (IDH).....	31
3.2	Otros índices de desarrollo.....	35
3.2.1	IDH ajustado por desigualdad (IDHA).....	35
3.2.2	IDH ajustado por presiones planetarias (IDHP).....	36
3.2.3	IDH ajustado por género (IDG).....	37
4.	METODOLOGÍA.....	41
4.1	Fuentes de datos	41
4.2.2	Procedimiento de análisis, correlación y ajuste.....	42
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
5.1	Relación analítica entre IDH y consumo de energía per cápita.....	47
5.1.1	Resultado ajuste IDH corrección Kazajistán	51
5.2	Relación analítica entre los componentes del IDH y el consumo de energía per cápita ...	54
5.2.1	Resultado del ajuste de la esperanza de vida.....	54
5.2.2	Resultado del ajuste de los años de escolaridad.....	55
5.2.3	Resultado del ajuste del Producto Interior Bruto (PIB).....	57
5.3	Relación analítica entre el IDH corregido por desigualdad y el consumo de energía per cápita	59
5.4	Relación analítica entre el IDH corregido por presiones planetarias y el consumo de energía per cápita	61
5.5	Relación analítica entre el IDH corregido por género y el consumo de energía per cápita	63



5.6	Relación analítica entre el IDH y <i>share</i> de renovables.....	64
6.	DESAGREGACIÓN DE ANÁLISIS POR GRUPOS DE PAÍSES SEGÚN SU NIVEL DE DESARROLLO	67
6.1	Países con nivel bajo de desarrollo.....	67
6.2	Países con nivel medio de desarrollo	70
6.2.1	Gabón	73
6.3	Países con nivel alto de desarrollo.....	75
6.4	Países con nivel muy alto de desarrollo.....	78
7.	IGUALDAD DE GÉNERO	85
8.	CONCLUSIONES	95
9.	LÍNEAS DE TRABAJOS FUTUROS.....	99
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	101



Índice de ilustraciones

.....Ilustración 1 Relación entre el IDH y la demanda total de energía primaria. Fuente: Lñaqui Arto, Energy Requirement of Development World (2018)	14
Ilustración 2 Gráfico de evolución del uso de energías renovables para la generación de electricidad. Fuente: IEA.	20
Ilustración 3 Gráfica que muestra la participación de las energías renovables en el suministro total de energía necesario para el alcance del escenario NetZero. Fuente: IEA.	21
Ilustración 4 Gráfico de la evolución del consumo de energía eólica en el mundo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	22
Ilustración 5 Gráfica de la evolución de la energía solar. Fuente: elaboración propia, datos IEA.....	22
Ilustración 6 Gráfico de la evolución del consumo de energía hidroeléctrica. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	23
Ilustración 7 Gráfico de evolución de energías no renovables. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	24
Ilustración 8 Mejora de la intensidad de la energía primaria. Fuente: IEA.	26
Ilustración 9 Representación visual del consumo de electricidad per cápita en 1990. Fuente: (World Bank Open Data, s. f.).....	27
Ilustración 10 Representación visual del consumo de electricidad per cápita en 2015. Fuente: (World Bank Open Data, s. f.).....	28
Ilustración 11 Participación de energías renovables en la expansión anual de capacidad de energía. Fuente:(Redacción, 2023)	29
Ilustración 12 ODS 7. Fuente: Metas e Indicadores AIEDI	29
Ilustración 13 Acceso a la electricidad. Fuente: (World Bank Open Data, s. f.)	30
Ilustración 14 Layout de datos en el IEA. Fuente: OECD library.	42
Ilustración 15 Gráfica del IDH en función del consumo de energía per cápita. Fuente: elaboración propia.	44
Ilustración 16 Layout de los datos de Energía per Cápita. Fuente: elaboración propia.....	45
Ilustración 17 Layout de los datos del HDI. Fuente: elaboración propia.	45
Ilustración 18 Líneas de código de la función fit en Matlab. Fuente: elaboración propia	46
Ilustración 19 Código que saca por pantalla la gráfica. Fuente: elaboración propia	46
Ilustración 20 Gráfica del IDH en función de la Energía per Cápita ajustada con un modelo logarítmico. Fuente: elaboración propia.....	47
Ilustración 21 Parámetros de ajuste y correlación logarítmica. Fuente: elaboración propia	47
Ilustración 22 Gráfica del IDH en función de la Energía per Cápita ajustada con un modelo de regresión cuadrática. Fuente: elaboración propia.	49
Ilustración 23 parámetros de regresión cuadrática. Fuente: elaboración propia	50
Ilustración 24 Gráfica del IHD en función de la Energía per Cápita con un ajuste cúbico. Fuente: elaboración propia.	50
Ilustración 25 Parámetros de un ajuste cúbico. Fuente: elaboración propia.....	51
Ilustración 26 Gráfica del IDH en función de la energía per Cápita sin Kazajistán. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	52
Ilustración 27 Parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia.	52
Ilustración 28 Ajuste logarítmico de la esperanza de vida en función de la energía per cápita. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	54
Ilustración 29 Parámetros de correlación del ajuste de la esperanza de vida Fuente: elaboración propia, datos IEA.	54



Ilustración 30 Ajuste de los años de escolarización en función de la energía per cápita consumida. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	56
Ilustración 31 Parámetros del ajuste y correlación de los años de escolarización. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	56
Ilustración 32 Gráfica de ajuste GNIPC. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	57
Ilustración 33 Parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	58
Ilustración 34 Gráfica que relaciona el IDH corregido por desigualdad con el consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	59
Ilustración 35 Resultados y parámetros de correlación y ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	59
Ilustración 36 Gráfica del IDH corregido por presiones planetarias en función del consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	61
Ilustración 37 Resultados de correlación y parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	61
Ilustración 38 Gráfica del ajuste entre el IDH corregido por género y el consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	63
Ilustración 39 Resultado de correlación y parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	63
Ilustración 40 IDH en función del share de renovables de los países. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	64
Ilustración 41 Matriz de correlación entre el IDH y el share de renovables. Fuente: elaboración propia, datos IEA y PNUD.	65
Ilustración 42 Gráfica del IDH en países poco desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA. .	67
Ilustración 43 Gráfica de la esperanza de vida en países poco desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	68
Ilustración 44 Tendencia del Congo en su esperanza de vida en función del consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	68
Ilustración 45 Gráfica de los años de escolaridad en países poco desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	69
Ilustración 46 Gráfica del PIB en países poco desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA. .	69
Ilustración 47 Gráfica que muestra el comportamiento de los países con un nivel medio de desarrollo en cuanto al IDH. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	70
Ilustración 48 Comportamiento de Marruecos a medida que aumenta el consumo de energía per cápita. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	71
Ilustración 49 Gráfica de la esperanza de vida en países con nivel medio de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	72
Ilustración 50 Gráfico de los años de escolarización en países con nivel de desarrollo medio. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	72
Ilustración 51 Gráfica del PIB en los países con un nivel medio de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	73
Ilustración 52 Comportamiento de Gabón. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	74
Ilustración 53 Gráfica del IDH en los países con un nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	75
Ilustración 54 Gráfica de la esperanza de vida en países con un nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	76
Ilustración 55 Gráfico de los años de escolaridad en países con un nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	77



Ilustración 56 Gráfico del PIB en países con nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	78
Ilustración 57 Gráfica del IDH en función del consumo de energía per cápita en los países muy desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	79
Ilustración 58 Gráfica del comportamiento del IDH de Italia y Japón. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	79
Ilustración 59 Gráfica del comportamiento del IDH de Noruega y Australia. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	80
Ilustración 60 Gráfica de la esperanza de vida en países con un nivel de desarrollo muy alto. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	80
Ilustración 61 Gráfica de los años de escolarización en los países con un nivel muy alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	81
Ilustración 62 Gráfica del PIB de países con un nivel muy alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	82
Ilustración 63 Gráfica del comportamiento en curva de Australia, Bélgica, Canadá, Finlandia, Noruega, Estados Unidos. Fuente: elaboración propia, datos IEA.....	83
Ilustración 64 Gráfico del IDH corregido para hombres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	85
Ilustración 65 Gráfico del IDH corregido para mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.....	85
Ilustración 66 Gráfica comparativa de hombres de Bangladesh, India, Pakistán y Suiza. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	86
Ilustración 67 Gráfica comparativa de mujeres de Bangladesh, India, Pakistán y Suiza. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	86
Ilustración 68 Gráfica de los años de escolaridad en hombres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	88
Ilustración 69 Gráfica de los años de escolaridad en mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	89
Ilustración 70 Gráfica del PIB corregido para hombres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	89
Ilustración 71 Gráfica del PIB corregido para mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	90
Ilustración 72 Gráfica definitiva del ajuste del IDH frente al consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	96
Ilustración 73 Comportamiento en pico de Italia. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	¡Error!

Marcador no definido.



Índice de tablas

Tabla 1 Diferencias entre energía primaria y secundaria. Fuente: elaboración propia.	25
Tabla 2 Tabla de referencia de valores para los índices. Fuente: Human Development Report.	32
Tabla 3 Relación entre el IDH, PIB y consumo de energía de los países por grupos de desarrollo. Fuente: Human Development Report.	34
Tabla 4 Países seleccionados para el estudio y su respectiva población. Fuente: elaboración propia.	43
Tabla 5 Resumen de los parámetros obtenidos. Fuente: elaboración propia.	51
Tabla 6 Resultados del ajuste sin Kazajistán. Fuente: elaboración propia.	53
Tabla 7 Diferencia del IDH y del IDH corregido por desigualdad en Sudáfrica. Fuente: elaboración propia, datos PNUD.	60
Tabla 8 Datos exactos comparativos entre el IDH de hombre y mujeres en Bangladesh. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	87
Tabla 9 Datos exactos comparativos entre el IDH de hombre y mujer en la India. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	87
Tabla 10 Datos exactos comparativos entre el IDH de hombres y mujeres en Pakistán. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	87
Tabla 11 Datos exactos del IDH de Suiza en hombre y mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	88
Tabla 12 Datos exactos del PIB corregido por género en 1990 y la diferencia entre hombres y mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	90
Tabla 13 Datos exactos del PIB corregido por género en 2019 y la diferencia entre hombres y mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	91
Tabla 14 Datos que indican en qué medida ha variado la diferencia de género entre los años 1990 y 2019. Fuente: elaboración propia, datos IEA.	92



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La energía es un factor fundamental para el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. En ocasiones se ha descrito como "el hilo" que une el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental. Es decir, un adecuado suministro de energía ha sido identificado como la clave del desarrollo económico, cultural y social en sociedades complejas. Frente a este contexto, las mediciones y el estudio sobre la estructura, composición, intensidad y los patrones de consumo de energía adquieren cada vez mayor relevancia, sobre todo teniendo en cuenta el cambio climático al que se enfrenta la población, que constituye una de las mayores amenazas de nuestros días. (DANE Para TODOS, s. f.)

A nivel europeo, las políticas públicas de desarrollo y crecimiento se mueven hacia el logro de tres metas ambiciosas: garantizar el acceso universal a servicios energéticos modernos; doblar el ritmo de la mejora en la eficiencia energética y duplicar la cuota de la energía mundial suministrada por fuentes renovables. En respuesta a estas metas, los organismos de desarrollo y cooperación y los diferentes países, independiente de su nivel de desarrollo o posicionamiento económico, trabajan en el marco de la iniciativa de Energía Sostenible para Todos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), éste último con un capítulo específico sobre energía (ODS 7). (De Estadística, s. f.-b)

En el contexto actual en el que nos encontramos, las tendencias energéticas y sociales existentes en Europa contienen un alto nivel de influencia respecto al resto de países a nivel mundial debido a la acentuación de la interconexión y globalización de nuestro mundo. Por este motivo, no solo nos centraremos en un estudio a nivel europeo, si no que analizaremos las características de países de otros continentes.

La población y los diversos agentes económicos y actores sociales centran sus expectativas en suplir el abastecimiento energético, de forma económica y asequible, y acceder a servicios energéticos confiables. En general el consumo de energía per cápita, viene explicado por diversas razones, entre otras por el mayor acceso y uso de bienes y servicios, exigencias en movilidad y comunicaciones, aspiración a mejores condiciones de vida, seguridad, etc. Por ello, es razonable pensar que cuanto mayor es el consumo de energía per cápita, mayor es su calidad de vida y desarrollo socioeconómico.

1.1 Motivación y antecedentes

La transición energética actual es una necesidad imperiosa y tiene una profunda trascendencia, impulsada por dos motivos principales. En primer lugar, la lucha frente al cambio climático y las políticas de mitigación asociadas son esenciales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el calentamiento global. En segundo lugar, el agotamiento de los recursos energéticos fósiles, reflejado en fenómenos como el

pico del petróleo y del gas, subraya la urgencia de diversificar nuestras fuentes de energía hacia opciones más sostenibles.

Además, esta transición energética debe ser justa, garantizando que todas las sociedades puedan desarrollarse de manera satisfactoria para los seres humanos, asegurando equidad en el acceso a los nuevos recursos energéticos y fomentando un progreso inclusivo y sostenible.

Para poder llevar a cabo este estudio, nos basaremos en análisis realizados anteriormente que, como hemos mencionado anteriormente, se basan en estudios a nivel mundial para adquirir una mayor perspectiva y obtener posteriormente conclusiones a nivel europeo.

La Asamblea General de Naciones Unidas, publicó en 1986 su “Declaración del Derecho de Desarrollo”, que establece el derecho de desarrollo como un derecho universal e inalienable que forma parte de los derechos humanos, estableciendo un catálogo de objetivos de igualdad de oportunidades en el acceso a los recursos básicos como educación, servicios de sanidad, comida, casa, empleo y distribución de impuestos.

Últimamente, la energía en sus diferentes formas es esencial para suministrar todos esos servicios ligados al éxito del desarrollo humano, jugando un papel crucial en la eliminación de la pobreza.

Numerosos autores han investigado la relación entre el grado de desarrollo de un país y su uso de energía. Muchos estudios han encontrado fuertes correlaciones entre el consumo de energía y diversos aspectos relacionados con el desarrollo humano. Esto se puede ver al comparar gráficamente el consumo de energía primaria con el IDH.

La siguiente ilustración perteneciente a un estudio realizado en 2018, muestra la relación entre el consumo de energía per cápita y el IDH de una selección de un grupo de países en el periodo comprendido entre 1995 y 2008.

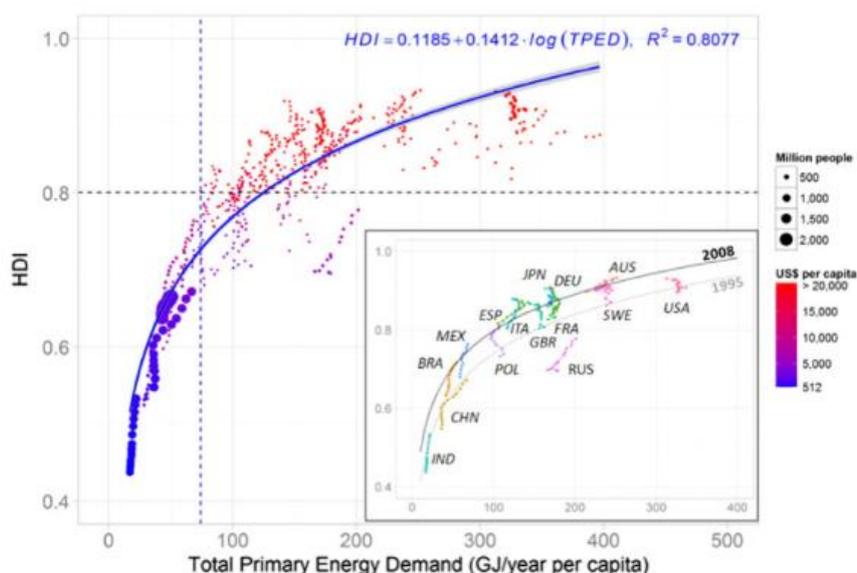


Ilustración 1 Relación entre el IDH y la demanda total de energía primaria. Fuente: Iñiqui Arto, Energy Requirement of Development World (2018)



Mientras que en los países muy desarrollados las variaciones del consumo de energía apenas afectan al nivel de desarrollo, en países con niveles bajo y medio de desarrollo, el incremento en el uso de energía sí se traduce en cambios en el nivel de desarrollo. Este fenómeno se denomina “saturación”.

Este tipo de análisis resulta crucial ya que, aunque la pobreza aún sigue suponiendo un problema real para la humanidad, en las últimas décadas se ha experimentado un progreso muy relevante. Entre 1990 y 2014, el porcentaje de la población que habitaba países menos desarrollados (con IDH<0,55), ha descendido desde el 60% hasta un 12%, mientras que el porcentaje de población que habita países desarrollados (con IDH>0,8), ha aumentado 11% en 1990 a 18% en 2014. Además, en 2014, más del 50% de la población mundial vive en países con un IDH>0,7.

En el futuro, se espera que estas tendencias continúen, traduciéndose en mayores demandas de energía para suministrar la necesidad de los estándares vitales que se requieran.

En este contexto, resulta clave continuar actualizando y analizando este estudio, ya que nos dará respuesta al nivel de energía mínimo que se requiere para el desarrollo de un país.

1.2 Objetivo general y objetivos específicos

El principal objetivo de este TFG es **analizar la relación entre indicadores de desarrollo nacionales y el consumo de energía**. Este análisis se realizará a partir de datos históricos y deberá permitir extrapolar para escenarios futuros de desarrollo la demanda energética en Europa.

Como objetivos específicos surgen los siguientes:

- **Correlaciones:** se determinará para cada estudio la correlación existente entre el indicador energético y el índice social utilizados tanto en Europa como a nivel mundial. No solo nos limitaremos al análisis del índice de desarrollo humano, si no que se profundizará en el estudio de cada uno de los elementos que lo componen para determinar cuál de ellos guarda mayor correlación con el ámbito energético.
- **Funciones de ajuste:** para ello se representará el nivel de desarrollo humano de cada país en función de un índice energético. La información en cuestión se obtendrá a partir de bases de datos de instituciones sólidas y fiables y se ajustará mediante una curva a través de un software específico.
- **Análisis de datos:** como objetivos derivados del principal, tenemos presente el estudio de diferentes índices de desarrollo humano frente al consumo de energía de los países. Se trata de realizar diferentes ajustes y concluir cuál de todos ellos responde con mayor fidelidad al comportamiento y situaciones reales.



Además, debido a las desigualdades existentes entre países, vemos necesario un estudio de estos clasificándolos en grupos atendiendo a su nivel de desarrollo, siguiendo el objetivo de identificar tendencias que puedan resultar relevantes.

En la misma línea del objetivo anterior, queremos resaltar la importancia del problema de las desigualdades de género, por lo que se considerará un análisis detallado del índice de desarrollo humano de los países haciendo hincapié en las correcciones de este índice a nivel de género para poder identificar aquellos países más perjudicados por este problema social.

1.3 Consideraciones adicionales

Al llevar a cabo este proyecto, se han tenido en cuenta diversas consideraciones para asegurar la precisión y fidelidad de la información presentada:

- Fidelidad a la fuente primaria: en ciertos casos, se ha optado por conservar el idioma original en algunas ilustraciones, tables o gráficos. Esta decisión se ha tomado con el objetivo de mantener la máxima fidelidad posible a la fuente primaria de datos. De este modo, se asegura que la información se presenta tal y como fue originalmente recopilada y reportada.
- Manipulación de datos con Microsoft Excel: para la manipulación de datos y la confección de gráficos básicas, se ha utilizado Excel. Esta herramienta nos ha permitido organizar, analizar y visualizar los datos de manera eficiente, facilitando la identificación de patrones y tendencias relevantes.
- Desarrollo de gráficos avanzados con Matlab: para la creación de gráficos más complejos, se ha empleado el software Matlab. Este programa ha sido fundamental para desarrollar ajustes y curvas mediante diversas funciones matemáticas, permitiendo una representación más precisa y detallada de los datos. Gracias a Matlab, hemos podido realizar análisis más avanzados y obtener gráficos que reflejen de manera más fiel las características de los datos estudiados.
- Fuente de datos: a la hora de realizar los gráficos correspondientes, se han obtenido los datos necesarios de fuentes sólidas y fiables como son la Agencia Internacional de Energía (IEA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

1.4 Estructura de la memoria

La estructura de la memoria de este TFG se compone de varios capítulos bien definidos, cada uno con un propósito claro y específico que contribuye al análisis global del tema estudiado. A continuación, se detalla cada uno de los capítulos que conforman esta memoria.



El apartado inicial es la introducción, donde se contextualiza la motivación detrás del TFG. En este capítulo se discuten los estudios previos relevantes al tema, proporcionando un marco teórico que respalde el trabajo realizado. Además, se establecen los objetivos principales que se pretenden alcanzar con esta investigación, delimitando el alcance y la relevancia del estudio.

El segundo capítulo se dedica a la energía, en el cual se explica qué es la energía y cómo se clasifica. Este capítulo también aborda los diferentes índices de energía existentes y sus implicaciones en el desarrollo socioeconómico. La comprensión de estos conceptos es fundamental para entender cómo la energía influye en diversos aspectos del desarrollo de los países.

En el tercer apartado, se explican algunos de los índices de desarrollo más utilizados y se detalla el proceso de cálculo de estos índices. Este análisis es crucial para establecer una relación entre la energía y el desarrollo, proporcionando una base sólida para la evaluación de las correlaciones que se explorarán en los capítulos posteriores.

El capítulo cuatro describe la metodología seguida para el desarrollo y confección del TFG. Aquí se detalla el enfoque metodológico, las herramientas y técnicas utilizadas, y los procedimientos implementados para recopilar y analizar los datos. Este capítulo es esencial para comprender la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

El quinto apartado se centra en el análisis de todos los resultados obtenidos. En este apartado se comentan las tendencias y patrones identificados, así como la fuerza de correlación entre las variables estudiadas. Este análisis permite extraer conclusiones preliminares sobre la relación entre energía y desarrollo.

En siguiente capítulo se lleva a cabo una desagregación del análisis por grupos de países según su nivel de desarrollo. Este enfoque permite identificar comportamientos y tendencias específicos de cada grupo, proporcionando una visión más detallada y matizada del fenómeno estudiado.

Antes de las conclusiones, se incluye un apartado dedicado a la igualdad de género, donde se estudian en profundidad las desigualdades de género en los distintos países. Este análisis es crucial para entender cómo las diferencias de género pueden influir en el desarrollo y en la distribución de los recursos energéticos.

Finalmente, el trabajo concluye con un capítulo de conclusiones, donde se resumen los hallazgos más importantes del estudio. También se discuten las posibles líneas de trabajo futuro y se indica la bibliografía utilizada, proporcionando una base para futuras investigaciones y asegurando la transparencia y rigor académico del TFG.





2. ENERGÍA

La energía es un concepto físico fundamental que puede describirse como la capacidad potencial de un sistema para influir en los cambios en otros sistemas. Se pueden inducir dos formas de cambio: trabajo y calor. Esta es fundamental para todos los fenómenos físicos y se manifiesta de distintas formas en nuestro entorno. (*La Energía*, s. f.)

La energía proporciona una serie de beneficios esenciales para nuestra sociedad, que abarcan desde incentivar el desarrollo económico impulsando la industria hasta alcanzar el confort y bienestar diario, inversiones en investigación, medicina, comunicación, sostenibilidad, etc. Toda nuestra sociedad actual está basada en la energía por lo que es más que necesario comprender, respetar y estudiar esta fuente de recursos.

La elección acertada de una unidad de medida es esencial para convertir distintos tipos de energía en una unidad comparable. A continuación, se proporcionará una breve descripción de las unidades y métodos de medición térmica más frecuentes empleados en la mayoría de los informes utilizados para este estudio (*efENERGIA*, 2023):

- Julio (J): el julio es la unidad básica de energía en el sistema internacional y se traduce como la cantidad de trabajo realizado por una fuerza de un Newton que actúa a lo largo de una distancia de un metro en la dirección de la fuerza.
- Unidad térmica británica (BTU): equivale aproximadamente a 1055 julios o 250 calorías.
- Toneladas equivalentes de petróleo (TEP): se corresponde con 2 gigajulios aproximadamente.
- Watt-hora (Wh): forma de medir la energía predominante para la electricidad.

La energía se puede clasificar, al menos, en base a dos criterios: si se agota o se regenera y en función de la procedencia.

2.1 Energía renovable y no renovable

Todas las formas de energía que hoy conocemos se pueden clasificar como renovables y no renovables.

2.1.1 Fuentes de energía renovables

Las energías renovables son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse. Estas abundan y las encontramos en cualquier entorno. (*United Nations*, s. f.)

Son el aspecto con mayor importancia para la existencia de una transición hacia un sistema energético sostenible.



Cabe destacar, que, como consecuencia de una combinación de factores como la concienciación ambiental, el desarrollo tanto tecnológico como económico y los incentivos gubernamentales, la energía renovable ha experimentado un crecimiento muy significativo en las últimas décadas. Este concepto se ve reflejado en la siguiente gráfica realizada a partir de datos y estadísticas procedentes de la Agencia Internacional de la Energía (IEA).

Proporción de generación de electricidad renovable por tecnología, 2000-2028

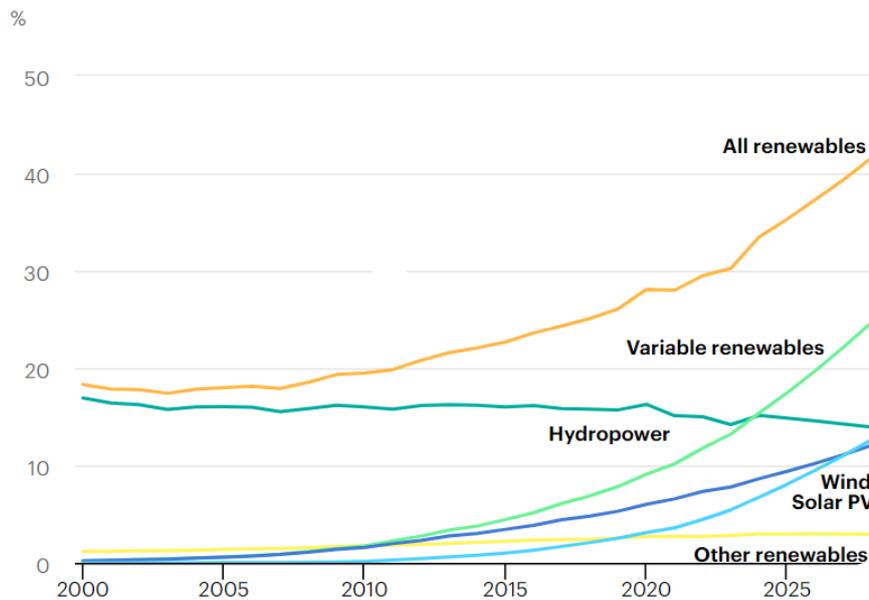


Ilustración 2 Gráfico de evolución del uso de energías renovables para la generación de electricidad. Fuente: IEA.

En los próximos cinco años, el mundo añadirá más capacidad renovable que la instalada desde la construcción de la primera planta comercial de energía renovable hace más de un siglo. Se prevé que se pongan en marcha casi 3.700 GW de nueva capacidad renovable entre 2023 y 2028, gracias a políticas de apoyo en más de 130 países. Durante este período, se alcanzarán varios hitos importantes en el ámbito de la energía renovable (*Renewables - Energy System - IEA, s. f.-b*):

1. En 2024, la energía eólica y solar fotovoltaica juntas generarán más electricidad que la hidroeléctrica.
2. En 2025, las energías renovables superarán al carbón, convirtiéndose en la principal fuente de generación eléctrica.
3. La energía eólica y la solar fotovoltaica superarán a la generación eléctrica nuclear en 2025 y 2026, respectivamente.
4. Para 2028, las fuentes de energía renovables representarán más del 42% de la generación eléctrica mundial, con la proporción de energía eólica y solar fotovoltaica duplicándose hasta alcanzar el 25%.



La expansión de las energías renovables es el principal motor en la reducción de las emisiones de CO₂ hasta 2030, según el escenario NetZero (NZE), que busca reducir las emisiones de gases contaminantes hasta niveles prácticamente nulos. En particular, las tecnologías eólica y solar son responsables de una gran parte de las reducciones globales de emisiones de CO₂ hasta 2030 en el Escenario NZE. Estas energías renovables ofrecen una alternativa a la inversión en nuevas plantas de generación de energía a partir de combustibles fósiles y desplazan la generación de las unidades existentes.

En el escenario NZE, se espera que la energía renovable, tanto en forma de uso directo de electricidad como de uso indirecto, como el hidrógeno renovable, reemplace la mayor parte del uso de combustibles fósiles en sectores de uso final, especialmente en la industria y el transporte. Además, las fuentes de calor renovables como la bioenergía moderna, las plantas geotérmicas y los calentadores solares también jugarán un papel crucial en la descarbonización del sector de la calefacción.

El incremento de las energías renovables como porcentaje del suministro de energía en 2022 fue el segundo mayor de la historia. Sin embargo, se requieren aumentos aún más rápidos para alinearse con el escenario NetZero (NZE). (*Renewables - Energy System - IEA, s. f.-b*)

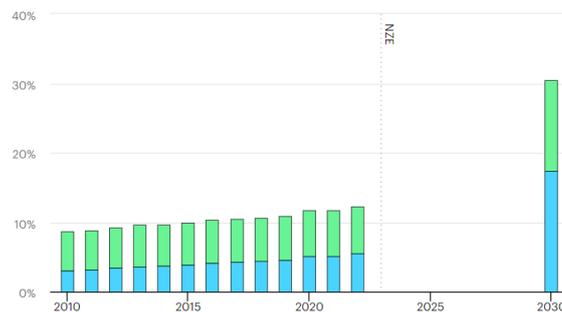


Ilustración 3 Gráfica que muestra la participación de las energías renovables en el suministro total de energía necesario para el alcance del escenario NetZero. Fuente: IEA.

A continuación, se explican más profundamente algunas de las energías renovables más relevantes en la actualidad.

Energía eólica

La energía eólica procede de la energía solar, ya que son los cambios de presiones y de temperaturas en la atmósfera los que hacen que el aire se ponga en movimiento, provocando lo que comúnmente se llama “viento”. Así, la fuerza de este es transformada en energía a través de medios específicos llamados **aerogeneradores**. Se trata de una de las energías renovables más representativa. (*United Nations, s. f.-b*)

La energía eólica consta de múltiples ventajas como su bajo poder contaminante, gran eficiencia, impacto menos agresivo en el suelo, no produce alteraciones en las fuentes de agua e induce al crecimiento económico.



A continuación, se muestra una gráfica que representa la evolución a lo largo de los años del uso de energía eólica en el mundo comparándola con cada continente (*Ilustración 4*).

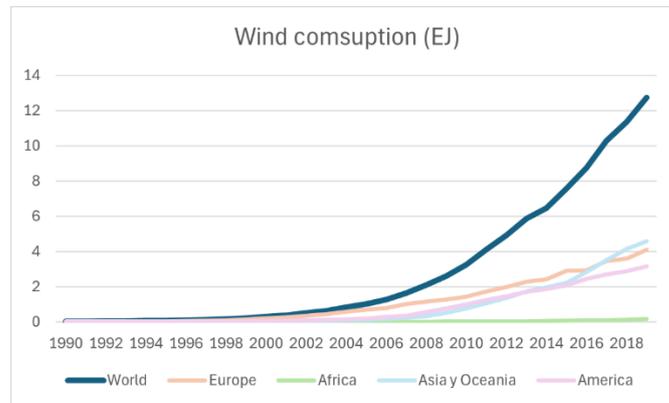


Ilustración 4 Gráfico de la evolución del consumo de energía eólica en el mundo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Energía solar

Se trata de una energía renovable o limpia que se obtiene aprovechando la radiación solar, tanto su calor como su luz es aprovechada por diversos medios que las captan y que pueden transformarlas en energías eléctricas o térmicas. La energía se obtiene a través de centrales termosolares. (*United Nations, s. f.-b*)

A continuación, se presenta un gráfico que ilustra el crecimiento del consumo de energía solar en el mundo.

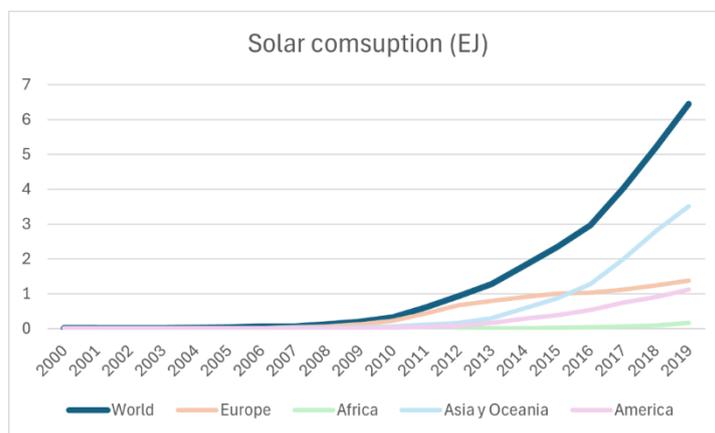


Ilustración 5 Gráfico de la evolución de la energía solar. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Energía hidráulica

La energía hidráulica se genera a partir de la fuerza del agua, la cual se aprovecha de diversas maneras, como las corrientes de los ríos, la fuerza del mar, los saltos de agua, entre otras. Se genera mediante la utilización de las energías cinética y potenciales



presentes en los cuerpos de agua en movimiento. Se trata de una fuente de energía limpia y no produce contaminación; sin embargo, la construcción de represas hidroeléctricas para su obtención conlleva un importante impacto ambiental. Este proceso implica la inundación de extensas áreas y la modificación de los cursos de los ríos. (United Nations, s. f.-b)

Cabe destacar, que la energía renovable más representativa y la más utilizada a lo largo de los años, con una larga historia de uso, es la energía hidroeléctrica. Desde hace décadas, las centrales hidroeléctricas han sido una fuente principal de energía renovable, aprovechando la fuerza del agua para generar electricidad de manera confiable y sostenible. Prueba de esto, es la siguiente representación gráfica, que muestra como existía un consumo notable desde el 1990, lo que contrasta drásticamente con las energías eólica y solar (energías claramente emergentes en la primera etapa de su desarrollo) mencionadas anteriormente. (Energía Hidráulica: Qué Es, Cómo Funciona y Sus Ventajas, s. f.)

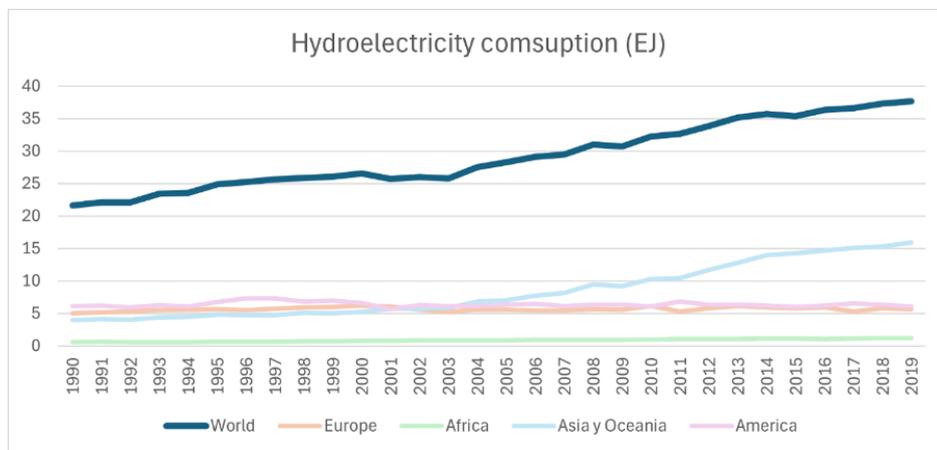


Ilustración 6 Gráfico de la evolución del consumo de energía hidroeléctrica. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Energía geotérmica

El calor, una manifestación de energía, se encuentra presente en el interior de la Tierra, generando fenómenos geológicos a nivel global. El término "energía geotérmica" se emplea frecuentemente para referirse a la parte de este calor terrestre que es o podría ser recuperada y utilizada por la humanidad. (United Nations, s. f.-b)

Biomasa

La biomasa incluye una amplia gama de materia orgánica de origen biológico, siendo una fuente de energía renovable utilizada para generar combustibles a partir de materia orgánica reciente o sus derivados. Esto incluye residuos orgánicos como aguas residuales, lodos de depuradora y materia orgánica de residuos sólidos urbanos. Su energía procede de la captación solar por parte de los vegetales en la fotosíntesis, liberándose al quemarla, produciendo dióxido de carbono y agua. Los productos resultantes se conocen como biocombustibles, pudiendo ser sólidos para usos térmicos y eléctricos, o líquidos para automoción. (¿Qué Es la Biomasa? Definición, Ventajas y Tipos | Repsol, 2024)



Energía mareomotriz

Los océanos y mares presentan un gran potencial energético que puede ser aprovechado para generar electricidad. La energía mareomotriz se fundamenta en la fluctuación del nivel del mar, causada por las fuerzas gravitatorias del sol y la luna. Para su aprovechamiento, se construyen diques que retienen y liberan el agua, cuyo movimiento impulsa turbinas para la producción de electricidad. (United Nations, s. f.-b)

2.1.2 Fuentes de energía no renovables

La energía no renovable se refiere a aquella que proviene de fuentes que se agotan con su uso y cuya disponibilidad no se repone a una velocidad significativa en comparación con su tasa de consumo. Estas fuentes de energía se basan en recursos finitos que han sido acumulados durante millones de años y cuya extracción o generación es limitada en la escala temporal humana. Los principales tipos de energía no renovable son los **combustibles fósiles**, como el **petróleo**, el **carbón** y el **gas natural**, así como la **energía nuclear**, que se obtiene mediante la fisión de átomos en reactores nucleares. Aunque estas formas de energía han sido fundamentales para el desarrollo industrial y económico, su uso excesivo conlleva impactos ambientales negativos, como la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación del aire y del agua, y la generación de residuos radiactivos. Por lo tanto, se considera importante buscar alternativas más sostenibles y limpias, como las energías renovables, para reducir la dependencia de las fuentes de energía no renovable y mitigar sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana.

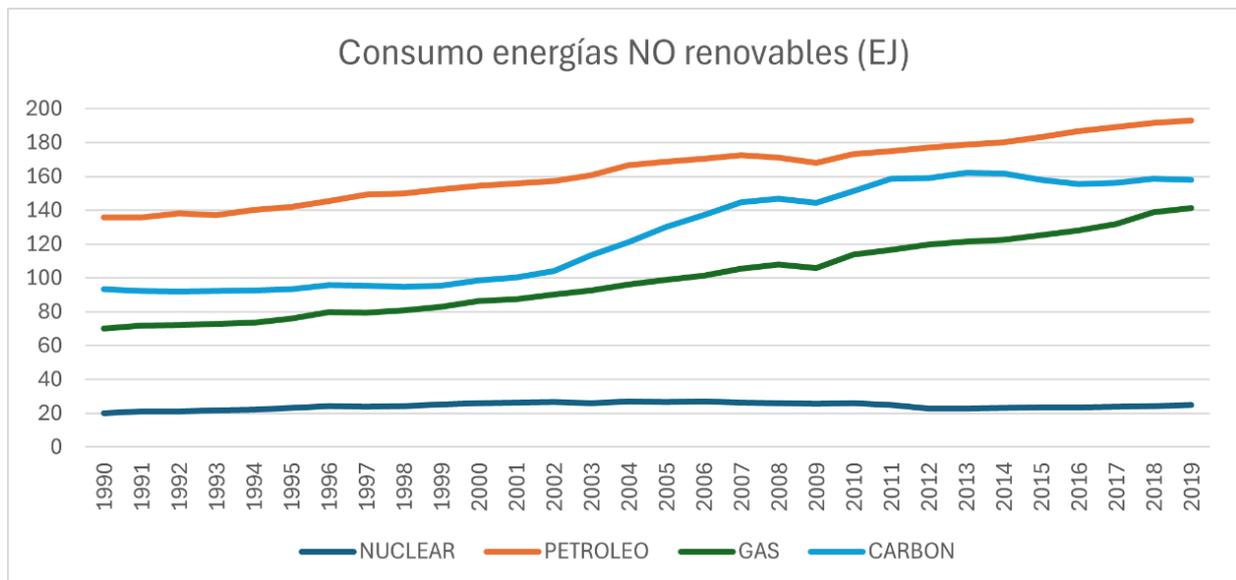


Ilustración 7 Gráfico de evolución de energías no renovables. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Como podemos observar en el gráfico anterior, la diferencia en la cantidad de exajulios consumidos entre las energías renovables y no renovables es desmesurada. La razón de esto es que, al reconocer que el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear son



recursos finitos y causan daños al medio ambiente, la humanidad ha empezado a explorar alternativas de energía limpia sostenibles. Este concepto es relativamente reciente, lo que explica por qué las fuentes de energía no renovable han tenido un predominio significativo hasta la fecha.

2.2 Energía primaria y secundaria

El ámbito energético se divide en diversas etapas que abarcan desde la generación de energía primaria, su posterior almacenamiento y transporte como energía secundaria, hasta su transformación y utilización como energía final.

Así, la energía **primaria** constituye una fuente energética natural que se emplea en su estado original, sin sufrir modificaciones, como ocurre con la energía solar, eólica, gas natural, uranio, entre otras. Como es de suponer, este tipo de energía puede ser tanto renovable como no renovable y se puede transformar en otras formas de energía denominadas secundarias.

Por tanto, las energías primaria y secundaria se podrían clasificar como sigue.

Tabla 1 Diferencias entre energía primaria y secundaria. Fuente: elaboración propia.

ENERGÍA PRIMARIA	ENERGÍA SECUNDARIA
RENOVABLES	
Eólica	Electricidad
Solar	Electricidad y calor
Hidráulica	Electricidad
Geotérmica	Calor y refrigeración
Bimasa	Electricidad, calor, biocombustibles, industria
Mareomotriz	Electricidad y energía mecánica
NO RENOVABLES	
Petróleo	Electricidad, calor, combustibles
Carbón	Electricidad, calor, industria
Gas natural	Calor, industria
Uranio y Plutonio	Electricidad

A lo largo de este estudio utilizaremos el índice del consumo de energía per cápita, refiriéndonos en todo momento al consumo per cápita de energía primaria de los países.

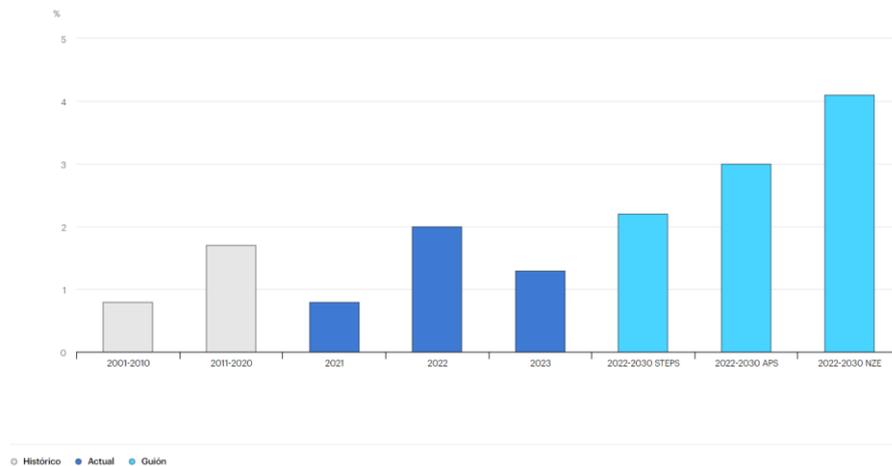


Ilustración 8 Mejora de la intensidad de la energía primaria. Fuente: IEA.

2.3 Índices de energía

Establecer índices de energía se trata de una tarea compleja debido a la diversidad de fuentes de datos, la variabilidad en metodologías de recolección y la heterogeneidad de los contextos nacionales. Las fuentes de datos energéticos provienen de múltiples organismos internacionales, gobiernos y entidades privadas, cada uno con diferentes enfoques y niveles de detalle, lo que puede llevar a inconsistencias y dificultades para obtener una visión coherente.

Además, las diferencias en el desarrollo tecnológico y las infraestructuras energéticas de los países añaden otra capa de complejidad. Las economías avanzadas y en desarrollo tienen diferentes perfiles de consumo energético y capacidades de generación, lo que se traduce en una necesidad de ajustar los índices y las métricas para que sean relevantes y comparables en contextos variados.

Por ello, nos fijaremos principalmente en dos indicadores: el consumo de energía per cápita y el share de renovables.

El consumo de energía per cápita es una medida directa del nivel de desarrollo y bienestar económico de un país, ya que está asociado con el acceso a servicios básicos, industrialización y calidad de vida. Este indicador permite comparaciones entre países y regiones, ofreciendo una visión clara de las diferencias en el uso y acceso a la energía.

Por otro lado, el share de renovables es un indicador crucial de sostenibilidad y compromiso con la transición hacia una economía baja en carbono. Un mayor porcentaje de energías renovables refleja esfuerzos para reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar un desarrollo más sostenible. Ambos indicadores, combinados, proporcionan una visión equilibrada del estado actual y futuro del sector energético, abarcando tanto el aspecto del desarrollo socioeconómico como el de la sostenibilidad ambiental.

2.3.1 Consumo de energía per cápita

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Cuenta Satélite Ambiental (CSA), el consumo de energía per cápita es una medida de intensidad, resultante de la relación entre el consumo interno de energía (medido en Terajulios), y la población (expresado en miles habitantes), en la unidad espacial de referencia j , en un periodo de referencia t . La relación entre la cantidad de energía consumida por habitante en un país en un momento determinado informa acerca de cómo la energía es utilizada, directa e indirectamente, por la población.

El indicador muestra eficiencia en el uso de energía, cuando el patrón de consumo de los productos energéticos disminuye, respecto al crecimiento de la población, en la escala de tiempo. El indicador muestra la cantidad de energía consumida por cada mil personas.

El consumo de energía per cápita se trata de un índice que mide el consumo total de la energía por lo que no solo tiene en cuenta energía primaria sino también la secundaria como la electricidad y supone el indicador predominante que utilizaremos en este estudio.

A continuación, se muestra un mapa que ofrece una visión mundial de la evolución del consumo de electricidad per cápita en 1990 y en 2015 a partir de datos de la IEA y de la OCDE. Este está expresado en KWh per cápita.

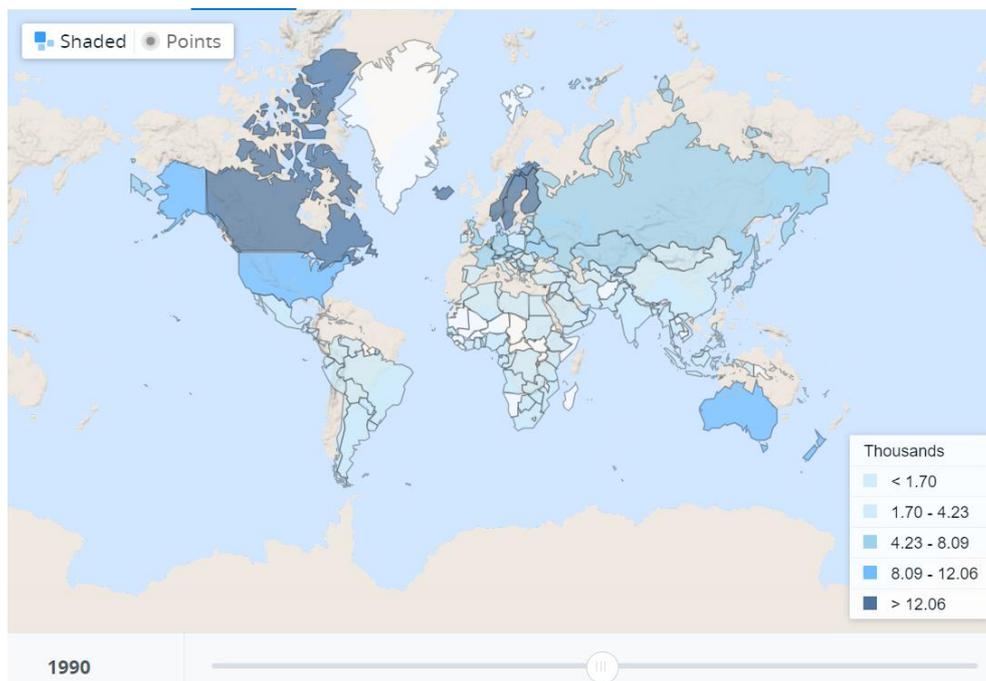


Ilustración 9 Representación visual del consumo de electricidad per cápita en 1990. Fuente: (World Bank Open Data, s. f.)

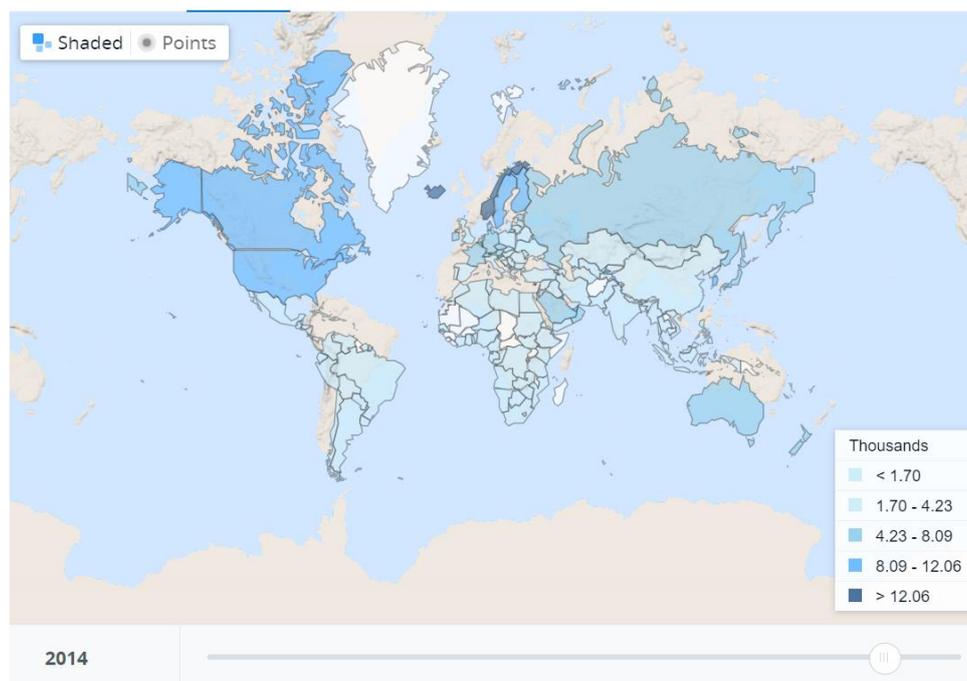


Ilustración 10 Representación visual del consumo de electricidad per cápita en 2015. Fuente: (World Bank Open Data, s. f.)

Como podemos observar, la situación energética ha experimentado grandes cambios en el periodo de tiempo comprendido entre 1990 y 2014, por un lado, en algunos países se ha experimentado un aumento del consumo energético mientras que en otros como Canadá, Suecia o Finlandia ha sucedido lo contrario. Más adelante se profundizará en este análisis analizando esta situación.

A la hora de manipular los datos precisos para el análisis, obtendremos estos a través de la IEA y de la OCDE.

2.3.2 Share de Renovables

Cabe comentar que, a parte del consumo de energía per cápita existen otros índices energéticos como el share de renovables se refiere a la proporción o porcentaje de energía renovable en el total de la producción o consumo de energía de una región o país. Este es un indicador crucial para evaluar el avance hacia la sostenibilidad y la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles.

Es un indicador importante para las políticas de sostenibilidad y los objetivos de reducción de emisiones de carbono ya que una mayor proporción de renovables generalmente significa una menor emisión de gases efecto invernadero.

Además, muchas organizaciones establecen metas específicas para aumentar su share de renovables como parte de sus compromisos internacionales, como los Acuerdos de París. Este indicador facilita la comparación entre diferentes países ayudando a sus líderes a realizar una transición hacia energías renovables.

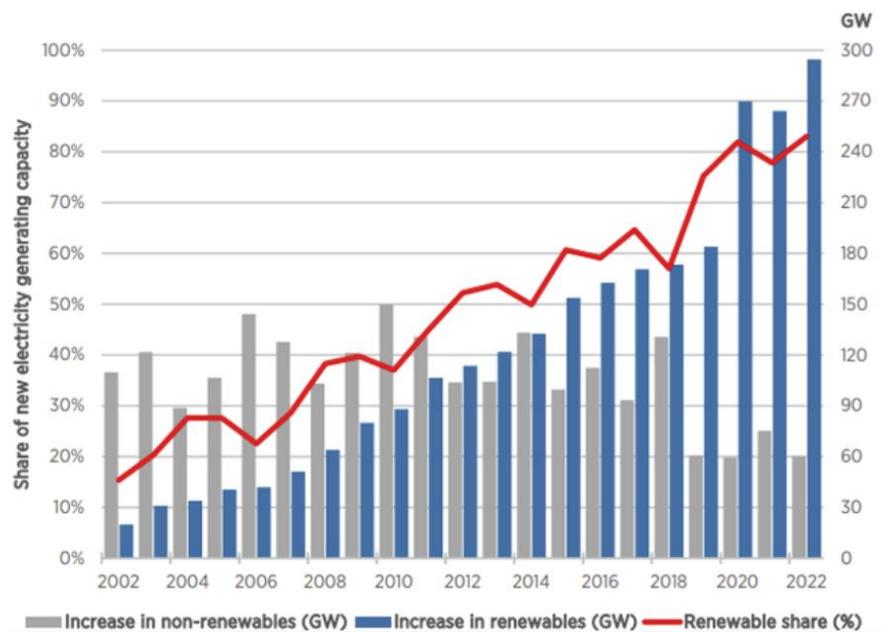


Ilustración 11 Participación de energías renovables en la expansión anual de capacidad de energía. Fuente: (Redacción, 2023)

2.3.3 ODS7: Acceso a la energía eléctrica

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de 17 objetivos interconectados establecidos por las Naciones Unidas en 2015. Estos objetivos son parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, una iniciativa global para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Cada uno de los 17 ODS tiene metas específicas que se deben alcanzar para el año 2030.



Ilustración 12 ODS 7. Fuente: Metas e Indicadores AIEDI

En este estudio intervienen distintas ODS como la ODS 3 (salud y bienestar), ODS 4 (educación de calidad), ODS5 (igualdad de género) y ODS7 (energía asequible y no contaminante), a raíz de la cual surge el indicador energético de acceso a la energía eléctrica.

Este indicador, mide el porcentaje de la población que tiene acceso servicios eléctricos. Es un importante indicador del desarrollo económico y social de un país debido a su estrecha relación con la disponibilidad de energía eléctrica.

El progreso en este indicador también se relaciona con las políticas de infraestructura y desarrollo que implementan los gobiernos, así como con las inversiones en energías renovables y la extensión de las redes eléctricas a zonas remotas.

A continuación, se muestra una representación visual del acceso a la electricidad actual a nivel mundial:

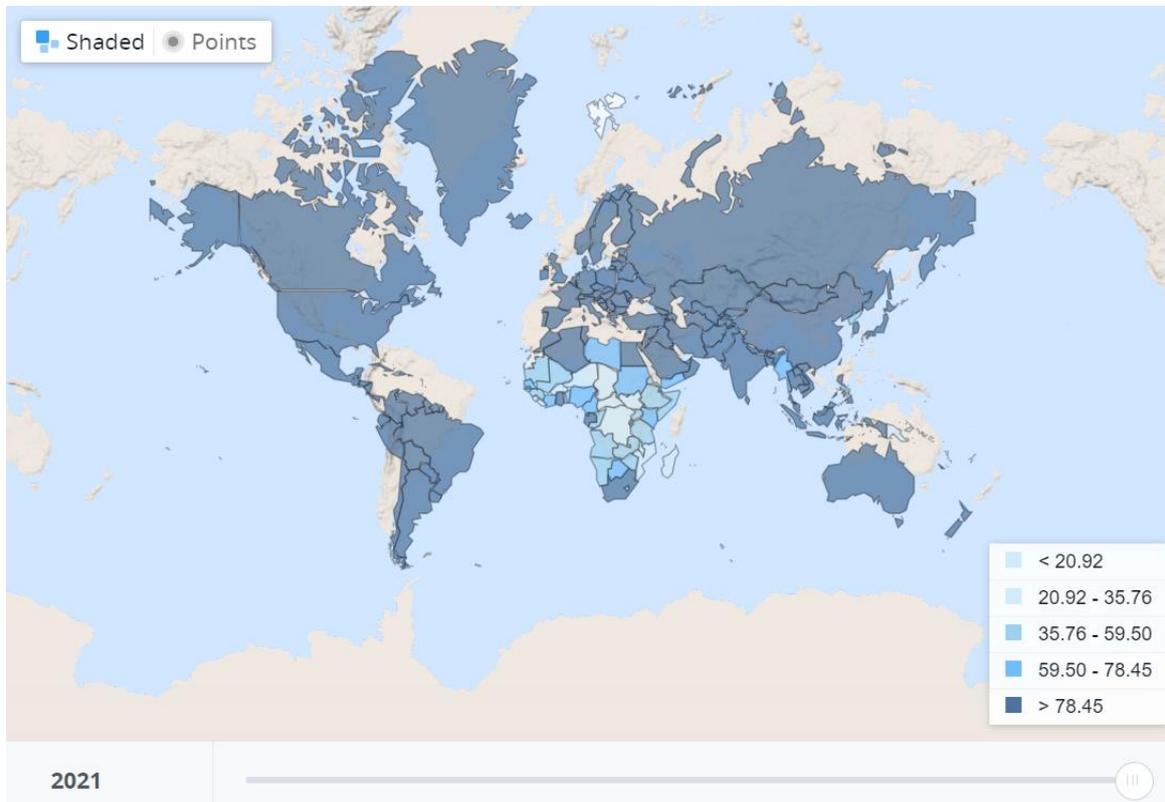


Ilustración 13 Acceso a la electricidad. Fuente: (World Bank Open Data, s. f.)



3. ÍNDICES DE DESARROLLO

Medir el desarrollo es una tarea compleja debido a la diversidad de dimensiones que deben considerarse y la pluralidad de indicadores disponibles. El desarrollo no solo se refiere al crecimiento económico, sino también al bienestar social, la equidad, la sostenibilidad ambiental, entre otros aspectos. Cada una de estas dimensiones requiere indicadores específicos que permitan una evaluación adecuada, lo que lleva a la existencia de múltiples métricas y enfoques metodológicos. Para este trabajo, utilizaremos los indicadores de desarrollo más significativos que emplea Naciones Unidas (NNUU) y, en particular, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Estos indicadores proporcionan una visión comprensiva y multidimensional del progreso de los países, integrando variables clave como la esperanza de vida, la educación y el ingreso per cápita.

Los indicadores en cuestión son:

- Índice de Desarrollo Humano (IDH)
- Índice de Desarrollo Humano ajustado por desigualdad
- Índice de Desarrollo Humano ajustado por presiones planetarias
- Índice de Desarrollo Humano ajustado por género

3.1 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

Según el Informe del Desarrollo Humano de 1992, “El desarrollo humano es un proceso mediante el cual se amplían las oportunidades del ser humano. En principio, estas oportunidades pueden ser infinitas y cambiar con el tiempo. Sin embargo, a todos los niveles del desarrollo, las tres más esenciales son disfrutar de una vida prolongada y saludable, adquirir conocimientos y tener acceso a los recursos necesarios para lograr un nivel de vida digno. Si no se poseen estas oportunidades esenciales, muchas otras alternativas continuarán siendo inaccesibles”.

Por tanto, podemos deducir que el nivel de desarrollo humano de cualquier país se podrá determinar en función de los tres ámbitos mencionados anteriormente: salud, educación y riqueza.

El IDH surge en base a una necesidad de corrección del PIB ya que, a la hora de comparar países, utilizando el PIB no se tienen en cuenta factores como la longevidad o el nivel de educación del país. Por tanto, ¿cómo se calcula?

La siguiente información proviene del Human Development Report (HDP), la mayor base de datos en cuanto a conceptos relacionados con cálculos del IDH.

Como hemos mencionado anteriormente, el IDH resulta de la media ponderada de tres dimensiones básicas:



- Esperanza de vida: se define como el número medio de años que se esperaría seguir viviendo una persona de una determinada edad, en caso de mantenerse el patrón de mortalidad por edad observado en el momento de realizar la estimación.
- Años de escolaridad: número de años completos de educación en una población.
- Riqueza, a través del Producto Interior Bruto (PIB): mide el valor de todos los bienes y servicios producidos en un periodo (normalmente un año) en una economía.

Para poder llevar a cabo estimaciones y cálculos es necesario establecer una medida para estas tres dimensiones. Para ello, se crean índices con intervalos y valores de referencia de forma que:

$$\text{índice} = \frac{\text{valor actual} - \text{límite inferior}}{\text{límite superior} - \text{límite inferior}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Así, la esta sería la tabla de referencia que indica los intervalos:

Tabla 2 Tabla de referencia de valores para los índices. Fuente: Human Development Report.

Parámetro	Unidad	Límite inferior	Límite superior
Longevidad	Años	25	85
Índice de alfabetización adulta	%	0	100
Índice de registro combinado	%	0	100
PIB	Dólar estadounidense	100	40000

En la tabla podemos ver los valores correspondientes a la longevidad, educación y, dentro de esta, el índice de alfabetización adulta y el índice de registro. Por último, indican los valores de los intervalos para el PIB.

Para obtener el índice de escolarización, intervienen dos variables, como se describe en la siguiente ecuación:

$$\text{índice de escolarización} = \frac{2}{3}(\text{índice de alfabetización adulta}) + \frac{1}{3}(\text{índice de registro})$$

(Ecuación 2)

La obtención del índice de riqueza se consigue mediante la aplicación de logaritmos a ambos lados de la ecuación. Este procedimiento se basa en el pensamiento de que no hace falta que exista una productividad ilimitada para conseguir un mayor índice de desarrollo humano.

$$\text{índice de riqueza} = \frac{\log(\text{valor actual}) - \log(\text{límite inferior})}{\log(\text{límite superior}) - \log(\text{límite inferior})} \quad (\text{Ecuación 3})$$



Una vez hechas las correcciones necesarias de ajuste de pesos y aplicación de logaritmos, los índices se obtienen según la (*Ecuación 1*). En el caso de la esperanza de vida, ninguna corrección es requerida por lo que se aplica directamente la (*Ecuación 1*).

Finalmente, el HDI resulta la media ponderada de estos tres índices.

$$IDH = \frac{\text{índice de escolarización} + \text{índice de esperanza de vida} + \text{índice de riqueza}}{3}$$

Disponer de una herramienta como el IHD que permita comparar países a un mismo nivel, supone un gran avance para nuestra sociedad. En este contexto, es importante tener en cuenta todos los factores que afectan a la población, no solo la riqueza, como tendencias demográficas, higiene, educación y, en particular en este estudio, el consumo de energía. A continuación, se muestra una tabla que relaciona el IDH, PIB y consumo de energía per cápita en el año 1999 clasificando los países por grupos que atienden el siguiente criterio:

- Nivel alto de desarrollo: $1 > IDH > 0,8$
- Nivel medio de desarrollo: $0,799 > IDH > 0,5$
- Nivel bajo de desarrollo: $0,499 > IDH > 0,0$

Analizando la tabla con detenimiento, lo que más nos llama la atención es que, a medida que los países tienen un menor valor de IDH, también disminuye la energía per cápita consumida de los mismos. De la misma forma, el IDH y consumo de energía guardan una relación directa con el PIB y el porcentaje de PIB destinado al consumo energético.

Este, es un primer análisis en nuestro estudio que establece una primera idea de la situación y relación entre el IDH y el consumo energético de los países.



Tabla 3 Relación entre el IDH, PIB y consumo de energía de los países por grupos de desarrollo. Fuente: Human Development Report.

Classification		Country	HDI 1999	GDP per capita (PPP US\$) 1999	GDP/energy (PPP US\$/kgep) 1999	Energy consumption (tep per capita)
High development	1	Norway	0.939	28433	4.8	5.9
	6	United States	0.934	31872	3.9	8.2
	11	Switzerland	0.924	27171	7.3	3.7
	16	Austria	0.921	25089	7.2	3.5
	20	Italy	0.909	22172	7.7	2.9
	21	Spain	0.908	18079	6.1	3.0
	26	Singapore	0.876	20767	3.6	5.8
	30	Malta	0.866	15189	6	2.5
	36	Hungary	0.829	11430	4.6	2.5
	41	Costa Rica	0.821	8860	10.8	0.8
	46	Croatia	0.803	7387	4.1	1.8
	47	Lithuania	0.803	6656	3.1	2.1
	Medium development	49	Trinidad and Tobago	0.798	8176	1.3
56		Malaysia	0.774	8209	4.3	1.9
58		Romania	0.772	6041	3.8	1.6
65		Lebanon	0.758	4705	3.3	1.4
69		Brazil	0.750	7037	6.7	1.1
72		Armenia	0.745	2215	4.9	0.5
73		Peru	0.743	4622	8.9	0.5
76		Georgia	0.742	2431	4.8	0.5
81		Sri Lanka	0.735	3279	8.1	0.4
86		Dominican Republic	0.722	5507	6.2	0.9
95		El Salvador	0.701	4344	6.8	0.7
100		Algeria	0.693	5063	5.4	0.6
105		Egypt	0.635	3420	4.9	0.3
111		Namibia	0.601	5468	9.6	0.5
112		Morocco	0.596	3419	10	0.4
115		India	0.571	2248	4.7	0.5
119	Ghana	0.542	1881	5	0.5	
123	Kenya	0.514	1022	2.1	0.4	
135	Cameroon	0.506	1573	3.8	0.4	
126	Congo	0.502	727	2.8	0.3	
Low development	127	Pakistan	0.498	1834	4.2	0.4
	128	Togo	0.489	1410	4.7	0.3
	132	Bangladesh	0.470	1483	10.8	0.1
	136	Nigeria	0.455	853	1.2	0.7
	143	Zambia	0.427	756	1.2	0.6
	145	Senegal	0.423	1419	4.5	0.3
	147	Benin	0.420	933	2.9	0.3
	157	Mozambique	0.323	861	2.1	0.4
158	Ethiopia	0.321	628	2.2	0.3	



3.2 Otros índices de desarrollo

3.2.1 IDH ajustado por desigualdad (IDHA)

Se trata de una medida que modifica el IDH estándar para tener en cuenta las desigualdades en la distribución de cada una de sus dimensiones componentes: salud, educación e ingresos. Mientras que el IDH ofrece una evaluación promedio del desarrollo humano en un país, el IDHA ajusta este promedio para reflejar mejor las disparidades internas.

El IDHA se calcula en tres pasos:

(Informe_nacional_sobre_Desarrollo_Humano_Paraguay_2013, n.d.)

1. Medir la desigualdad en las dimensiones del IDH

El IDHA hace uso de la fórmula de Atkinson (1970) y fija el parámetro de aversión ϵ en uno. En este caso, la medida de desigualdad es $A=1 - g/\mu$, donde g es la media geométrica y μ es la media aritmética en la distribución, lo que se expresa como sigue:

$$A_x = 1 - \frac{\sqrt[n]{X_1 \dots X_n}}{\bar{x}}$$

En el caso de los años promedios de escolaridad se agrega un año a todas las observaciones para computar la desigualdad.

Para dar cuenta de los valores atípicos o *outliers* del PIB, se trunca el 0,5 del percentil superior con el fin de reducir la influencia de los ingresos extremadamente altos y reemplazar los valores negativos por el valor mínimo del 0,5 percentil inferior de la distribución de ingresos positivos.

2. Ajustar los índices de la dimensión según la desigualdad

El término correspondiente a la media, se ajusta por la desigualdad de la siguiente forma:

$$\bar{x} \cdot (1 - A_x) = \sqrt[n]{X_1 \dots X_n}$$

Los índices de las dimensiones ajustados por desigualdad, se obtienen de los índices de las dimensiones del IDH al multiplicarlos por $(1 - A_x)$, esto permite que el IDHA de cuenta del efecto completo de la desigualdad.

3. Combinar los índices de las dimensiones para calcular el IDHA



El IDHA es la media geométrica de los índices de las tres dimensiones ajustadas por la desigualdad. En primer lugar, se calcula el IDHA que incluye el índice de ingresos sin transformación logarítmica:

$$IDH - D^* = \sqrt[3]{I_{Vida} \cdot I_{Educación} \cdot I_{Ingreso}^*} = \sqrt[3]{(1 - A_{Vida}) \cdot I_{Vida} \cdot (1 - A_{Educación}) \cdot I_{Educación} \cdot (1 - A_{Ingreso}) \cdot I_{Ingreso}^*}$$

Luego se calcula el IDH sin la transformación logarítmica:

$$IDH^* = \sqrt[3]{I_{Vida} \cdot I_{Educación} \cdot I_{Ingreso}^*}$$

La pérdida porcentual del IDH debido a las desigualdades se calcula de la siguiente manera, siendo el IDH-D=IDHA :

$$Pérdida = 1 - \frac{IDH - D^*}{IDH^*} = 1 - \sqrt[3]{(1 - A_{Vida}) \cdot (1 - A_{Educación}) \cdot (1 - A_{Ingreso})}$$

Por último, el cálculo final del IDHA o IDH-D:

$$IDH - D = \left(\frac{IDH - D^*}{IDH^*}\right) \cdot IDH = \sqrt[3]{(1 - A_{Vida}) \cdot (1 - A_{Educación}) \cdot (1 - A_{Ingreso})} \cdot IDH$$

El IDHA se basa en un índice que satisface la propiedad de consistencia de los subgrupos. Se trata además de un índice independiente del trayecto, es decir, el orden en que se agregan los datos no interviene en el resultado final.

Así, este índice consta también de ciertas limitaciones. La principal desventaja del IDHA es su insensibilidad a la asociación, es decir, que no captura las desigualdades simultáneas. Para que este aspecto se erradicara, los datos de cada individuo deberían provenir de una única encuesta, lo que no es factible cuando se trata de un grupo tan grande de países. (*Informe_nacional_sobre_Desarrollo_Humano_Paraguay_2013*, n.d.)

3.2.2 IDH ajustado por presiones planetarias (IDHP)

El Índice de Desarrollo Humano corregido por presiones planetarias (IDHP) es una medida que ajusta el Índice de Desarrollo Humano (IDH) tradicional para tener en cuenta el impacto ambiental y la sostenibilidad ecológica. Este índice busca integrar la dimensión



ambiental al análisis del desarrollo humano, reconociendo que el progreso económico y social debe ser sostenible y no lograrse a expensas del medio ambiente.

El IDHP se calcula ajustando el IDH tradicional por dos factores clave relacionados con las presiones planetarias. Por un lado, tiene en cuenta las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) per cápita. Este factor mide el impacto de las actividades humanas en el cambio climático. Se considera la cantidad de CO₂ emitido por persona en un país.

Por otro lado, considera la huella material per cápita ya que esta evalúa la cantidad de recursos naturales utilizados por persona, incluyendo materiales como minerales, combustibles fósiles, biomasa, entre otros.

Al incorporar estos factores, el IDHP ofrece una visión más integral del desarrollo, destacando que el bienestar humano debe estar alineado con la capacidad del planeta para sostener dicho desarrollo a largo plazo. Un IDHP más bajo en comparación con el IDH estándar indicaría que el país está logrando su desarrollo a costa de mayores presiones ambientales, mientras que una menor diferencia entre ambos índices sugeriría un desarrollo más sostenible y equilibrado.

3.2.3 IDH ajustado por género (IDG)

El Índice de Desarrollo Humano ajustado por género (IDG) es una medida que ajusta el Índice de Desarrollo Humano (IDH) tradicional para reflejar las desigualdades de género en el desarrollo humano. Este índice es una herramienta importante para evaluar cómo las diferencias entre hombres y mujeres en áreas clave del desarrollo humano afectan el progreso general de una sociedad. (*Portal Institucional E Información Sobre la Actividad Parlamentaria y Legislativa del Estado Peruano, s. f.*)

Este índice se calcula análogamente al IDHA, considerando tres ámbitos: el índice de salud ajustado por género, el índice de educación ajustado por género y los ingresos ajustados por género, es decir, mide estos tres aspectos destacando las diferencias entre hombres y mujeres.

Esto proporciona una visión más precisa de cómo las desigualdades de género impactan el desarrollo humano en un país. Un IDG más bajo en comparación con el IDH estándar indica mayores desigualdades de género. Este índice es crucial para identificar y abordar las brechas de género en salud, educación e ingresos, promoviendo un desarrollo más equitativo e inclusivo.

Así, los pasos para calcularlo serían los siguientes:

1. Manejar ceros y valores extremos

Es necesario fijar un valor mínimo para los indicadores de todas las dimensiones, ya que una media geométrica no puede ser igual a cero. Este mínimo se define en 0,1% para la



tasa de fecundidad adolescente, la proporción de escaños parlamentarios ocupados por mujeres, los logros en educación secundaria y superior, y la tasa de participación laboral. La representación parlamentaria femenina en países que reportan un valor de cero se ajusta a 0,1%, ya que incluso en aquellos países sin mujeres en el parlamento nacional, ellas tienen algún grado de influencia política.

El nivel de sensibilidad de este índice se encuentra en (Gaye y otros, 2010).

2. Agregar las dimensiones dentro de cada grupo de género usando medias geométricas

En el caso de mujeres y niñas, la fórmula de agregación es (Seth, 2009):

$$G_M = \sqrt[3]{\left(\frac{10}{MMR} \cdot \frac{1}{AFR}\right)^{1/2} \cdot (PR_M \cdot SE_M)^{1/2} \cdot LFPR_M}$$

En el caso de hombres y niños, es:

$$G_H = \sqrt[3]{1 \cdot (PR_H \cdot SE_H)^{1/2} \cdot LFPR_H}$$

3. Agregar a través de grupos de género usando una media armónica

La media armónica de las medias geométricas dentro de los grupos permite capturar la desigualdad entre mujeres y hombres y a la vez ajustar las asociaciones entre dimensiones.

$$DAÑO(G_M, G_H) = \left[\frac{(G_M)^{-1} + (G_H)^{-1}}{2} \right]^{-1}$$

4. Calcular la media geométrica de las medias aritméticas para cada indicador

La referencia estándar para calcular la desigualdad se obtiene sumando los índices para mujeres y hombres, utilizando las mismas ponderaciones para cada género (es decir, tratando a ambos por igual) y luego agregando los índices de cada dimensión

$$G_{\bar{M}, \bar{H}} = \sqrt[3]{\overline{Salud} \cdot \overline{Empoderamiento} \cdot \overline{LFPR}}$$

$$\overline{Salud} = \left(\sqrt{\frac{10}{MMR} \cdot \frac{1}{AFR}} + 1 \right) / 2,$$

$$\overline{Empoderamiento} = \left(\sqrt{PR_M \cdot SE_M} + \sqrt{PR_H \cdot SE_H} \right) / 2, \text{ y}$$

$$\overline{LFPR} = \frac{LFPR_M + LFPR_H}{2}$$

$$1 - \frac{DAÑO(G_F, G_M)}{G_{F,M}}$$



Cabe mencionar, que esta es la forma oficial para realizar el cálculo de este índice, sin embargo, existen otras vías para obtener el índice ajustado por género, por lo que no es absurdo en este caso encontrarnos con valores mayores que uno en ciertas bases de datos.





4. METODOLOGÍA

4.1 Fuentes de datos

La medición y el análisis de los datos de energía a nivel internacional presentan una gran complejidad debido a la pluralidad de fuentes de datos y la diversidad de índices de energía utilizados. En primer lugar, las fuentes de datos de energía son variadas e incluyen organismos internacionales. Cada una de estas entidades puede tener diferentes metodologías, periodos de reporte y niveles de detalle, lo que complica la comparación directa y coherente de los datos. Además, los países también recopilan y reportan datos de energía de manera autónoma, utilizando sus propios sistemas estadísticos y criterios, lo que introduce más variabilidad y posibles inconsistencias en la información.

Por ello, para comenzar el estudio, es necesario seleccionar los datos que correspondan y que provengan de una fuente lo suficientemente sólida y fiable, motivo por el cual obtendremos la información de energía e índices sociales a partir de fuentes como la Agencia Internacional de Energía (IEA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) respectivamente.

La **Agencia Internacional de Energía (IEA)** es una organización internacional, establecida por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) después de la crisis del petróleo de 1973, cuyo objetivo es coordinar las políticas energéticas de sus estados miembros. En la actualidad, debido a los cambios en los mercados de energía, la AIE se enfoca en tres aspectos clave de las políticas energéticas: la seguridad energética, el desarrollo económico y la protección del medio ambiente. La IEA dispone de una base de datos que se trata de plataforma integral que recopila y organiza datos detallados sobre el sector energético a nivel mundial. De esta forma, se ofrecen herramientas y análisis para entender las tendencias energéticas globales.

El **Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)** es una organización internacional que trabaja en más de 170 países y territorios para eliminar la pobreza, reducir las desigualdades y construir resiliencia frente a los desafíos globales. En cuanto a su base de datos, esta permite comparar y clasificar países según su nivel de desarrollo humano, proporcionando información valiosa.

Una vez hemos establecido nuestras fuentes de datos, acudimos, por un lado, a la base de datos de PNUD y seleccionamos los datos de los índices correspondientes. Por otro lado, a través de la IEA y de la OECD, obtenemos la información relativa a los índices energéticos necesarios. Así, al seleccionar “World energy statistics”, llegamos a una pantalla como esta:

IEA World Energy Statistics and Balances

eISSN: 1683-4240 DOI: 10.1787/ene-stats-data-en

Select data

World energy statistics [discontinued]

World energy statistics [discontinued]

World energy statistics

Oil demand by non-OECD countries [discontinued]

World energy balances [discontinued]

Extended world energy balances [discontinued]

World Indicators [discontinued]

World conversion factors [discontinued]

Archive 2023

Archive 2022

Archive 2021

Archive 2020

Archive 2019

Archive 2018

Archive 2017

World energy statistics [discontinued]

Customise Export My Queries Cite this database

Product Natural gas (TJ-gross)

Flow Production

Time 2013 2014 2015 2016 2017 2018

Country

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
World	134 997 158	136 628 376	138 370 581	141 230 575	146 820 700 368	152 939 422 165	160 14
OECD Americas	34 805 548	36 880 408	38 212 009	38 265 485	39 031 256 633	42 274 203 984	46 42
OECD Asia Oceania	3 050 680	3 159 543	3 288 798	3 840 237	4 759 062 474	5 332 317 34	6 117
OECD Europe	10 128 808	9 482 631	9 314 114	9 339 434	9 401 462 937	8 920 285 393	8 281
Africa	7 945 960	7 989 944	8 066 337	8 663 584	9 511 842 781	9 883 187 024	9 788
Non-OECD Americas	6 363 943	6 470 730	6 453 182	6 398 047	6 434 630 568	6 297 199 291	6 2
Middle East	21 502 140	22 077 238	22 727 431	23 640 009	24 259 133 017	24 092 703 621	25 635
Non-OECD Europe and Eurasia	34 139 905	32 869 031	32 459 001	33 109 762	35 370 831 536	37 304 590 092	38 46
Non-OECD Asia (excluding China)	12 354 973	12 631 709	12 609 207	12 645 727	12 289 329 837	12 599 785 39	12 352
*China (P.R. of China and Hong Kong)	4 705 201	5 067 142	5 240 502	5 328 291	5 763 150 585	6 235 150 03	6 858

© OECD. All rights reserved. Terms & Conditions | Privacy Policy

Login | Contact us | User Guide

Ilustración 14 Layout de datos en el IEA. Fuente: OECD library.

De esta manera, seleccionamos la información referida al consumo de energía per cápita mediante el desplegable “Product” y datos de los distintos índices que vayamos a tener en cuenta para el estudio. Una vez seleccionados los datos, los exportamos y guardamos en un Excel seleccionando los países precisos que queramos analizar para su uso posterior en el software que utilizaremos.

El software en cuestión es **Matlab**, una plataforma de programación y cálculo numérico desarrollado por *MathWorks* para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y creación de modelos. Este programa nos permitirá relacionar los datos de energía e índices sociales, representarlos mediante gráficas y ajustarlos mediante una curva lo más precisa posible de forma relativamente sencilla ya que Matlab contiene multitud de herramientas muy útiles que se ejecutan mediante un solo comando mientras que en otro programa sería preciso todo un código de programación.

4.2.2 Procedimiento de análisis, correlación y ajuste

Para que el estudio sea significativo, seleccionaremos un conjunto de países que representen un porcentaje significativo de la población mundial. Una recopilación de datos sólida es esencial en un estudio como este, por ello, escogeremos una cantidad de países suficiente para que se vea reflejada en la muestra, por lo menos, un 50% de la población mundial. Esto es crucial por distintos motivos:

- **Representatividad:** al incluir países que abarcan gran parte de la población mundial se obtiene una muestra más representativa. Esto permitirá generalizar resultados a nivel global y comprender mejor las tendencias generales.
- **Variabilidad:** escogiendo diferentes países con distintos niveles de desarrollo humano, acceso a energía y estructuras económicas, se capturan en el modelo esas diferencias, lo que enriquecerá el análisis y permitirá identificar patrones.



- **Impacto global:** tanto la energía como el desarrollo humano son aspectos de alta relevancia global actualmente. Seleccionar a más de la mitad de la población garantiza una visión más completa y significativa de la relación entre energía y desarrollo humano a nivel internacional.

Así, la selección final de países es la siguiente:

Tabla 4 Países seleccionados para el estudio y su respectiva población. Fuente: elaboración propia.

Países	Población
Alemania	83800000
Argelia	44900000
Argentina	46230000
Bangladesh	170279000
Benín	13350000
Brasil	204246000
Canadá	38930000
China	1411397000
Colombia	51870000
Congo	5970000
Estados Unidos	333300000
Francia	67970000
Gabón	23890000
India	1428628000
Indonesia	277432000
Irak	44500000
Islandia	382003
Japón	125100000
Kazajistán	19620000
Mozambique	32970000
Nigeria	218500000
Noruega	5457000
Pakistán	231552000
Rusia	144200000
España	47780000
Sudáfrica	59890000
Suiza	8776000
TOTAL	5119418003
Representación del (%)	64,39

Los 26 países finalmente seleccionados constituyen una población del 64,39% mundial, teniendo en cuenta que la población total mundial es de 7900 miles de millones de habitantes. Como hemos mencionado anteriormente, seleccionamos tanto países europeos como pertenecientes al resto de los continentes. Así, haciendo referencia al aspecto de la variabilidad, se pueden clasificar según su nivel de desarrollo en:

- Países con nivel **muy alto** de desarrollo: Alemania, Argentina, Canadá, Estados Unidos, Francia, Islandia, Japón, Kazajistán, Noruega, España, Rusia y Suiza.
- Países con un nivel **alto** de desarrollo: Argelia, Brasil, Indonesia, China, Colombia y Sudáfrica.
- Países con un nivel **medio** de desarrollo: Bangladesh, India, Congo, Gabón e Irak.
- Países con un nivel **bajo** de desarrollo: Nigeria, Pakistán, Benín y Mozambique.



Por último, la representación de los países con un nivel de desarrollo muy alto, en concreto Noruega, Estados Unidos y Canadá, presenta un comportamiento peculiar que abordaremos y analizaremos más adelante.

Con este contexto, ya estamos preparados para realizar los ajustes precisos con Matlab.

Como hemos mencionado anteriormente, una vez tenemos los datos preparados para su manipulación, les importamos a Matlab. En este entorno, creamos un LiveScript, que se trata de un documento interactivo que combina el código de Matlab con texto formateado, ecuaciones e imágenes en un solo entorno. Además, este tipo de scripts son capaces de almacenar y mostrar los resultados junto a los códigos que lo generan.

Esto nos permite visualizar las salidas del código que escribimos y el código simultáneamente.

Comenzamos definiendo los datos y sacándolos por pantalla. Luego, los trasponemos para formar un vector en el que los países se encuentren listados en orden.

```
datos_ener= xlsread('energia.xlsx')

datos_ener = 26x30
20.8750 21.9070 22.0130 22.0050 20.0740 19.6200 18.9860 18.7330 18.9290 20.5840 20.9520 20.7770 22.4140 24.0270 24.5260 26.1830 26.4720 28.3980 ...
38.3730 39.8620 41.4610 43.3320 45.3540 45.8480 48.1040 49.3650 50.7380 48.6660 48.0930 45.5600 43.3060 46.4000 49.3950 50.0460 51.8920 54.4890
4.2510 4.0680 4.1940 4.2990 4.4310 4.7720 4.7250 4.8150 4.8880 4.7800 4.8400 5.1660 5.1560 5.4290 5.3200 5.4320 5.6070 5.7790
30.9760 30.8550 30.8210 31.1680 32.2730 33.1150 34.2600 35.6890 36.3500 36.7040 36.6290 35.9990 36.7510 36.8300 38.4410 38.7140 39.5470 41.4060
239.5760 234.8830 236.3860 239.6510 245.7900 248.4690 254.1020 254.5440 246.4360 253.1840 247.6610 236.9860 247.0690 254.0320 254.4180 246.9780 239.9580 244.8350
24.2530 24.7550 24.9370 25.6830 26.0800 27.2520 26.2280 26.6650 26.6240 25.5490 25.9040 26.3530 27.4590 30.0860 34.7680 39.4080 42.1210 44.5330
24.0090 23.9990 23.5310 24.0320 24.8980 25.1360 25.5120 24.7200 23.9560 22.4210 22.2990 22.1530 21.5670 21.4820 21.3920 21.4090 21.1880 21.3780
216.4740 213.8740 212.3050 213.2160 215.6750 216.3750 220.6560 220.7740 217.9930 223.4040 229.2490 223.1050 221.5120 221.7600 223.8160 221.0940 218.3910 218.7200
101.7540 108.6920 108.8570 105.9640 104.5240 106.3330 110.1570 108.9380 110.3260 110.0500 111.0150 113.6740 111.0010 112.4710 112.6740 111.0520 108.8630 106.1350
10.3430 10.4910 10.5040 10.4420 10.7550 10.8880 10.9920 11.2970 11.2010 11.3290 11.4600 11.2610 11.4450 11.4750 11.7350 12.0530 12.5510 13.1470
:
:
vec_ener= datos_ener';
vec_ener= vec_ener(:);
```

Ilustración 16 Layout de los datos de Energía per Cápita. Fuente: elaboración propia.

```
datos_hdi= xlsread('hdi.xlsx')

datos_hdi = 26x30
0.5930 0.5960 0.6010 0.6020 0.6030 0.6070 0.6180 0.6260 0.6350 0.6440 0.6520 0.6590 0.6680 0.6750 0.6830 0.6900 0.6960 0.7010 ...
0.7240 0.7310 0.7360 0.7400 0.7460 0.7470 0.7520 0.7580 0.7640 0.7740 0.7800 0.7850 0.7850 0.7930 0.7980 0.8020 0.8140 0.8170
0.3990 0.3970 0.4160 0.4230 0.4310 0.4400 0.4460 0.4580 0.4730 0.4870 0.4910 0.4980 0.5050 0.5110 0.5180 0.5250 0.5300 0.5330
0.6200 0.6240 0.6270 0.6330 0.6390 0.6450 0.6500 0.6560 0.6600 0.6630 0.6680 0.6730 0.6780 0.6820 0.6890 0.6960 0.7010 0.7080
0.8610 0.8650 0.8690 0.8670 0.8730 0.8770 0.8800 0.8800 0.8800 0.8840 0.8900 0.8930 0.8950 0.8970 0.9010 0.9030 0.9070 0.9070
0.4820 0.4890 0.5010 0.5120 0.5220 0.5320 0.5430 0.5540 0.5650 0.5750 0.5860 0.5970 0.6080 0.6190 0.6310 0.6430 0.6560 0.6680
0.6140 0.6220 0.6310 0.6370 0.6430 0.6470 0.6540 0.6610 0.6660 0.6650 0.6720 0.6740 0.6760 0.6830 0.6890 0.7010 0.7030 0.7150
0.8750 0.8750 0.8800 0.8820 0.8850 0.8860 0.8870 0.8890 0.8910 0.8910 0.8940 0.8950 0.8960 0.8980 0.9020 0.9040 0.9080 0.9110
0.7900 0.7990 0.8060 0.8090 0.8240 0.8290 0.8340 0.8390 0.8430 0.8470 0.8440 0.8470 0.8440 0.8470 0.8500 0.8530 0.8610 0.8690 0.8730 0.8760
0.4340 0.4370 0.4420 0.4460 0.4520 0.4580 0.4650 0.4710 0.4770 0.4850 0.4900 0.4950 0.5010 0.5140 0.5230 0.5320 0.5410 0.5500
:
:
vec_hdi= datos_hdi';
vec_hdi= vec_hdi(:);
```

Ilustración 17 Layout de los datos del HDI. Fuente: elaboración propia.

Ahora, debemos determinar el ajuste que aplicaremos a nuestros datos. Para ello, nos basaremos principalmente en estudios anteriores. Como ya hemos mencionado anteriormente, estudios recientes concluyen que un ajuste logarítmico es el que más fuerza ofrece a la hora de correlacionar los datos. Además, observando la gráfica inicial construida por Excel, podemos percibir que aparentemente presenta un comportamiento



de una función logarítmica, es decir, asciende con rapidez para luego estabilizarse en una aparente asíntota horizontal. Por ello, comenzaremos por esta opción. El código es el que sigue:

```
[f, gof]=fit(vec_ener,vec_hdi,'a+ b*log(x)');
```

```
xhat= 0:400;  
yhat= f.a+ f.b*log(xhat);
```

Ilustración 18 Líneas de código de la función fit en Matlab. Fuente: elaboración propia

En primer lugar, indicamos el tipo de ajuste mediante la función *fit*. Esta función, permite modelar gráficos con diferentes tipos de funciones, como polinomios o logarítmicas, se puede especificar el tipo de modelo y ajustar los datos de acuerdo con las necesidades. En la segunda parte del código viene indicado el rango que debe tomar la curva en el eje de abscisas y posteriormente se define la función logarítmica. (*Ajustar Curvas o Superficies A Datos - MATLAB Fit - MathWorks España, s. f.*)

Para obtener la gráfica correspondiente, escribimos:

```
figure  
  
plot(datos_ener', datos_hdi','o')  
  
hold on  
plot(xhat, yhat)  
cad= sprintf('Y= %f+ %f*log(x)', f.a, f.b);  
title(cad)
```

Ilustración 19 Código que saca por pantalla la gráfica. Fuente: elaboración propia

De esta forma, saldrán por pantalla tanto la gráfica como la curva de ajuste unificada. Las dos últimas líneas mostrarán en la gráfica la función de la curva que hemos obtenido. Tras estos pasos, obtenemos los siguientes resultados.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Relación analítica entre IDH y consumo de energía per cápita

Ajuste logarítmico

Al ejecutar el código obtenemos, por una parte, los datos relativos al ajuste.

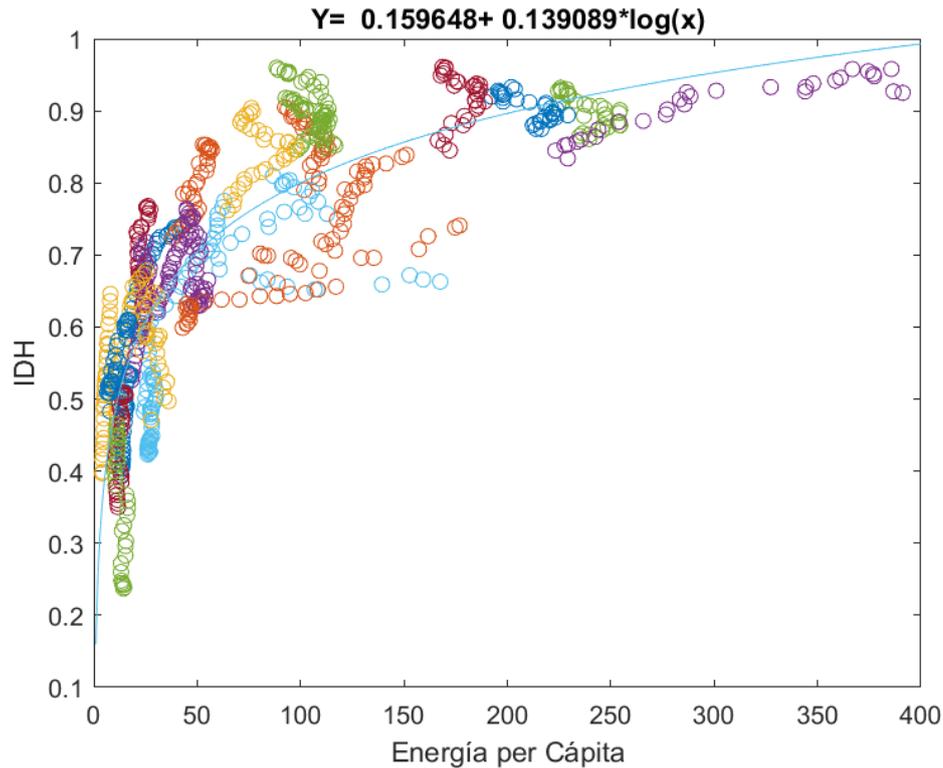


Ilustración 20 Gráfica del IDH en función de la Energía per Cápita ajustada con un modelo logarítmico. Fuente: elaboración propia.

```

corrcoef(vec_ener,vec_hdi)

f =
  General model:
  f(x) = a+ b*log(x)
  Coefficients (with 95% confidence bounds):
  a = 0.1596 (0.1366, 0.1827)
  b = 0.1391 (0.1333, 0.1449)
  gof = struct with fields:
    sse: 6.0691
    rsquare: 0.7402
    dfe: 778
  ans = 2x2
    1.0000 0.7456
    0.7456 1.0000
  
```

Ilustración 21 Parámetros de ajuste y correlación logarítmica. Fuente: elaboración propia

Centraremos la atención en los parámetros gof:

- **SSE:** *Sum of Squared Errors*, mide la diferencia entre los valores observados y los valores predichos. Es una métrica para indicar si el modelo se ajusta o no se ajusta bien a los datos. Un valor bajo de SSE, indicaría un buen ajuste.



En este caso, el valor de SSE es de 6,0691. No existe un umbral estandarizado que determine si este valor es alto o bajo, depende del contexto por lo que en este modelo se considera un valor más bien bajo.

- **Rsquare:** coeficiente de determinación o R cuadrada. Se trata de otra forma de medir la bondad del ajuste que indica en qué medida se explica la variabilidad. Puede tomar valores entre 0 y 1 de forma que cuanto más se acerque a la unidad, mejor se ajustan los datos al modelo.

En nuestro caso, una rsquare de 0,7402 constituye un modelo aceptable.

- **DFE:** Degrees of Freedom o Grados de Libertad. Estos determinan si existe suficiente información para estimar los parámetros con precisión.

Un valor de DFE de 778 significa que se dispone de una cantidad considerable de información disponible para estimar los parámetros.

- **Adjrsquare:** R cuadrado-ajustada mide qué tan bien los datos se ajustan a una curva en un modelo de regresión. A diferencia de la R cuadrada estándar, la R cuadrada ajustada penaliza la inclusión de variables inútiles en el modelo. Este será el indicador más fiable a la hora de determinar la bondad de nuestros ajustes. Los valores pueden comprenderse entre 0 y 1, por tanto, cuanto más cercano sea a la unidad, mejor será el ajuste.

En nuestro caso, tenemos una R cuadrado-ajustada de 0,7399 que constituye un valor aceptable ya que significa que el 73,99% de la variabilidad se explica mediante el modelo de regresión.

- **RMSE** o error cuadrático medio indica la capacidad que tiene el modelo de ajustarse a los datos. Cuanto más bajo sea este valor, mejor será el ajuste.

Por eso, si $RMSE=0,0833$ significa que, en promedio, las predicciones del modelo difieren en 0,0883 unidades del valor real. Se trata de un valor bastante cercano a 0 por lo que se trata de un buen modelo.

Los coeficientes de ajuste son aceptables.

En cuanto a la correlación, la matriz de correlación indica que los datos están muy correlacionados, es decir, tiene sentido el análisis y el ajuste.

Ahora, analizando la gráfica, vemos claramente cómo existe una clasificación en cuanto al comportamiento de los países según su nivel de desarrollo. Un ajuste logarítmico, como muestra la gráfica, supone un aumento rápido del nivel de desarrollo en los países con IDH bajo. Así, podría llegar a ser directamente proporcional su consumo de energía per cápita con la mejora en su nivel de vida.

En cuanto a los países con un nivel medio de desarrollo, podemos observar que en la gráfica se llega a un punto de saturación, a partir del cual la mejora en el IDH de los países se convierte en sutil o casi nula.



Por último, analizando los países con un nivel alto de desarrollo, vamos que estos se encuentran en la parte final del gráfico siguiendo un comportamiento de estabilidad mediante el cual, a pesar de su aumento en el consumo de energía, su IDH no aumenta tan considerablemente.

En resumen, parece que el comportamiento de la gráfica sigue el de su función de ajuste.

Una vez analizada la gráfica, podemos concluir que la correlación es bastante aceptable. Sin embargo, probaremos con dos ajustes más para comprobar que este es el mejor de los tres. Los ajustes en cuestión son: ajuste cuadrático y ajuste cúbico.

Ajuste cuadrático

El procedimiento para llevar a cabo este ajuste es el descrito anteriormente. Es decir, se definen los datos y la ecuación del ajuste que en este caso es una polinómica de segundo grado. Así, los resultados obtenidos son los siguientes:

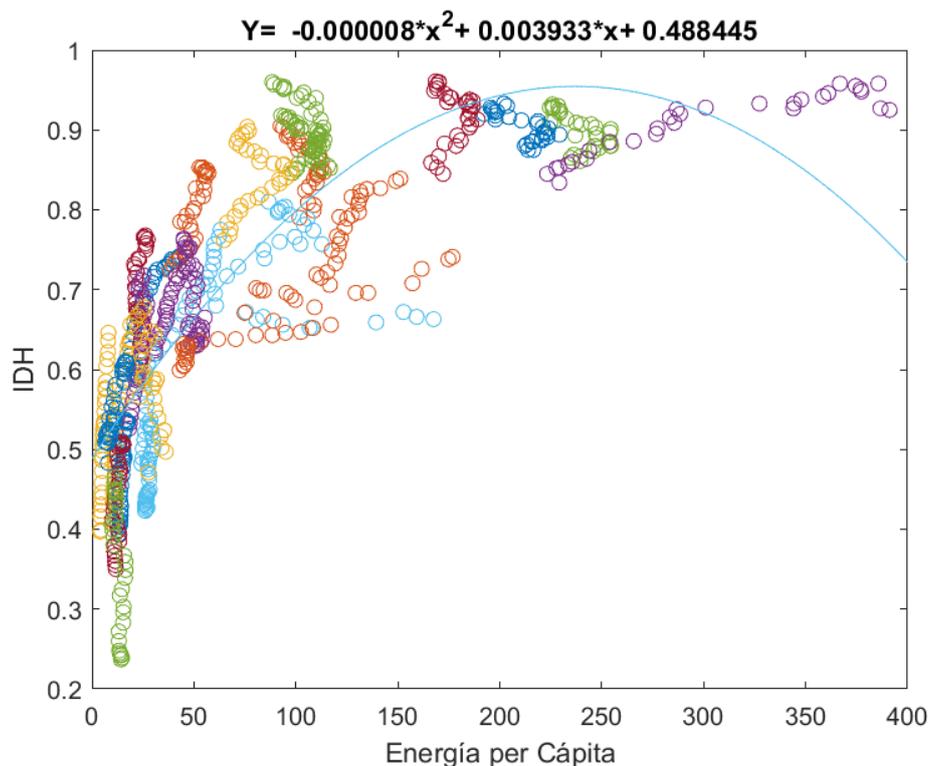


Ilustración 22 Gráfica del IDH en función de la Energía per Cápita ajustada con un modelo de regresión cuadrática. Fuente: elaboración propia.

```
f =  
Linear model Poly2:  
f(x) = p1*x^2 + p2*x + p3  
Coefficients (with 95% confidence bounds):  
p1 = -8.295e-06 (-9.124e-06, -7.465e-06)  
p2 = 0.003933 (0.003688, 0.004177)  
p3 = 0.4884 (0.4764, 0.5005)  
gof = struct with fields:  
sse: 6.9359  
rsquare: 0.7031  
dfe: 777  
adjrsquare: 0.7023  
rmse: 0.0945
```



Ilustración 23 parámetros de regresión cuadrática. Fuente: elaboración propia

Como podemos observar, los coeficientes que evalúan la calidad de la regresión siguen siendo aceptables. Sin embargo, en este caso, el ajuste parece ser ligeramente inferior al anterior ya que los parámetros son más bajos y, al observar la gráfica, se aprecia cierto desajuste.

Examinando la gráfica, se observa que en realidad este ajuste parece poco probable. No solo los parámetros son peores si no que la tendencia que seguiría un ajuste de este tipo sería un descenso del IDH en los países desarrollados a medida que estos aumenten su consumo de energía. Si esto fuera así, Islandia, que viene representado en la gráfica por los datos de color morado, con un consumo de energía de 400GJ per cápita, en vez de tener un IDH de más de 0,9, se estaría moviendo en unos niveles de 0,75 de su IDH.

Por tanto, en principio no seleccionaremos este ajuste.

Ajuste cúbico

Una vez hemos comprobado que el ajuste logarítmico sigue siendo mejor que el cuadrático, probaremos con un ajuste cúbico. En este caso, obtenemos los siguientes resultados:

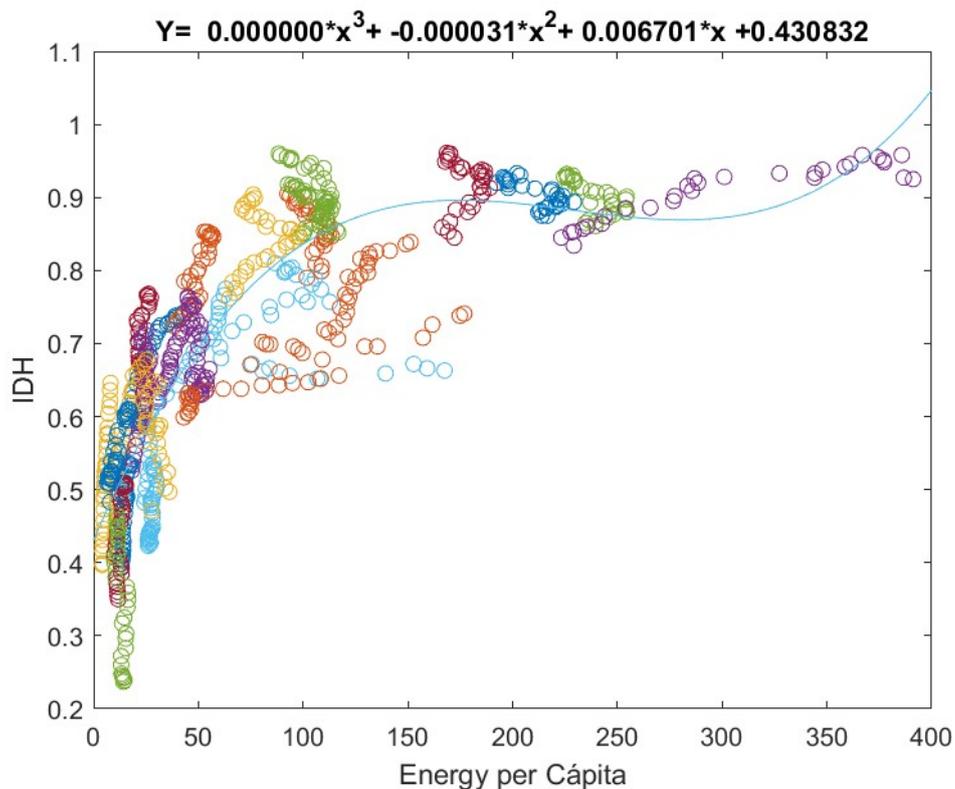


Ilustración 24 Gráfica del IHD en función de la Energía per Cápita con un ajuste cúbico. Fuente: elaboración propia.



```
f =
Linear model Poly3:
f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 4.532e-08 (3.832e-08, 5.231e-08)
p2 = -3.103e-05 (-3.462e-05, -2.744e-05)
p3 = 0.006701 (0.00622, 0.007183)
p4 = 0.4308 (0.4167, 0.4449)
gof = struct with fields:
sse: 5.7387
rsquare: 0.7543
dfe: 776
adjrsquare: 0.7534
rmse: 0.0860
```

Ilustración 25 Parámetros de un ajuste cúbico. Fuente: elaboración propia.

Los parámetros en este caso son los mejores hasta el momento. La siguiente tabla (Tabla 5) muestra una recopilación de los valores obtenidos hasta ahora.

Así, verificamos que los datos se ajustan mejor, teóricamente, a una curva que sigue una función cúbica. Sin embargo, analizando la gráfica no podemos corroborar esta afirmación.

Al igual que sucede con un ajuste cuadrático, los datos no parecen seguir una función cúbica en su totalidad. Es decir, en el caso de Islandia (el país que mayor tasa de consumo de energía y mayor IDH tiene de nuestra muestra), con un consumo de 400GJ, alcanzaría un **IDH mayor que uno**, lo que es completamente **absurdo** ya que el IDH es un índice relativo y siempre se comprenderá valores entre cero y uno. Por este motivo, se descarta el ajuste cúbico del análisis.

Tabla 5 Resumen de los parámetros obtenidos. Fuente: elaboración propia

	SSE	Rsquare	DFE	ADJRsquare	RMSE
Logarítmico	6,0691	0,7402	778	0,7399	0,0883
Cuadrático	6,9359	0,7031	777	0,7023	0,0945
Cúbico	5,7387	0,7543	776	0,7534	0,0860

A pesar de que los países en vías de desarrollo se puedan estar acercando a una curva cúbica, el comportamiento general de los países es logarítmico, sobre todo el de los países desarrollados que, a partir de un punto de saturación, aumentan muy poco a poco y gradualmente siguiendo esta tendencia. Por tanto, la función seleccionada es:

$$Y = 0,159648 + 0,139089 \log(x)$$

5.1.1 Resultado ajuste IDH corrección Kazajistán

Una vez hemos llegado a esta conclusión, analizaremos el caso concreto de Kazajistán.

Kazajistán es un país con abundancia de recursos naturales, especialmente mineros y energéticos. La eficiencia energética es un aspecto descuidado, el clima muy frío y hay una cultura de derroche de energía. Por la abundancia de recursos, Kazajistán es un país



que tiene un gran consumo de energía primaria en referencia al tamaño de su economía. Buena parte del crecimiento económico que ha tenido se ha basado en la fácil disposición que tiene de recursos.

Sin embargo, las desigualdades regionales (ciudades como Nur-Sultán han experimentado un desarrollo significativo pero las áreas rurales carecen de infraestructura adecuada), desigualdades económicas, corrupción y poca transparencia de las instituciones derivan en un bajo índice de desarrollo humano.

Por tanto, vemos que el caso de Kazajistán se podría considerar una situación inusual. Por este motivo, realizaremos otro análisis corrigiendo esto y eliminaremos Kazajistán de la muestra, que, aun así, seguiría representando más de un 60% de la población.

Con este ajuste, obtenemos los siguientes resultados:

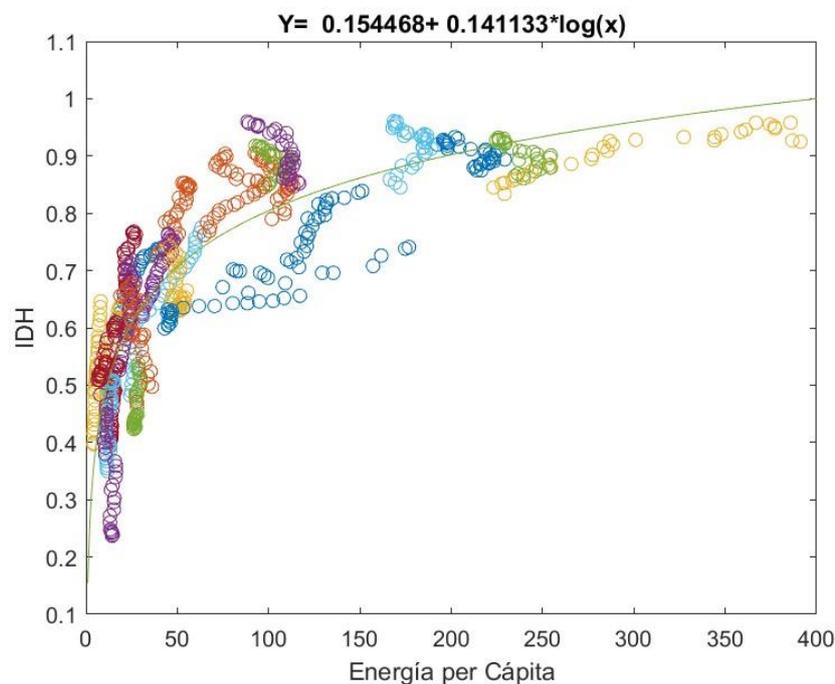


Ilustración 26 Gráfica del IDH en función de la energía per Cápita sin Kazajistán. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

```
f =  
General model:  
f(x) = a+ b*log(x)  
Coefficients (with 95% confidence bounds):  
a = 0.1545 (0.1314, 0.1775)  
b = 0.1411 (0.1353, 0.147)  
gof = struct with fields:  
sse: 5.7885  
rsquare: 0.7508  
dfe: 748  
adjrsquare: 0.7505  
rmse: 0.0880
```

Ilustración 27 Parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia.



Comparando los resultados con los del ajuste anterior:

Tabla 6 Resultados del ajuste sin Kazajistán. Fuente: elaboración propia.

	SSE	Rsquare	DFE	ADJRsquare	RMSE
Con Kazajistán	6,0691	0,7402	778	0,7399	0,0883
Sin Kazajistán	5,7885	0,7508	748	0,7505	0,0880

Comparando los R cuadrada ajustado, podemos comprobar que efectivamente existe una mejora en el modelo eliminando de la muestra este país, resultando como ecuación final:

$$Y = 0,154468 + 0,141133 \log(x)$$



5.2 Relación analítica entre los componentes del IDH y el consumo de energía per cápita

Después de examinar el impacto del consumo de energía en el Índice de Desarrollo Humano de los países, procedemos a desglosar y analizar por separado los componentes que lo integran: la esperanza de vida, los años de escolarización y el producto interior bruto (PIB).

5.2.1 Resultado del ajuste de la esperanza de vida

Comenzamos por la **esperanza de vida o *life expectancy* (LE)**.

Tomando los mismos datos y siguiendo el mismo procedimiento que el IDH, obtenemos los siguientes resultados del ajuste logarítmico:

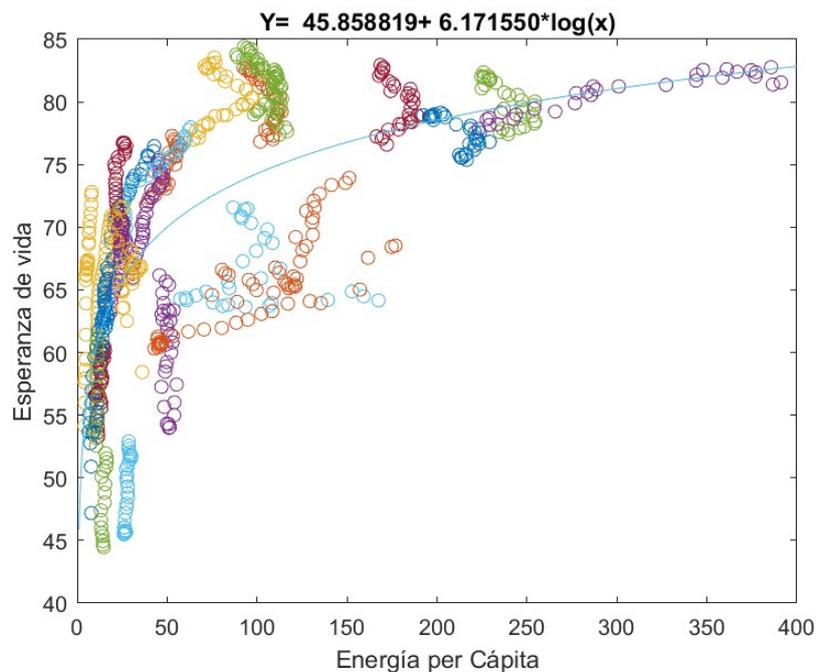


Ilustración 28 Ajuste logarítmico de la esperanza de vida en función de la energía per cápita. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

```
f =
General model:
f(x) = a+ b*log(x)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a = 45.86 (44, 47.72)
b = 6.172 (5.704, 6.639)
gof = struct with fields:
sse: 3.9476e+04
rsquare: 0.4631
dfe: 778
adjrsquare: 0.4624
rmse: 7.1232
```

corrcoef(vec_ener,vec_le)	
ans = 2x2	
1.0000	0.6058
0.6058	1.0000

Ilustración 29 Parámetros de correlación del ajuste de la esperanza de vida Fuente: elaboración propia, datos IEA.



Como podemos observar, en este caso la curva no se ajusta del todo a los datos. Analizando la gráfica, apreciamos que muchos países se alejan de la curva y, fijándonos en los parámetros, podemos observar que la R cuadrada es menor que 0,5 por lo que no se explica la variabilidad del ajuste.

Esto se puede deber a que la esperanza de vida y el consumo de energía, no tienen una relación constante. Una de las razones, son factores de salud. Por ejemplo, situaciones de enfermedades como la obesidad o la existencia de contaminación, reducen la esperanza de vida y están vinculadas con un consumo excesivo de energía.

En cuanto a correlación, tradicionalmente, se ha asumido que el aumento del consumo de energía era un factor determinante en la esperanza de vida de las poblaciones, pero investigadores de la Universidad de Leeds, en Reino Unido, refutan esa teoría al menos durante los últimos 40 años.

En la revista científica '*Environmental Research Letters*' publicaron una investigación que discutía una curiosa paradoja. Unos de los factores que influyen en el incremento o descenso de la esperanza de vida es el consumo de energía per cápita. En este estudio afirman que entre 1971 y 2014 este factor solo contribuyó en un 25% en la mejora de la esperanza de vida a nivel mundial. Es decir, de los 14 años de esperanza de vida que han aumentado entre 1971 y 2014, solo 4 se achacan al consumo de energía.

Todo esto, podría llegar a explicar en cierta manera el porqué de la debilidad de nuestro ajuste: el consumo de energía afecta a la esperanza de vida de un país, como bien indican los parámetros de correlación, pero no es un factor crucial para su incremento o disminución y puede suponer un arma de doble filo.

5.2.2 Resultado del ajuste de los años de escolaridad

Estudiaremos ahora cómo influye el consumo de energía en los **años de escolaridad** o **mean years of schooling (MYS)**.

Los resultados del análisis son los siguientes:

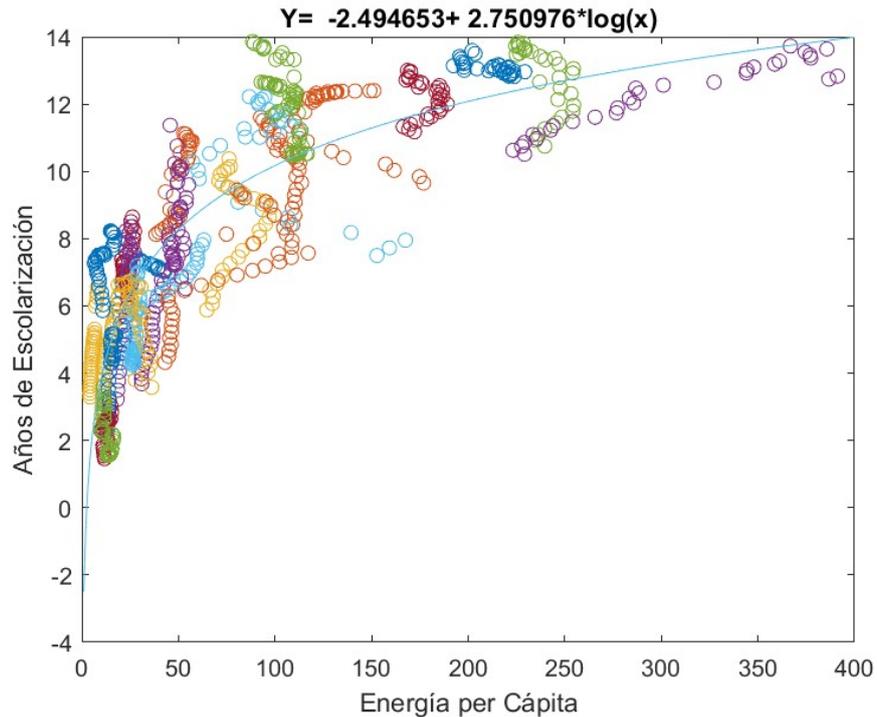


Ilustración 30 Ajuste de los años de escolarización en función de la energía per cápita consumida. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

f =

```

General model:
f(x) = a+ b*log(x)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
  a =    -2.495  (-2.946, -2.043)
  b =     2.751  (2.637, 2.865)
gof = struct with fields:
  sse: 2.3337e+03
  rsquare: 0.7435
  dfe: 778
  adjrsquare: 0.7432
  rmse: 1.7320
  
```

```
corrcoef(vec_ener,vec_mys)
```

```
ans = 2x2
    1.0000    0.7829
    0.7829    1.0000
```

Ilustración 31 Parámetros del ajuste y correlación de los años de escolarización. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En este caso, hemos obtenido un ajuste muy acertado. La R cuadrada tiene un valor cercano a uno y en la gráfica se puede apreciar cómo los datos siguen aproximadamente la traza de la curva. En cuanto a correlación, se puede afirmar que el consumo de energía tiene un impacto muy fuerte en los años de escolarización ya que, hasta el momento, se trata del factor que más correlación guarda con el consumo de energía, con un valor de 0,7829. Este hecho puede estar relacionado con los siguientes aspectos:

- **Personal cualificado:** gracias a la educación, se puede divulgar una concienciación de la importancia de un consumo responsable de energía en la sociedad. Al mismo tiempo, sin la existencia de personal cualificado en las tecnologías necesarias para llevar a cabo las infraestructuras necesarias y participar en el proceso de producción y consumo de energía, el desarrollo del país no sería viable y daría lugar a un periodo de estancamiento.



- **Acceso a la energía:** en áreas con acceso limitado a la energía, sobre todo a la electricidad, los estudiantes pueden enfrentar dificultades para estudiar en condiciones adecuadas. La falta de iluminación o acceso a dispositivos electrónicos, combustibles, etc. puede afectar en gran medida al aprendizaje.
- **Desarrollo económico:** el consumo de energía está relacionado con el crecimiento económico (lo analizaremos posteriormente). Los países con una mayor inversión en educación tienden a tener economías más desarrolladas. A su vez, a medida que la economía crece, también aumenta el consumo de energía debido a la mayor actividad industrial, comercial y servicios.
- **Urbanización:** la urbanización está relacionada con la educación y el acceso a servicios. Las áreas urbanas suelen tener mayor consumo de energía debido a la concentración de la población, infraestructura y demanda servicios.
- **Calidad del entorno educativo:** la energía también influye en la calidad del entorno educativo. Escuelas bien iluminadas, con acceso a tecnología y recursos, pueden ofrecer una educación más efectiva.

El análisis realizado tiene sentido, ya que el impacto del consumo de energía en el acceso, economía y calidad del entorno educativo resulta muy influyente. Sin ir más lejos, una población formada tiene más capacidad y probabilidad de entender la importancia de la energía y desarrollar la infraestructura necesaria.

5.2.3 Resultado del ajuste del Producto Interior Bruto (PIB)

A continuación, analizaremos el último caso del desglose del IDH, el **Producto Interior Bruto (PIB)**, en inglés **Gross National Income per Capita (GNIPC)**.

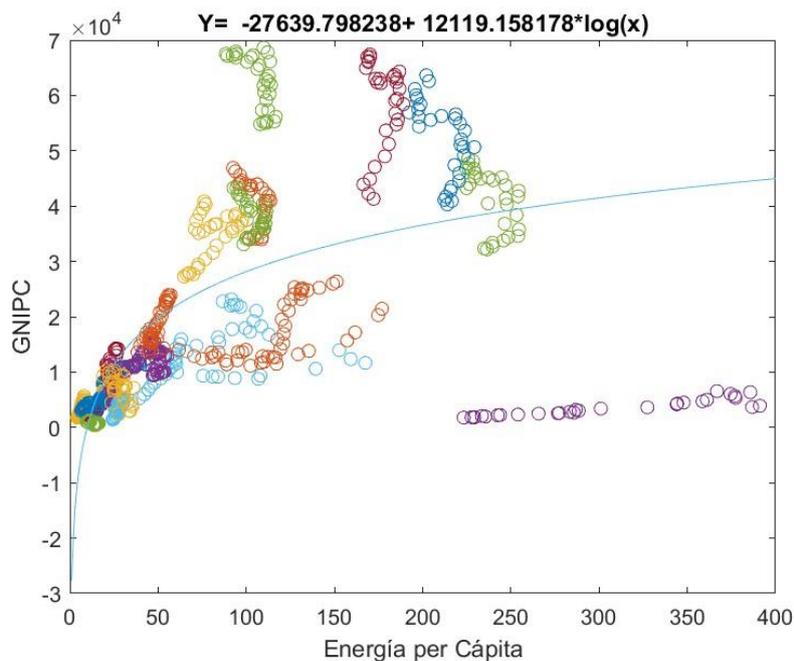


Ilustración 32 Gráfica de ajuste GNIPC. Fuente: elaboración propia, datos IEA.



```
f =  
General model:  
f(x) = a+ b*log(x)  
Coefficients (with 95% confidence bounds):  
a = -2.764e+04 (-3.119e+04, -2.409e+04)  
b = 1.212e+04 (1.123e+04, 1.301e+04)  
gof = struct with fields:  
sse: 1.4398e+11  
rsquare: 0.4769  
dfe: 778  
adjrsquare: 0.4762  
rmse: 1.3604e+04
```

```
corrcoef(vec_ener,vec_gnipc)  
ans = 2x2  
1.0000 0.5488  
0.5488 1.0000
```

Ilustración 33 Parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En el caso del PIB, tradicionalmente se conoce que su relación con el consumo de energía de los países era muy fuerte, no obstante, los resultados de nuestro análisis muestran que, efectivamente, se correlaciona positivamente con el consumo de energía, pero los valores obtenidos son más bien bajos comparados con nuestras expectativas.

Además, a la hora de realizar el ajuste los resultados no son buenos. La R cuadrada ajustada adquiere un valor de 0,4762 que supone ser muy bajo.

Este hecho, aparentemente puede deberse a que la relación entre la demanda energética y la actividad económica (medida a través del PIB) se ha visto alterada.

En el caso de España, tal y como indica el informe *Demanda eléctrica y actividad económica: ¿Cambio de paradigma?* publicado en febrero de este año, el punto de inflexión ha sido la crisis económica del año 2008. El informe explica que hasta 2005 el consumo energético crecía con mayor intensidad que el PIB. Sin embargo, alrededor de 2008, la relación entre estos dos factores se vió invertida y, aunque ambas magnitudes evolucionaban con el mismo signo, su relación era menos intensa que en el periodo anterior. Finalmente, en los años de recuperación post-crisis, el PIB tuvo una actividad más acelerada que la energía.

Esta crisis no solo afectó a España, si no que se vieron involucrados gran cantidad de países. No, obstante, el caso concreto de 2008 solo demuestra cómo se comportan los países ante cualquier época de guerra o crisis económica. Es decir, los resultados de nuestro ajuste pueden estar reflejando que, aunque exista correlación entre estas dos magnitudes, su ajuste resulta muy complicado debido a la gran variabilidad que experimenta el PIB a través de los años y al pasar por distintas situaciones.

5.3 Relación analítica entre el IDH corregido por desigualdad y el consumo de energía per cápita

En el caso del IDH corregido por desigualdad, obtenemos los siguientes resultados.

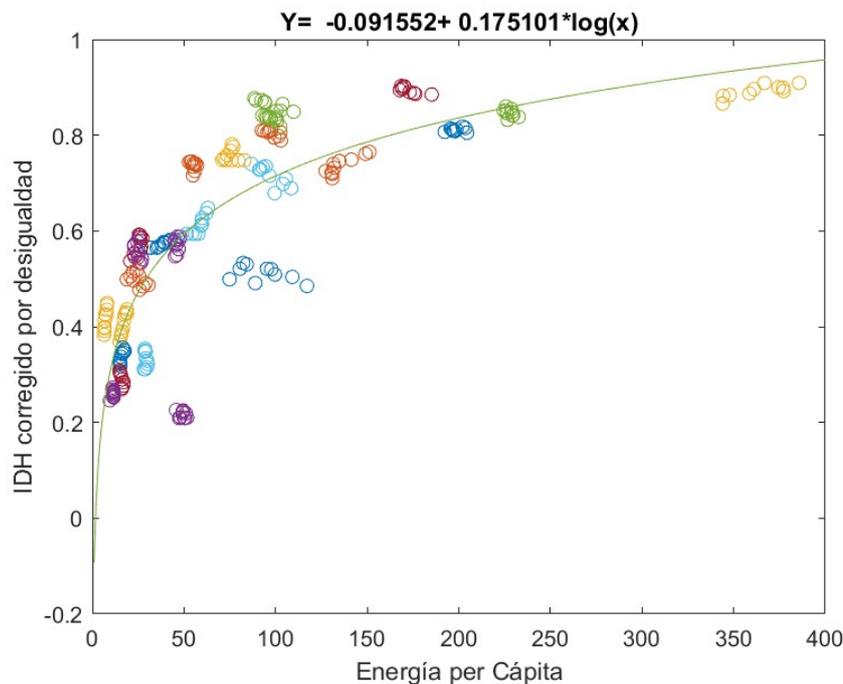


Ilustración 34 Gráfica que relaciona el IDH corregido por desigualdad con el consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

```
f =
  General model:
  f(x) = a+ b*log(x)
  Coefficients (with 95% confidence bounds):
    a =  -0.09155  (-0.1529, -0.03019)
    b =   0.1751  (0.1601, 0.1901)
  gof = struct with fields:
    sse: 3.5879
    rsquare: 0.6798
    dfe: 248
    adjrsquare: 0.6785
    rmse: 0.1203
```

corrcoef(vec_ener,vec_hdi)	
ans = 2x2	
1.0000	0.7156
0.7156	1.0000

Ilustración 35 Resultados y parámetros de correlación y ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Comparando estos resultados de ajuste con los obtenidos al ajustar los datos del IDH sin correcciones, podemos apreciar que en este caso obtenemos ciertos parámetros que hacen el ajuste menos válido.

El resultado de correlación entre las variables es bastante aceptable, con un valor de 0,7156. Por otro lado, el ajuste representa la variabilidad del análisis siguiendo un valor de la R cuadrada ajustada de 0,6785 que es lo suficientemente alto como para dar por bueno el ajuste.

Analizando la gráfica, podemos observar que aproximadamente todos los países siguen adecuadamente la curva descrita por la función que se muestra. Sin embargo, existe un país que se aleja especialmente.



Es el caso de Sudáfrica. No debemos perder de vista que el índice que se analiza es el IDH, pero corregido por desigualdad, es decir, como se ha explicado anteriormente, este índice “penaliza” el IDH tradicional en proporción a las desigualdades existentes en el país. El IDH sin correcciones de Sudáfrica es, aproximadamente de 0,6 o incluso alcanza los valores de 0,7 en 2019. El IDH corregido por desigualdad muestra cómo este país ni siquiera alcanza el valor de 0,3.

Tabla 7 Diferencia del IDH y del IDH corregido por desigualdad en Sudáfrica. Fuente: elaboración propia, datos PNUD.

	SUDÁFRICA									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
IDH corregido por desigualdad	0,2230	0,2250	0,2090	0,2100	0,2090	0,2110	0,2090	0,2190	0,2200	0,2260
IDH	0,675	0,686	0,696	0,705	0,714	0,721	0,711	0,725	0,731	0,741
Diferencia	0,4520	0,4610	0,4870	0,4950	0,5050	0,5100	0,5020	0,5060	0,5110	0,5150

Estas diferencias resultan preocupantes ya que un incremento o decremento de 0,4 o incluso 0,5 en términos de IDH, suponen una cantidad muy significativa.

No solo sucede esto con Sudáfrica, sino que también podemos apreciar este comportamiento, aunque en menor medida en países como Brasil, Colombia o la India.

5.4 Relación analítica entre el IDH corregido por presiones planetarias y el consumo de energía per cápita

Tras realizar las gráficas y ajustes correspondientes, obtenemos los siguientes resultados:

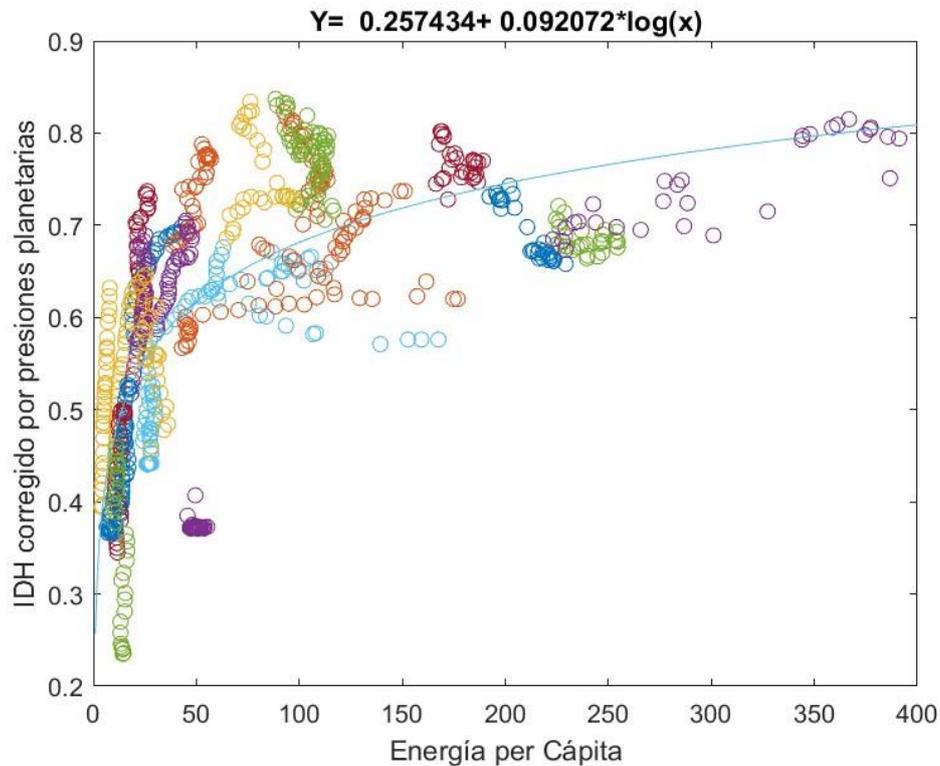


Ilustración 36 Gráfica del IDH corregido por presiones planetarias en función del consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

```
f =
General model:
f(x) = a+ b*log(x)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a = 0.2574 (0.2322, 0.2827)
b = 0.09207 (0.08572, 0.09842)
gof = struct with fields:
sse: 7.2793
rsquare: 0.5100
dfe: 778
adjrsquare: 0.5094
rmse: 0.0967
```

corrcoef(vec_ener,vec_hdi)	
ans = 2x2	
1.0000	0.5745
0.5745	1.0000

Ilustración 37 Resultados de correlación y parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA

En este caso, los resultados de correlación son aún más bajos que en la situación anterior. Una correlación de 0,5745 supone un valor más bien bajo. Además, los parámetros de ajuste muestran que la variabilidad del análisis viene explicada por una R cuadrada ajustada de solamente 0,5094, lo que supone también un valor bajo.

Observando la gráfica, vamos que no existe un punto de saturación a partir del cual los países se estabilizan tan claro como en el caso del IDH sin correcciones. Esto puede ser una consecuencia de la “penalización” aplicada al IDH de los países más desarrollados debido a la contaminación o gases efecto invernadero que liberan a la atmósfera.



Podemos apreciar las diferencias entre el IDH ajustado y no ajustado de los países en las tablas siguientes:

	1990		
	IDH aj.	IDH	Diferencia
Argelia	0,5660	0,593	0,0270
Argentina	0,6780	0,724	0,0460
Bangladesh	0,3960	0,399	0,0030
Brasil	0,5870	0,620	0,0330
Canadá	0,6640	0,861	0,1970
China	0,4660	0,482	0,0160
Colombia	0,5900	0,614	0,0240
EEUU	0,6640	0,875	0,2110
Francia	0,7010	0,790	0,0890
India	0,4270	0,434	0,0070
Indonesia	0,5170	0,526	0,0090
Japón	0,7170	0,846	0,1290
Kazajistán	0,5760	0,672	0,0960
Noruega	0,7280	0,845	0,1170
Pakistán	0,3890	0,394	0,0050
Rusia	0,6200	0,741	0,1210
España	0,6860	0,762	0,0760
Sudáfrica	0,3710	0,635	0,2640
Suiza	0,7060	0,850	0,1440
Nigeria	0,4407	0,4	-0,0407

	2019		
	phdi	hdi	Diferencia
Argelia	0,6980	0,742	0,0440
Argentina	0,7880	0,853	0,0650
Bangladesh	0,6320	0,646	0,0140
Brasil	0,7050	0,764	0,0590
Canadá	0,7210	0,932	0,2110
China	0,6760	0,775	0,0990
Colombia	0,7370	0,768	0,0310
EEUU	0,7430	0,933	0,1900
Francia	0,8230	0,905	0,0820
India	0,6200	0,638	0,0180
Indonesia	0,6890	0,718	0,0290
Japón	0,8050	0,918	0,1130
Kazajistán	0,6710	0,810	0,1390
Noruega	0,8020	0,961	0,1590
Pakistán	0,5270	0,537	0,0100
Rusia	0,7370	0,839	0,1020
España	0,8340	0,904	0,0700
Sudáfrica	0,3850	0,741	0,3560
Suiza	0,8370	0,960	0,1230
Nigeria	0,5260	0,537	0,0110

Como podemos observar, los datos corroboran la afirmación anterior. En la tabla que muestra los datos de 2019, podemos ver que, a excepción de Sudáfrica, el resto de los países que más diferencia guardan entre sus IDH son países muy desarrollados cuyo IDH ajustado se ha visto perjudicado por la contaminación emitida.

Nos llama la atención, una vez más, el caso de Sudáfrica. Examinando los datos apreciamos que es el país que más penalización ha adquirido, por tanto, el país que mayor cantidad de gases perjudiciales emite a la atmósfera relativamente.

Por tanto, enfocándonos de nuevo en el ajuste como tal, no podemos considerar este ajuste como bueno. Tampoco es posible obtener relaciones sólidas a partir de este análisis debido a la escasa correlación que guardan las variables entre sí. Sin embargo, sí que merece la pena realizar un breve análisis del porqué de estos resultados ya que, gracias a este podemos comprender mejor la situación de los países implicados en el estudio.

5.5 Relación analítica entre el IDH corregido por género y el consumo de energía per cápita

Examinamos ahora los resultados del análisis del IDH corregido por género.

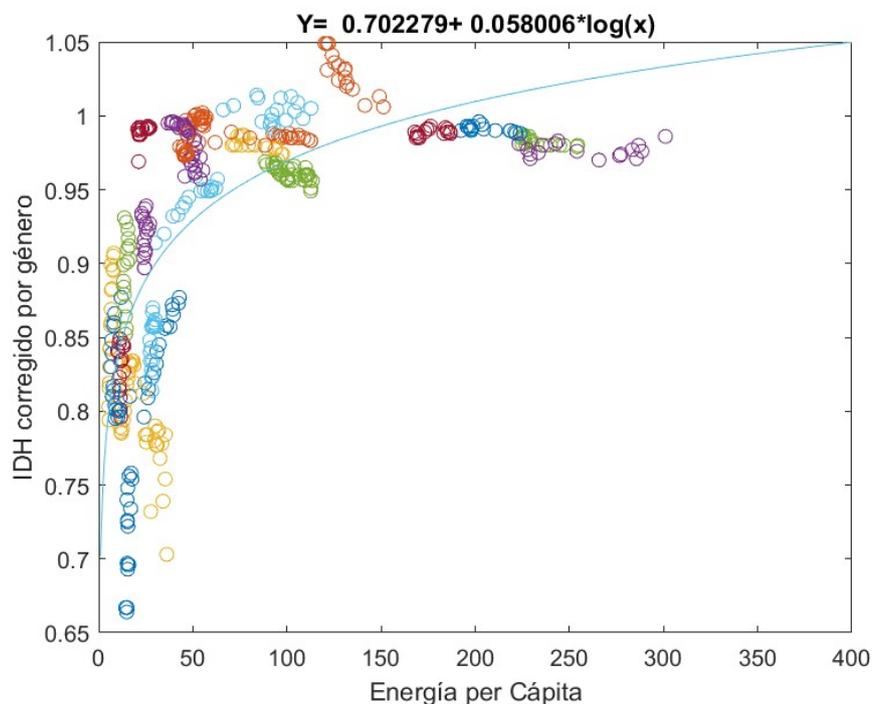


Ilustración 38 Gráfica del ajuste entre el IDH corregido por género y el consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

```
f =
  General model:
  f(x) = a+ b*log(x)
  Coefficients (with 95% confidence bounds):
  a = 0.7023 (0.681, 0.7235)
  b = 0.05801 (0.05267, 0.06334)
  gof = struct with fields:
    sse: 1.5153
    rsquare: 0.5091
    dfe: 440
    adjrsquare: 0.5079
    rmse: 0.0587
```

corrcoef(vec_ener,vec_hdi)	
ans = 2x2	
1.0000	0.5636
0.5636	1.0000

Ilustración 39 Resultado de correlación y parámetros de ajuste. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Nos llama la atención la existencia de valores mayores que uno, que, como se ha mencionado en apartados anteriores, puede ser debido a la aplicación de distintas fórmulas de cálculo para el ajuste de este índice.

Los resultados en este caso son parecidos al anterior. No existe una correlación muy fuerte entre los datos del análisis y el ajuste tiene una bondad del 0,5079 como valor de la R ajustada cuadrada. Una vez más, no podemos concluir que sea un buen ajuste, pero merece la pena analizar brevemente la situación para una mayor comprensión del comportamiento de los países.

Examinando la gráfica, podemos ver cómo cambia notablemente el comportamiento de los países de la muestra. En el caso del IDH sin ajustes, en general, los países menos desarrollados se encontraban al inicio de la gráfica presentando un crecimiento muy pronunciado a medida que su consumo de energía aumentaba. Por otro lado, los países con un desarrollo medio crecían más moderadamente hasta llegar finalmente a un punto de estabilización que alcanzaban los países con un nivel de desarrollo alto. En este caso, podemos apreciar que los países no siguen con tanta fidelidad ese comportamiento.

5.6 Relación analítica entre el IDH y *share* de renovables

Para realizar un estudio de la correlación entre el share de renovables y el IDH, escogemos una muestra de 26 países que representen un porcentaje relevante de la población mundial. En este caso, se trata de Argelia, Argentina, Bangladesh, Brasil, Canadá, China, Colombia, Corea del Sur, España, Francia, India, Indonesia, Japón, Kazajistán, Noruega, Pakistán, Rusia, Sudáfrica, Suiza, Nigeria, Benín, Congo, Gabón, Iraq, Islandia y Mozambique.

Como se mencionó anteriormente, el share de renovables mide la proporción del total de energía consumida o producida en un país que proviene de fuentes de energía renovable. A continuación, se presenta un gráfico inicial que representa los datos del IDH de los países nombrados en relación con este índice.

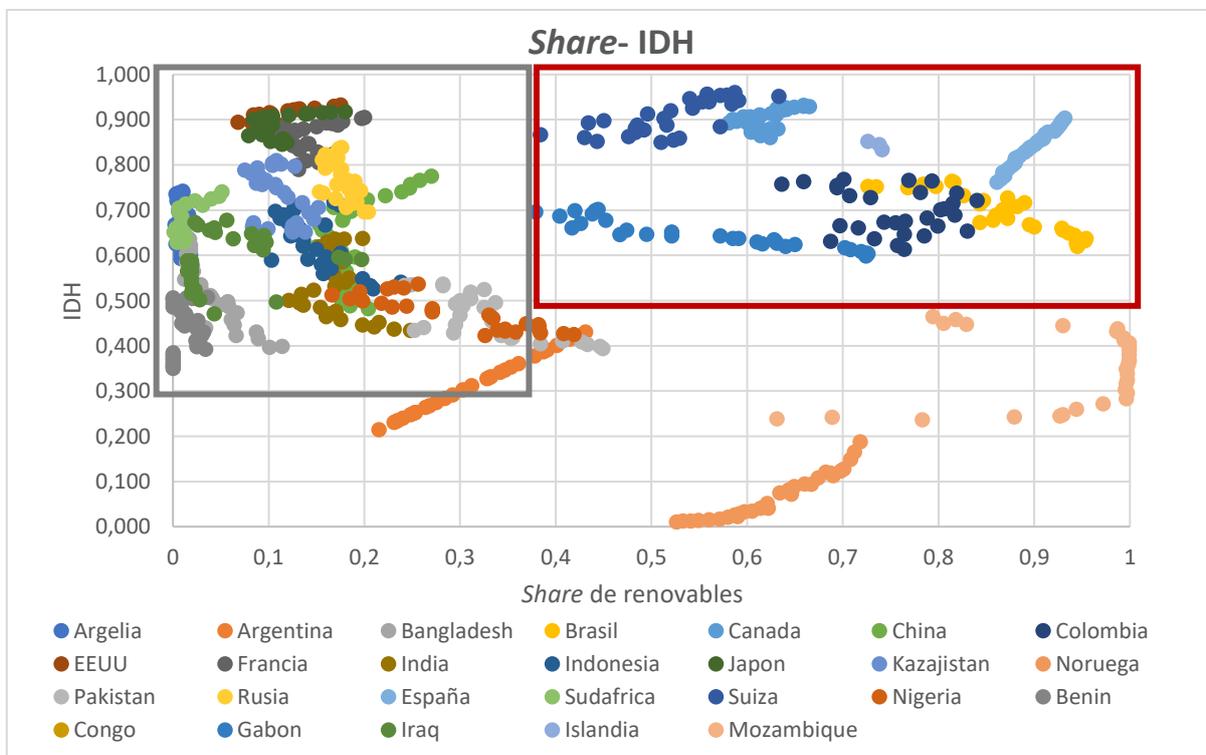


Ilustración 40 IDH en función del share de renovables de los países. Fuente: elaboración propia, datos IEA.



En este caso, los resultados del gráfico son muy diferentes a los anteriores. Observamos que no hay una tendencia o un patrón claramente definido. De hecho, el gráfico muestra una dispersión de puntos donde cada país exhibe un comportamiento completamente único.

Por un lado, observamos que la mayoría de los países (grupo recuadrado en gris) apenas emplea un porcentaje de energía renovable de entre el 0% y el 40% y se encuentran comprendidos entre un nivel de 0,3 y de 1 en términos de IDH. Por otro lado, se observa un segundo grupo (grupo recuadrado en granate) que presenta mayor share, de 0,4 a 1, que comprende países con un nivel de desarrollo alto. Canadá, Suiza, Colombia, Brasil, España y Gabón pertenecen a este grupo. Por último, Argentina, Noruega y Mozambique parecen seguir su propio comportamiento sin poder agruparlas en ningún grupo.

Tras este análisis, obtenemos la matriz de correlación que corrobora que, no solo a penas existe correlación entre estos dos aspectos, si no que se trata de una correlación negativa.

```
corrcoef(vec_ener,vec_hdi)
```

```
ans = 2x2
      1.0000   -0.0261
     -0.0261   1.0000
```

Ilustración 41 Matriz de correlación entre el IDH y el share de renovables. Fuente: elaboración propia, datos IEA y PNUD.

Analizando conjuntamente los datos representados en el gráfico y la matriz de correlación obtenida, llegamos a la conclusión de que no tiene sentido realizar un ajuste mediante una curva a los datos en cuestión ya que estos prácticamente no guardan relación.

Esto puede deberse a que las fuentes de energía renovable son todavía emergentes y su desarrollo varía significativamente entre los países. Cada nación cuenta con una combinación única de recursos naturales y materias primas que influye en cómo se adoptan y se desarrollan las energías renovables, independientemente de su tamaño o nivel de desarrollo. Por ejemplo, un país con abundante sol puede enfocarse en la energía solar, mientras que otro con fuertes vientos puede desarrollar más energía eólica.

Por otro lado, los países con un alto IDH suelen tener economías más desarrolladas y diversificadas. Esta diversidad económica les permite invertir en tecnologías de energía renovable. Sin embargo, también existen países con altos niveles de desarrollo que todavía dependen en gran medida de los combustibles fósiles, debido a factores económicos, políticos y a la infraestructura energética existente.

Además, la ligera correlación negativa entre el share de renovables y el IDH puede explicarse por los costos iniciales elevados asociados a la transición hacia energías renovables. Incluso los países con un alto IDH pueden dudar en asumir estos costos a corto plazo, debido a la necesidad de realizar grandes inversiones en infraestructura y tecnología, así como a posibles implicaciones económicas y políticas.

Por último, las políticas gubernamentales y las prioridades nacionales juegan un papel crucial. Algunos países han implementado políticas agresivas para fomentar el uso de



energías renovables, mientras que otros se han mantenido más cautelosos, favoreciendo la continuidad de los combustibles fósiles debido a razones estratégicas o de seguridad energética. Todo esto contribuye a que no exista una correlación fuerte y uniforme entre el share de renovables y el IDH en la actualidad.

6. DESAGREGACIÓN DE ANÁLISIS POR GRUPOS DE PAÍSES SEGÚN SU NIVEL DE DESARROLLO

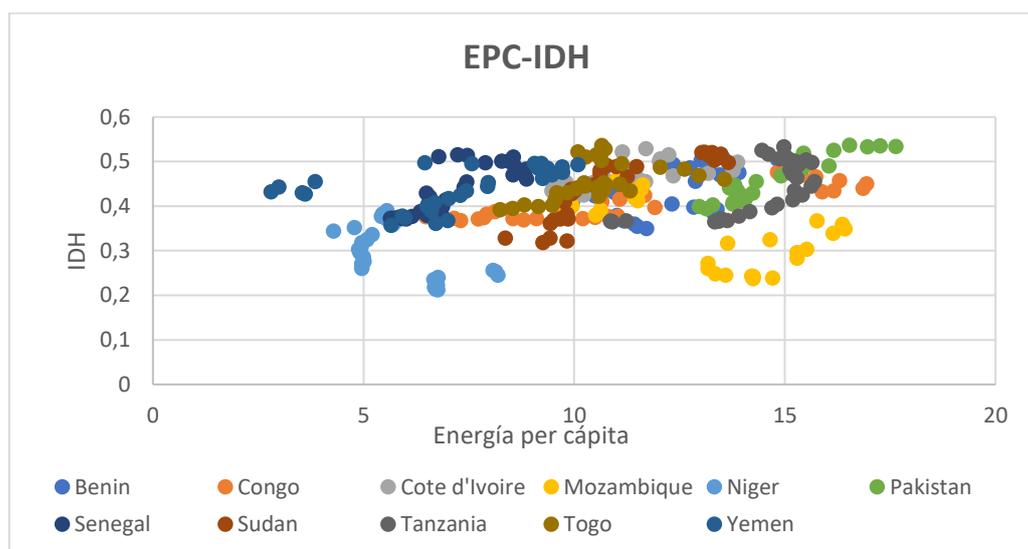
Como hemos concluido anteriormente, existe una clara diferenciación en el comportamiento de los países según su IDH. Además, a nivel mundial, comprender las diferencias en el desarrollo humano y económico entre países es crucial para orientar la cooperación internacional y asignar los recursos de manera efectiva. Esto contribuye a fomentar la estabilidad global, mitigar las desigualdades y enfrentar desafíos comunes de manera más eficiente. Por este motivo, vamos a centrarnos en analizar cada grupo según este criterio.

6.1 Países con nivel bajo de desarrollo

Para ello, realizamos primero la selección de países de la muestra, que en este caso será: Benín, Congo, Costa de Marfil, Mozambique, Níger, Pakistán, Senegal, Sudán, Tanzania, Togo y Yemen. Estos hacen un total de 11 países de los aproximadamente 25 que existen con un nivel bajo de desarrollo. En este caso, su población representa el 50% del total de la población de países con un nivel bajo de desarrollo.

Para estudiar el comportamiento de estos, realizamos los respectivos gráficos en Excel relacionando su consumo de energía per cápita con el IDH, esperanza de vida, años de escolarización y PIB.

Así, obtenemos los siguientes gráficos:



aproximadamente entre 60 y 90 GJ per cápita dependiendo del año, es decir, más del doble o incluso del triple.

Así, su IDH no llega en ningún caso a 0,55 lo que se considera un nivel de desarrollo bajo.

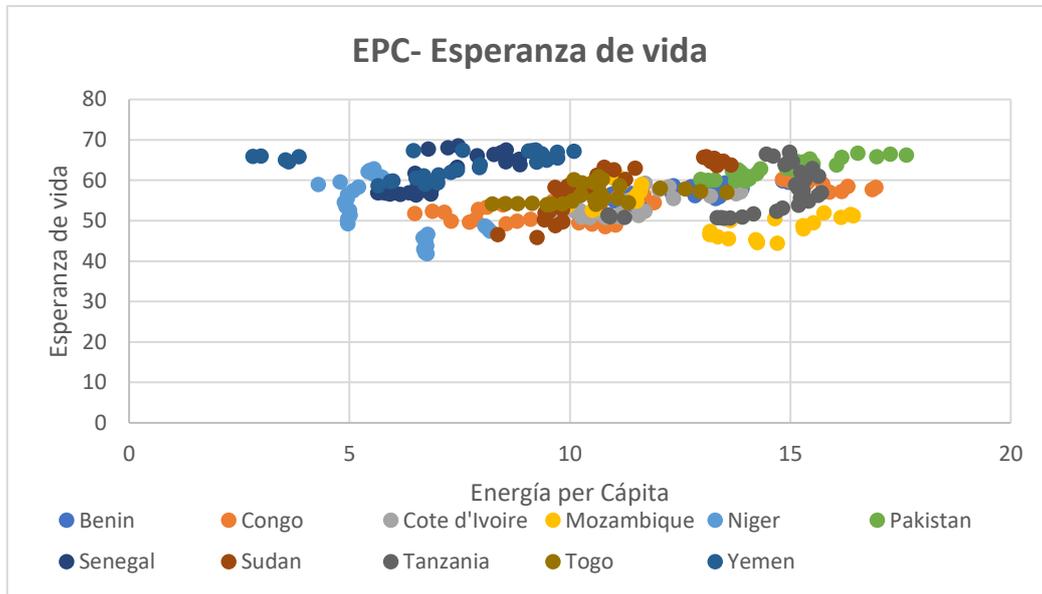


Ilustración 43 Gráfica de la esperanza de vida en países poco desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En el caso de la esperanza de vida, varía entre los 40 y 70 años de vida, cifras también muy bajas si las comparamos con el resto de los países más desarrollados.

Lo que nos llama la atención de estos países y en concreto en esta gráfica, es su comportamiento “lineal”. Es decir, a medida que aumenta el consumo de energía, la esperanza de vida aumenta lentamente siguiendo una recta. Se muestra a continuación un ejemplo con El Congo, que al incrementar el consumo de energía solamente 10GJ per cápita, ha conseguido aumentar su esperanza de vida 10 años aproximadamente:

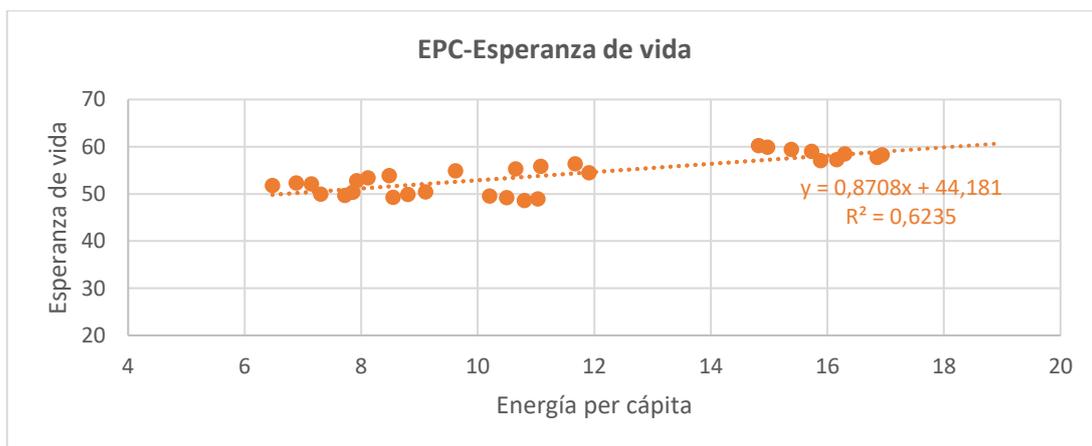


Ilustración 44 Tendencia del Congo en su esperanza de vida en función del consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En los países en vías de desarrollo, un ligero aumento en el consumo de energía es bastante significativo y conlleva a una gran mejora en el IDH y, en este caso, a su esperanza de vida.

A continuación, se muestra el gráfico que relaciona el consumo de energía per cápita con los años de escolarización:

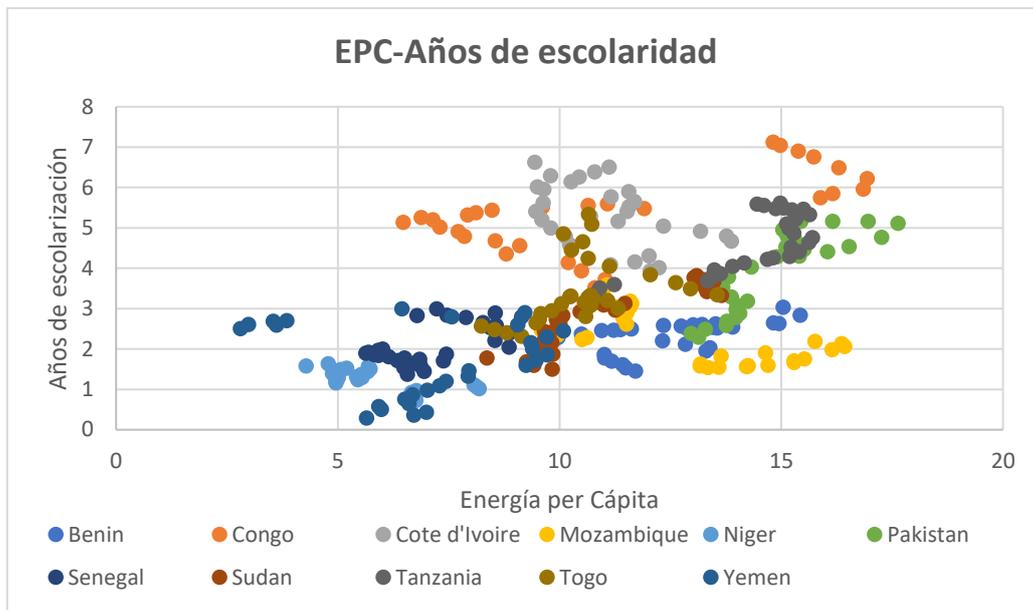


Ilustración 45 Gráfica de los años de escolaridad en países poco desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En este caso, no se presenta tanto la tendencia anterior, si no que los países siguen un comportamiento más desigual. Como podemos observar, el rango de años de escolarización está entre 0 años y 7 sin consumir en ningún caso 20 GJ. Esto es muy preocupante debido a la gran importancia de la educación no solo a la hora de determinar el índice de desarrollo de un país, si no para lograr el bienestar de la sociedad.

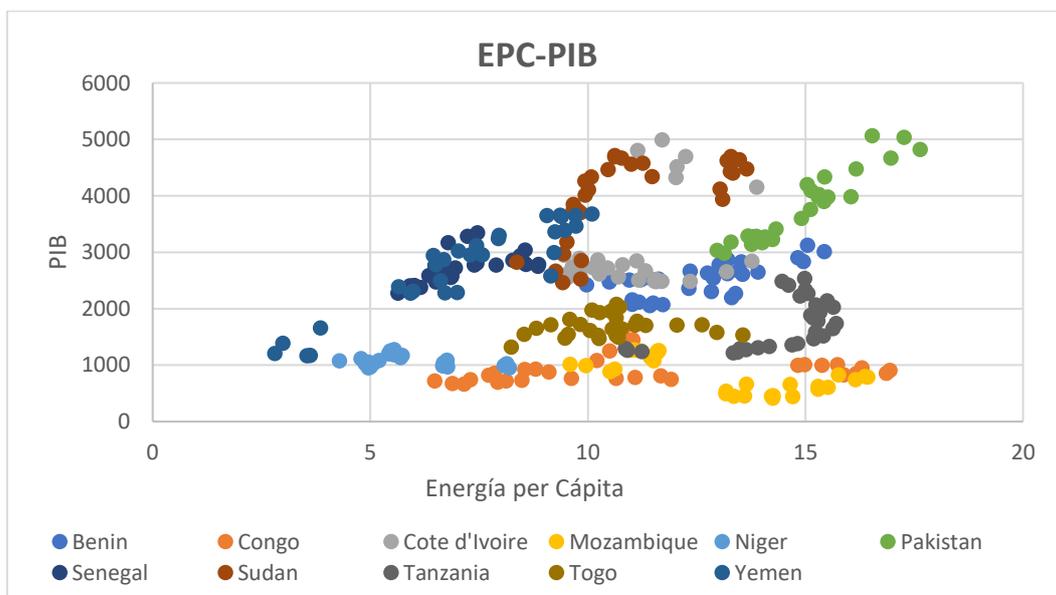


Ilustración 46 Gráfica del PIB en países poco desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Por último, el caso del PIB podemos observar los mismos comportamientos mencionados en el gráfico de la esperanza de vida (Ilustración 29). Nos llama la atención el caso de



Pakistán, que experimenta un incremento del PIB de aproximadamente 3000 unidades. Esto puede ser debido a que, en los últimos años, Pakistán ha experimentado fluctuaciones significativas. Por un lado, la mejora en la cobertura y estimación de la estructura de entrada y salida de las industrias ha llevado a un aumento en el producto interior bruto en el año 2015-2016. Por otro lado, la depreciación de la tasa de cambio de la moneda ha impulsado el crecimiento económico a pesar de la inflación y la presión de la demanda.

Resulta relevante recordar, que los datos del estudio comprenden desde 1990 hasta 2019, es decir, no se consideran en el análisis los últimos años en los que Pakistán se ha visto envuelto en varios conflictos internacionales tanto económicos como bélicos por lo que la situación de Pakistán en este gráfico no refleja la actualidad.

6.2 Países con nivel medio de desarrollo

Estudiamos ahora el comportamiento de los países con un nivel medio de desarrollo, es decir, con un IDH comprendido entre 0,4 y 0,7 aproximadamente.

Los países seleccionados pertenecientes a este grupo son: Bangladesh, Bolivia, Cambodia, Cameroon, El Congo, El Salvador, Gabón, Guatemala, Haití, Honduras, India, Iraq, Kenya, Zymbawe, Marruecos, Namibia, Nepal y Zambia. La suma de sus poblaciones es aproximadamente 1990000000 personas lo que representa aproximadamente el 50% de la población total de los países de desarrollo humano medio.

Comenzamos con el análisis del IDH.

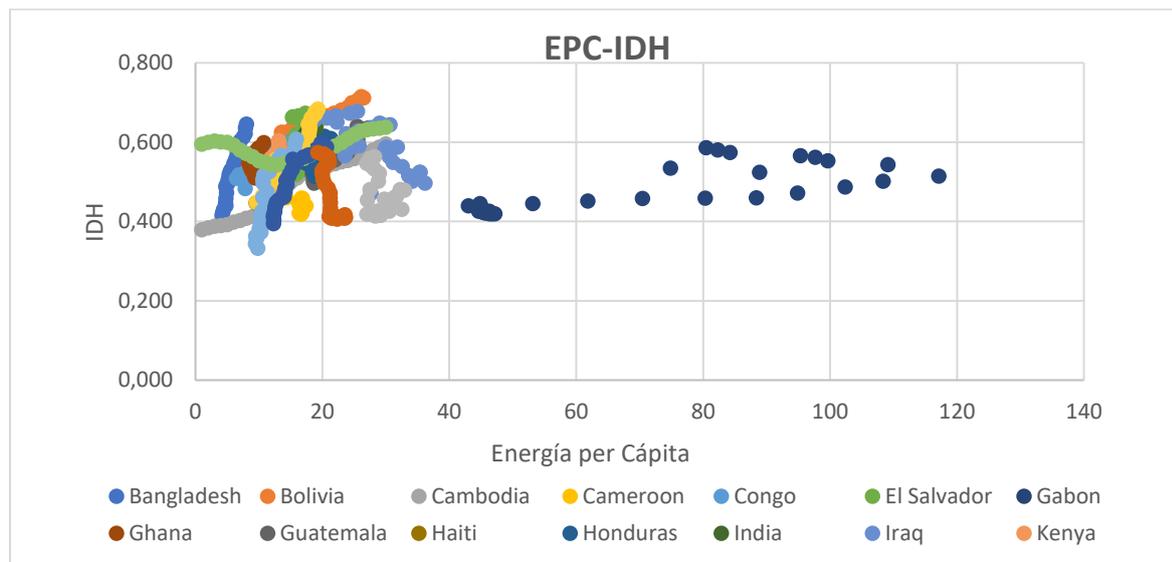


Ilustración 47 Gráfica que muestra el comportamiento de los países con un nivel medio de desarrollo en cuanto al IDH. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Como podemos observar, este grupo de países se comporta de manera completamente distinta si lo comparamos con el anterior (países con un nivel bajo de desarrollo). En este caso, su consumo de energía oscila generalmente entre 20GJ Y 40GJ (obviando el caso

de Gabón), lo que supone un aumento respecto al grupo de países anterior. Mientras que en los países con bajo IDH un aumento en el consumo de energía mejoraba ligeramente su nivel de vida, en este caso, apreciamos que un mínimo aumento en el consumo de esta se traduce en un incremento muy pronunciado en el IDH de los países. Tomaremos el ejemplo de Marruecos para ilustrarlo.

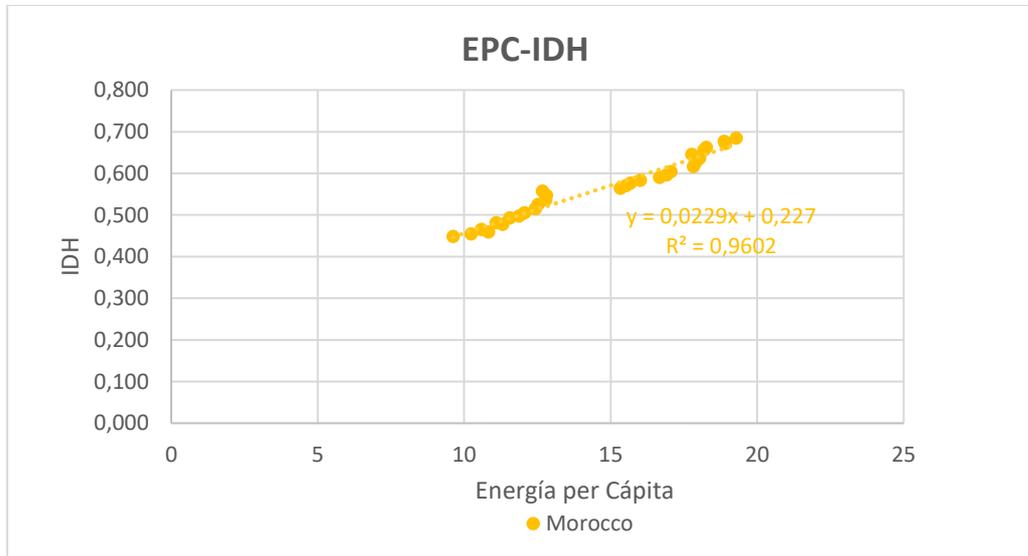


Ilustración 48 Comportamiento de Marruecos a medida que aumenta el consumo de energía per cápita. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Examinando este gráfico, nos damos cuenta de que con tan solo un aumento de 5 GJ de energía per cápita, el IDH de Marruecos ha ascendido desde 0,45 aproximadamente hasta 0,7 lo cual es un gran aumento, desproporcionado con el mínimo incremento de consumo de energía.

Analizando el comportamiento de los países con un nivel de desarrollo medio al margen de la gráfica, vemos que cuando empresas y hogares disponen de una fuente de energía confiable, pueden mejorar su productividad y calidad de vida. También interviene el ámbito de la salud, que gracias a la energía puede desarrollar equipos médicos de más alta tecnología y un sistema de salud más eficiente. Pero todo esto, no sería posible si no existiera una infraestructura mediante la cual realizar un uso eficiente de esta energía.

Es decir, los países con este nivel de desarrollo tienen las herramientas y bases necesarias para realizar grandes cambios con la energía que producen y consumen. Este hecho es lo que les diferencia de los países menos desarrollados, y el motivo por el que pueden impulsar tanto a su país consumiendo aproximadamente la mitad de giga julios per cápita que los países con un nivel bajo de desarrollo.

No pasa desapercibido en el gráfico del IDH que existen dos zonas claramente definidas: la primera en la que se encuentran casi todos los países de la muestra y la segunda, que muestra el comportamiento única y exclusivamente de un país, Gabón, que analizaremos en el apartado más adelante.

A continuación, se presenta el gráfico de la esperanza de vida.

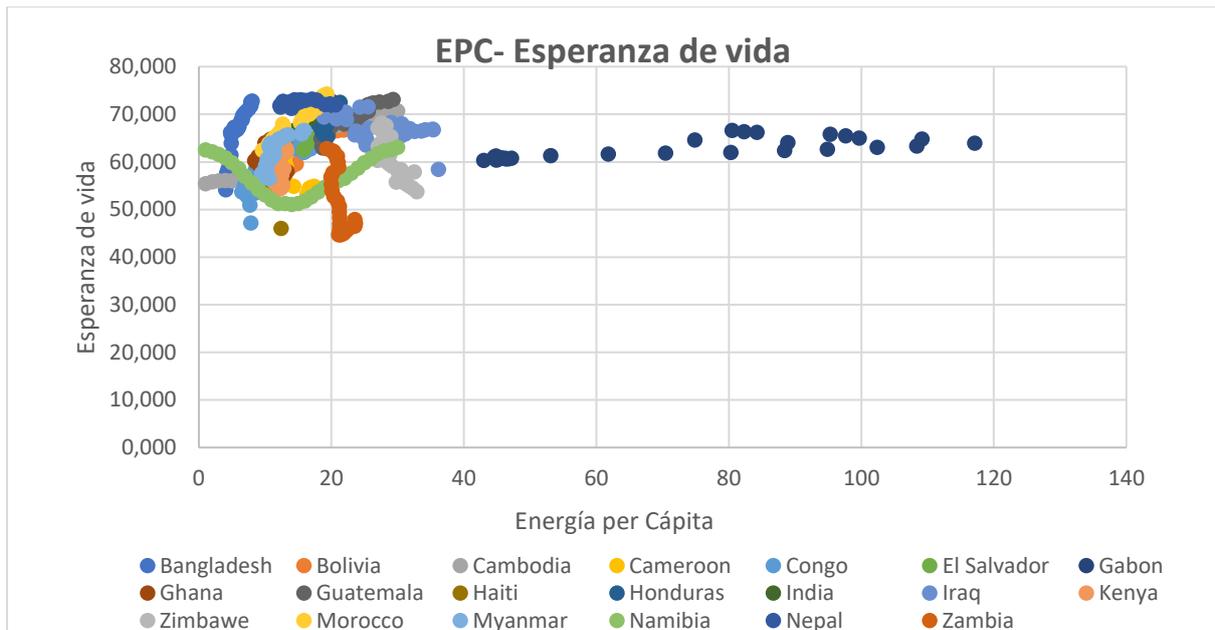


Ilustración 49 Gráfica de la esperanza de vida en países con nivel medio de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Como podemos observar, la esperanza de vida sigue aproximadamente el mismo comportamiento, aunque quizás algo más desigual que el IDH.

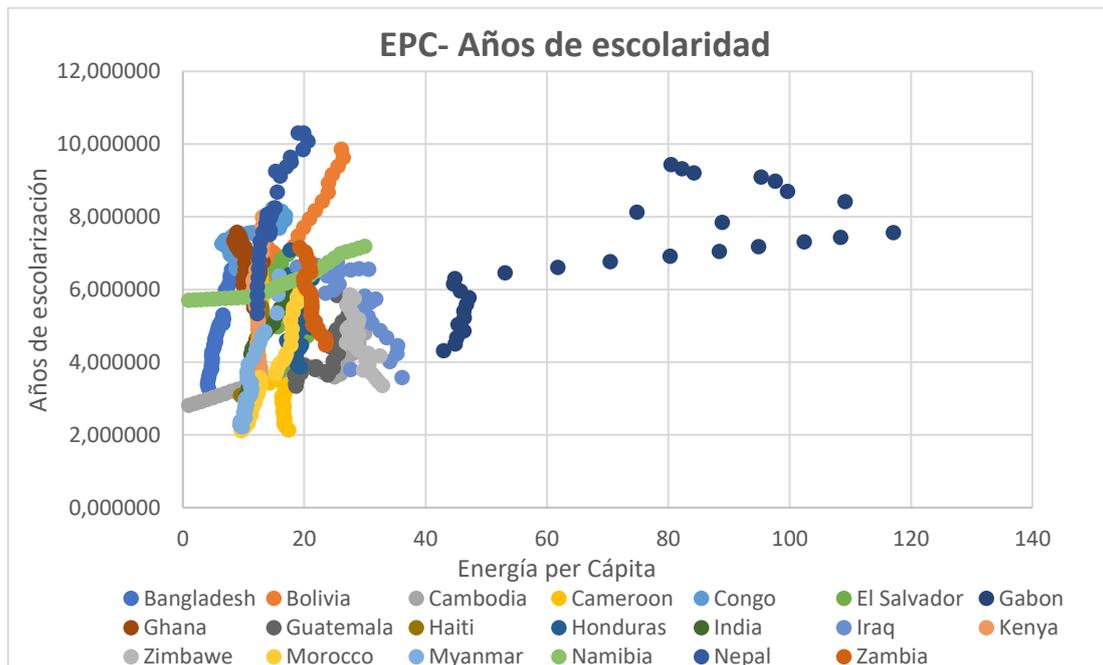


Ilustración 50 Gráfico de los años de escolarización en países con nivel de desarrollo medio. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En cuanto a los años de escolaridad, vemos que existe un crecimiento abismal de estos a medida que avanzan los años en los datos de la muestra que comprenden desde 1990 hasta 2019.

En el caso de Nepal, por ejemplo, observamos un incremento de aproximadamente 6 años de media aumentando simultáneamente menos de 10GJ per cápita en su consumo de

energía. Esto supone un ascenso muy fuerte y un impulso enorme en su IDH ya que, en base a los resultados observados en el estudio anteriormente, los años de escolarización es el factor que más correlación guarda con el consumo de energía.

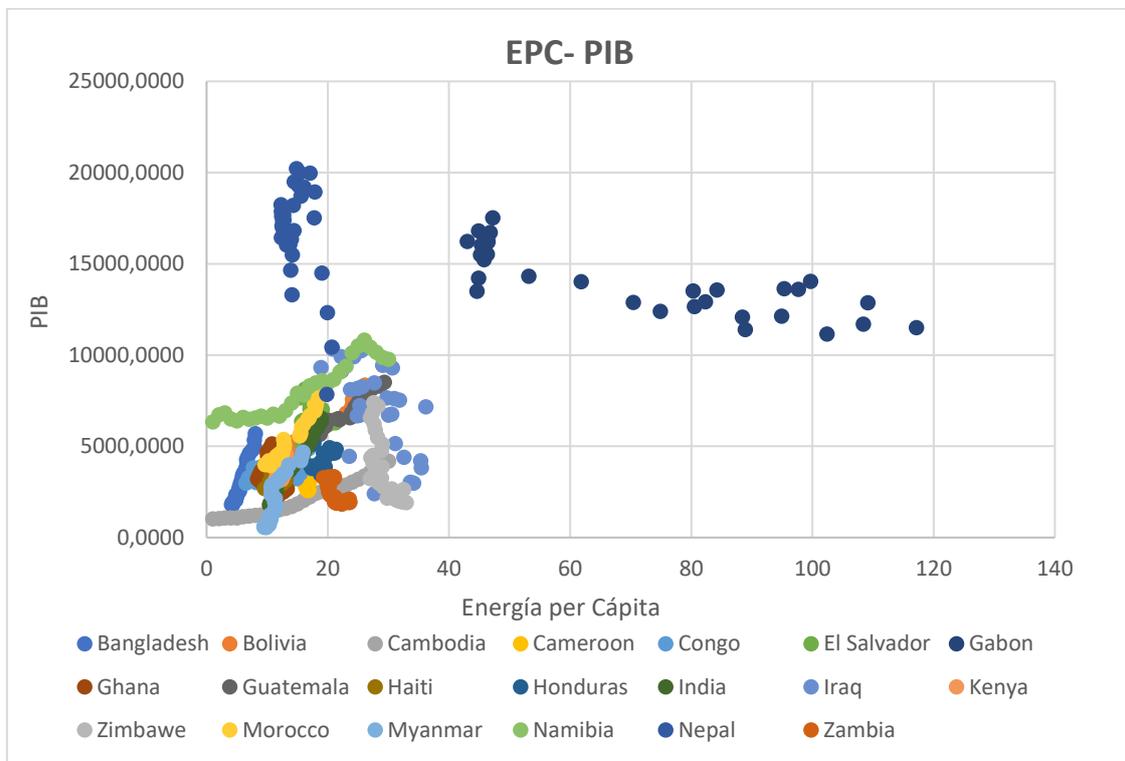


Ilustración 51 Gráfica del PIB en los países con un nivel medio de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En cuanto al PIB, existe una gran diferencia en este grupo de países entre Nepal, Gabón y el resto de los países de la selección. En general, podemos apreciar que la mayoría de los países de este grupo tiene un comportamiento más bien desigual, mientras que Nepal y Gabón se sitúan por encima. Sin embargo, se aprecia una ligera disminución en el PIB de Gabón a pesar de su aumento en el consumo de energía per cápita.

6.2.1 Gabón

Como hemos comentado anteriormente, el caso de Gabón se trata una excepción en el grupo de países con un nivel medio de desarrollo. Estudiaremos su comportamiento a través del siguiente gráfico:

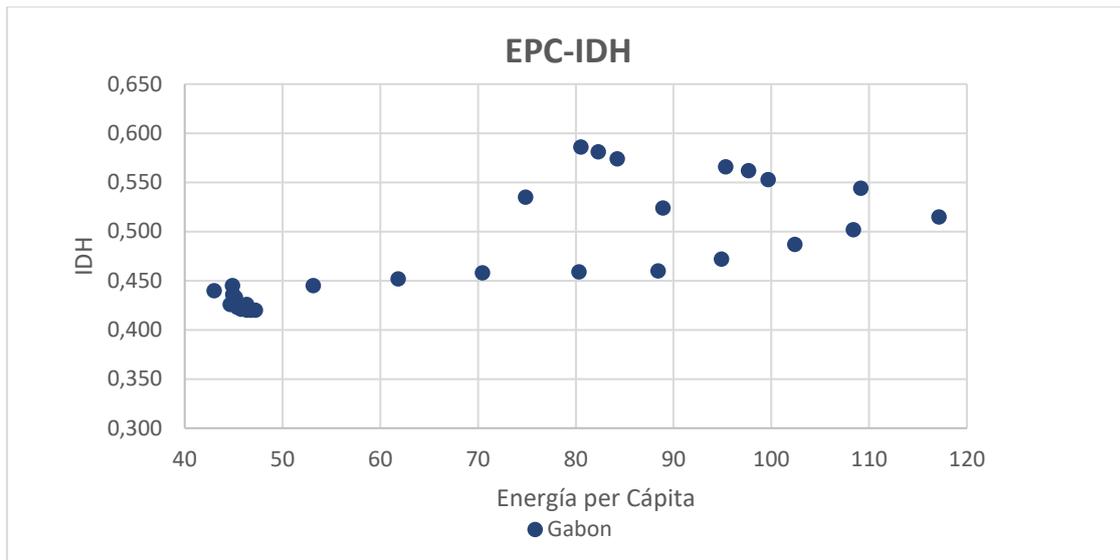


Ilustración 52 Comportamiento de Gabón. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

El aspecto que más nos llama la atención de este país son los niveles que alcanza su consumo de energía. Estos son comparables al de un país con un nivel alto de desarrollo, que normalmente se comprenden entre 0 GJ y 140 GJ. Sin embargo, el motivo por el que se encuentra entre los países con un nivel medio de desarrollo es que no alcanza más de un valor de 0,6 en su IDH.

La energía de Gabón proviene de dos fuentes principales, combustibles fósiles e hidroelectricidad. Gabón depende en gran medida del petróleo para sus ingresos de exportación. Tanto es así, que es uno de los países más ricos de África subsahariana en términos de reservas de petróleo, ocupando el quinto lugar después de Nigeria, Angola, Sudán, Sudán del Sur y Uganda. Aunque el petróleo es vital para el país, este busca diversificar su economía en los sectores de agricultura, pesca, tecnología y ecoturismo, que se encuentran en desarrollo.

A pesar de su abundancia de horas de sol, la energía solar aún no se ha desarrollado significativamente.

En cuando a la energía hidroeléctrica, el país aprovecha sus recursos hidroeléctricos para generar electricidad. En 2015, aproximadamente el 51,07% de la población total de electricidad provenía de fuentes hidroeléctricas. Se espera que el sector hidroeléctrico domine el mercado ya que, debido a la demanda creciente de electricidad, el Ministerio de Recursos Hídricos y Electricidad planeó aumentar la capacidad de generación de energía hidroeléctrica en los próximos años. La presa de Poubara es la central eléctrica más grande con una capacidad instalada de 160MW (una generación de más de 100 MW se considera una central grande). Otros proyectos hidroeléctricos actualmente en desarrollo incluyen la presa de Ngoulmendjim, la presa de Empress Eugenie Falls y la presa FE2 Falls.

El acceso a la electricidad es un objetivo importante para Gabón. En 2014, solo el 15% de las zonas rurales contaba con electricidad. El país aspira a proporcionar electricidad al

85% de las áreas rurales para 2025 y lograr acceso universal para 2035. En resumen, se trata de un país muy comprometido con la inversión energética.

Observando el gráfico, podemos apreciar que presenta un comportamiento en “pico” propio de los países más desarrollados que analizaremos más adelante.

6.3 Países con nivel alto de desarrollo

Estudiaremos ahora el caso de los países con un nivel alto de desarrollo. Los países escogidos son: Algeria, Azerbaijan, Brazil, Bulgaria, China, Colombia, Ecuador, Egypt, Indonesia, Irán, México, Perú, South África, Ucrania, Vietnam, Cuba, Jamaica, Jordania, Kirgystán, Moldova, Mongolia, Paraguay y Túnez. Para calcular el porcentaje que representan, tomaremos la hipótesis de que aproximadamente el 35% de la población mundial vive en países con un nivel de desarrollo alto. La suma de la población de los países mencionados es aproximadamente 2671499011 personas. Si asumimos la hipótesis anterior, alrededor de 2770700000 personas viven en países de este grupo. Así, en esta muestra se ve representada el 96,11% de la población de los países con un nivel alto de desarrollo humano.

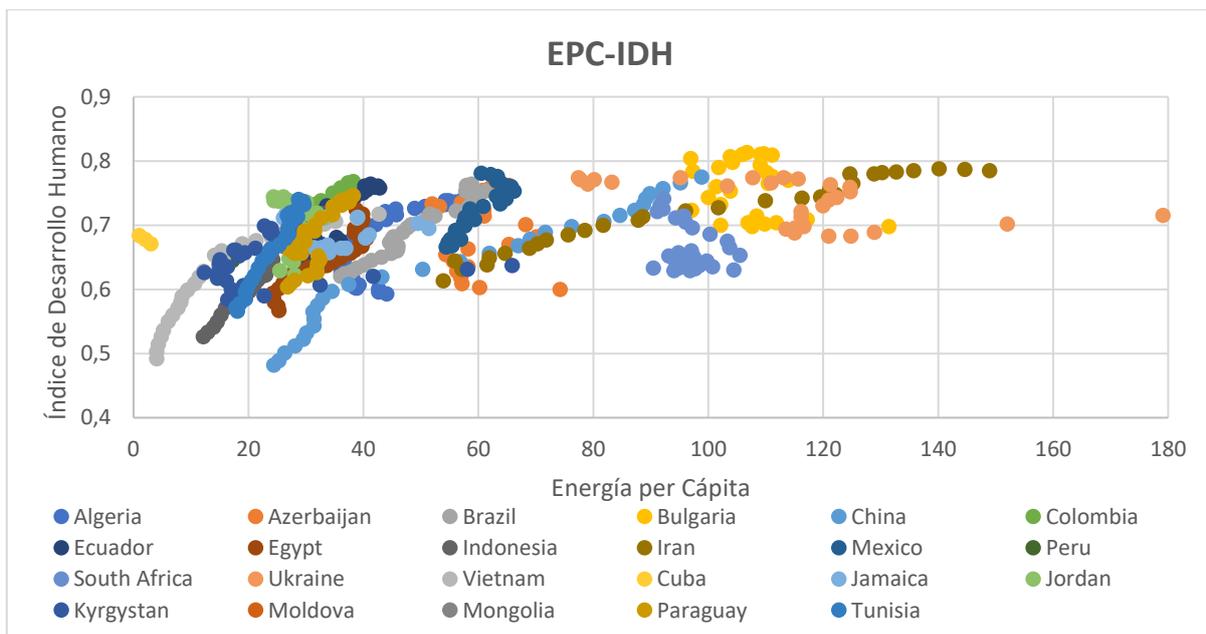


Ilustración 53 Gráfica del IDH en los países con un nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En este caso, lo que parece suceder, es que los países se están aproximando a un punto de saturación, a partir del cual, a pesar de aumentar el consumo de energía per cápita, el IDH no parece aumentar en gran medida.

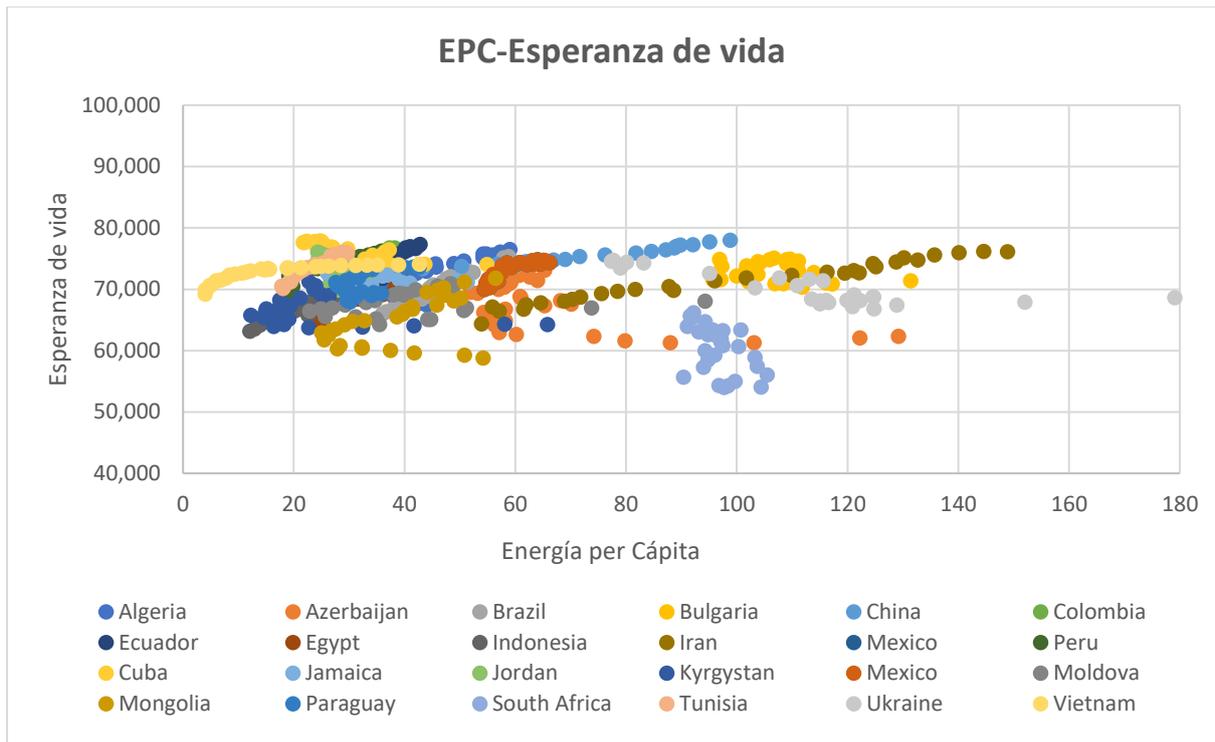


Ilustración 54 Gráfica de la esperanza de vida en países con un nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En cuanto a la esperanza de vida, este grupo de países comprende desde los 55 hasta los 80 años, predominando más los países con una expectativa de 70 años de vida. Una vez más observamos el fenómeno de saturación, todavía más pronunciado que en la *Ilustración 39*.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el consumo de energía influye en la esperanza de vida, pero no guardan correlación absoluta directa. Por tanto, si en un país lo suficientemente desarrollados se dan factores que establecen una determinada esperanza de vida, es posible que, aunque el consumo de energía aumente, la esperanza de vida permanezca estable.

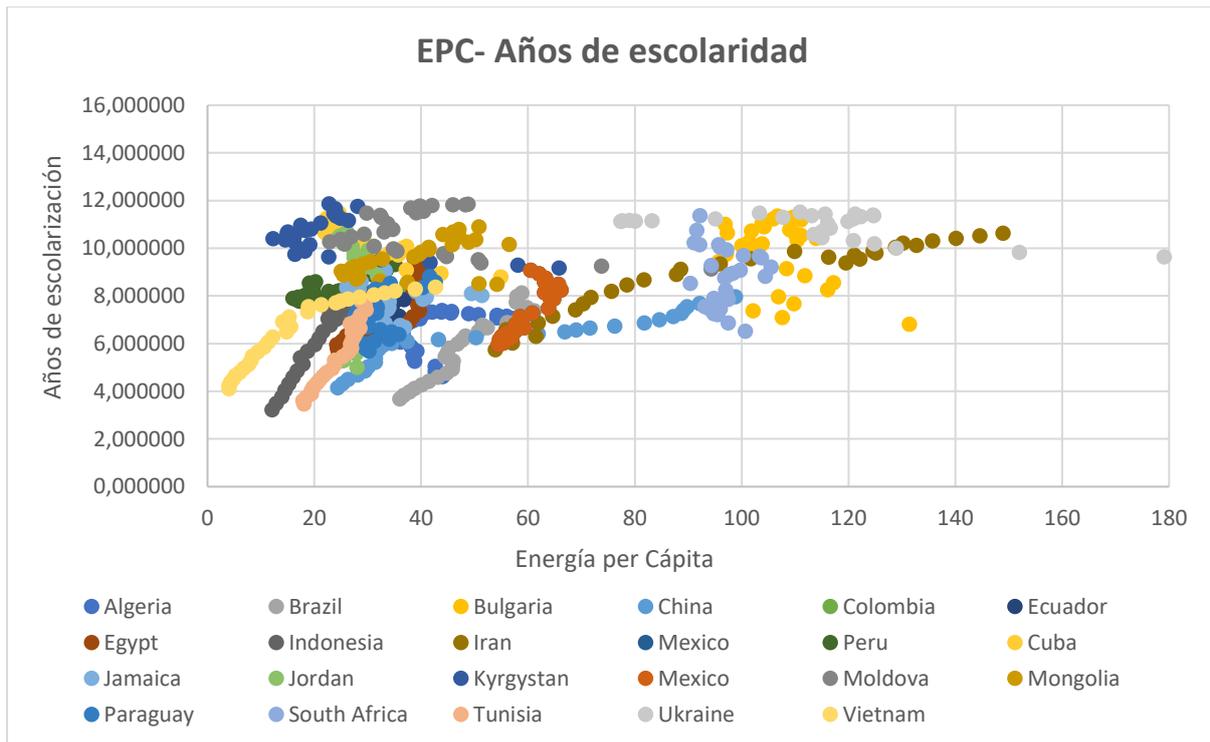


Ilustración 55 Gráfico de los años de escolaridad en países con un nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Como podemos observar, a medida que los años de escolaridad aumentan, el consumo de energía se incrementa también y viceversa. En este caso, los países comprenden un rango de años desde tres a doce. Se puede decir que es el grupo de países en el que más variación y diferencia existe en este aspecto.

Países como Indonesia o Tunicia en 1990 constaban de una media de tres años aproximadamente, mientras que en 2019 alcanzaron los ocho años. Este es un incremento muy grande que se traduce en un aumento del IDH del país.

Por otro lado, Irán, ya constaba en 1990 de ocho años de escolaridad que han ido aumentando progresivamente hasta once años a medida que ascendía también el consumo de energía per cápita, que ha alcanzado los 150GJ en 2019.

Por tanto, podemos concluir que, aunque se alcance cierto punto de saturación, los años de escolaridad seguirán aumentando, impulsando así el consumo de energía y el desarrollo del país.

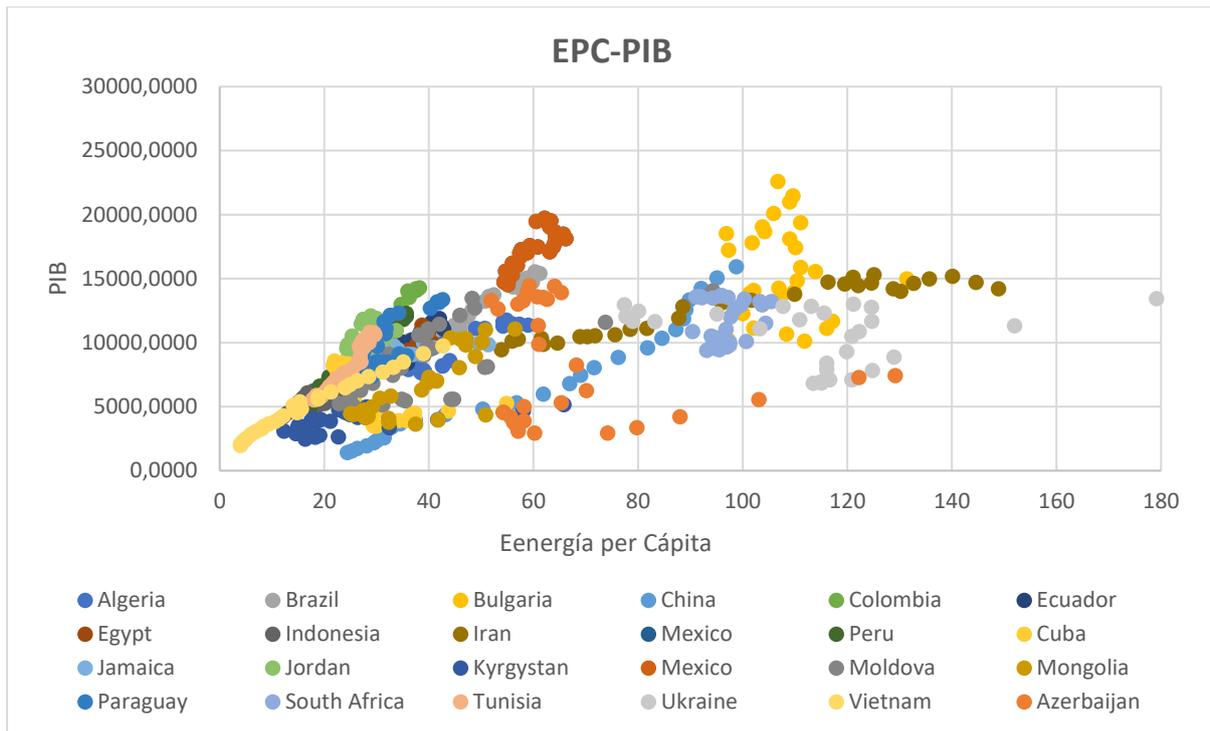


Ilustración 56 Gráfico del PIB en países con nivel alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

El aspecto que presenta este gráfico del PIB es el resultado de los diversos comportamientos de distintos países, aunque todos ellos convergen en el crecimiento del PIB. Lo que nos llama la atención, es que a medida que han transcurrido los años, el consumo de energía ha aumentado considerablemente, en mucha mayor medida que en los países de desarrollo medio o bajo.

6.4 Países con nivel muy alto de desarrollo

En este caso, los países seleccionados son Argentina, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Chipre, Chequia, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hong Kong, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Corea del Sur, Noruega y Rusia. Sumando las poblaciones de estos países obtenemos una población total aproximada de 600 millones de habitantes lo que supone una muestra aceptable.

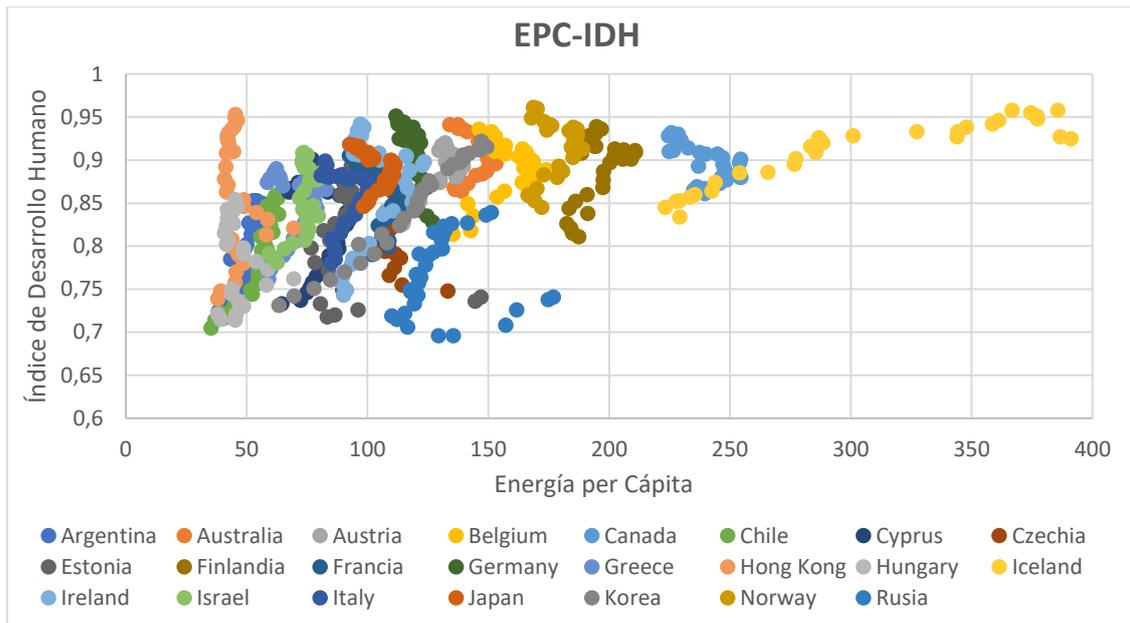


Ilustración 57 Gráfica del IDH en función del consumo de energía per cápita en los países muy desarrollados. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En esta muestra de países, todos ellos superan un nivel de IDH de 0,7 y muchos de ellos superan 0,9. No es casualidad que resulta ser el grupo de países que mayor energía per cápita consumen.

Estos países tienen un comportamiento peculiar que nos llama especialmente la atención. Analizando el gráfico, se puede apreciar que la mayoría de ellos se ven representados formando una especie de forma de “pico”.

Mostramos a continuación una representación gráfica para ilustrar el caso de Italia, Japón, Australia y Noruega.

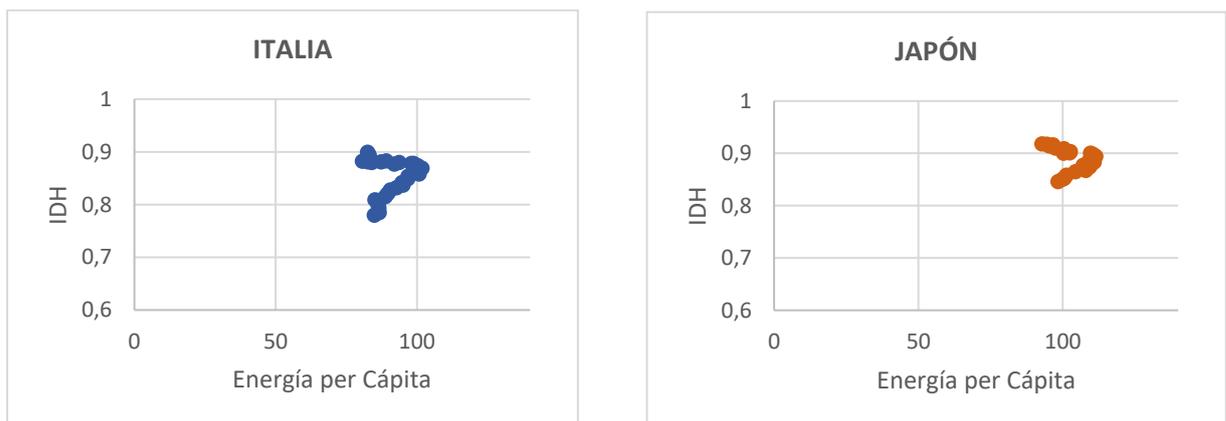


Ilustración 58 Gráfica del comportamiento del IDH de Italia y Japón. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

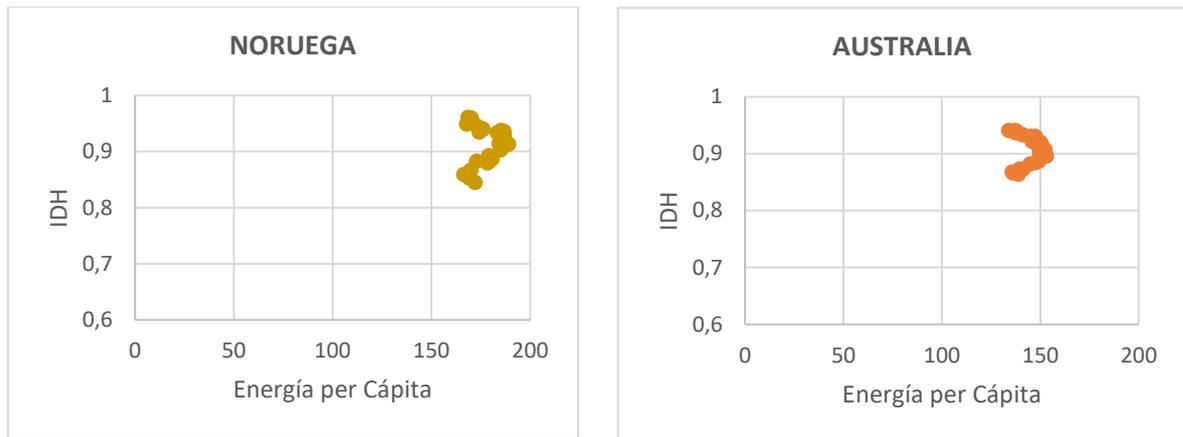


Ilustración 59 Gráfica del comportamiento del IDH de Noruega y Australia. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Este comportamiento se traduce en picos de consumo de energía, es decir, el país ha llegado a un máximo de consumo de energía y posteriormente, ha ido descendiendo a medida que el IDH continuaba su aumento.

Esta tendencia sorprende, ya que, hasta ahora, todas las tendencias analizadas nos han hecho pensar que un aumento en el consumo de energía de los países contribuye a un aumento en su IDH. Sin embargo, los datos existentes demuestran que esta teoría no puede aplicarse a ciertos países con un nivel de desarrollo muy alto.

Un motivo de esta tendencia, puede ser una mejora en la eficiencia energética. Esto significa que se consiguen los mismos niveles de producción y servicios utilizando menos recursos, lo que se traduce a su vez en una reducción de costes y emisiones de gases efecto invernadero.

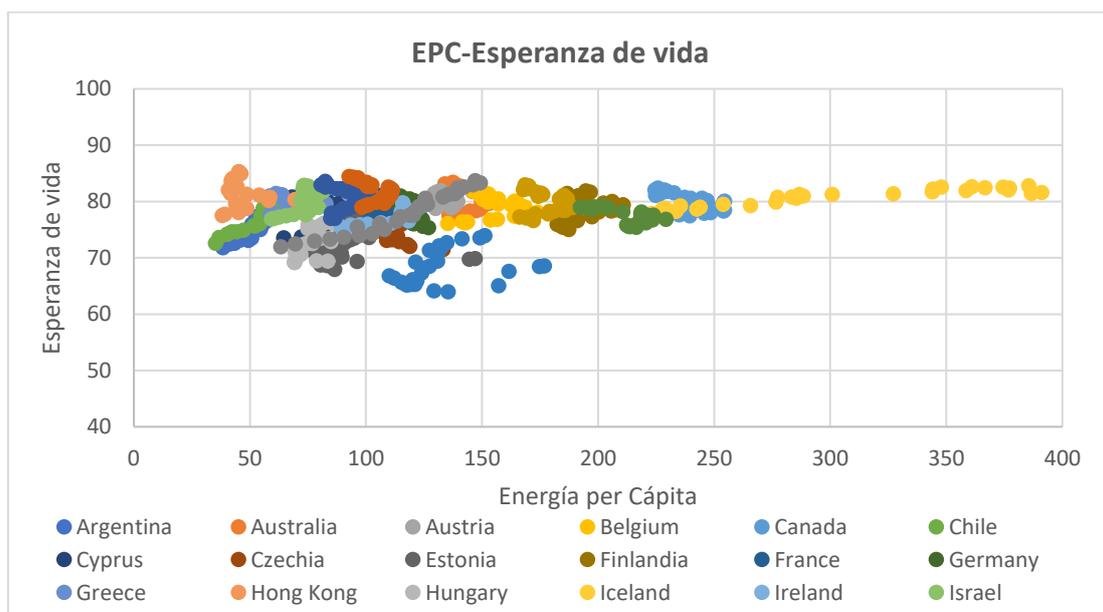


Ilustración 60 Gráfica de la esperanza de vida en países con un nivel de desarrollo muy alto. Fuente: elaboración propia, datos IEA.



En cuanto a la esperanza de vida, se aprecia una considerable estabilización de los datos del gráfico. En estos países, en general, se ha alcanzado el llamado límite de saturación ya nombrado en numerosas ocasiones anteriormente. Esto se traduce en que, a pesar de un incremento considerable del consumo de energía de los países, su esperanza de vida no aumentará con tanta fuerza.

Cabe destacar, que se observa de nuevo un comportamiento en pico o de retroceso en los países.

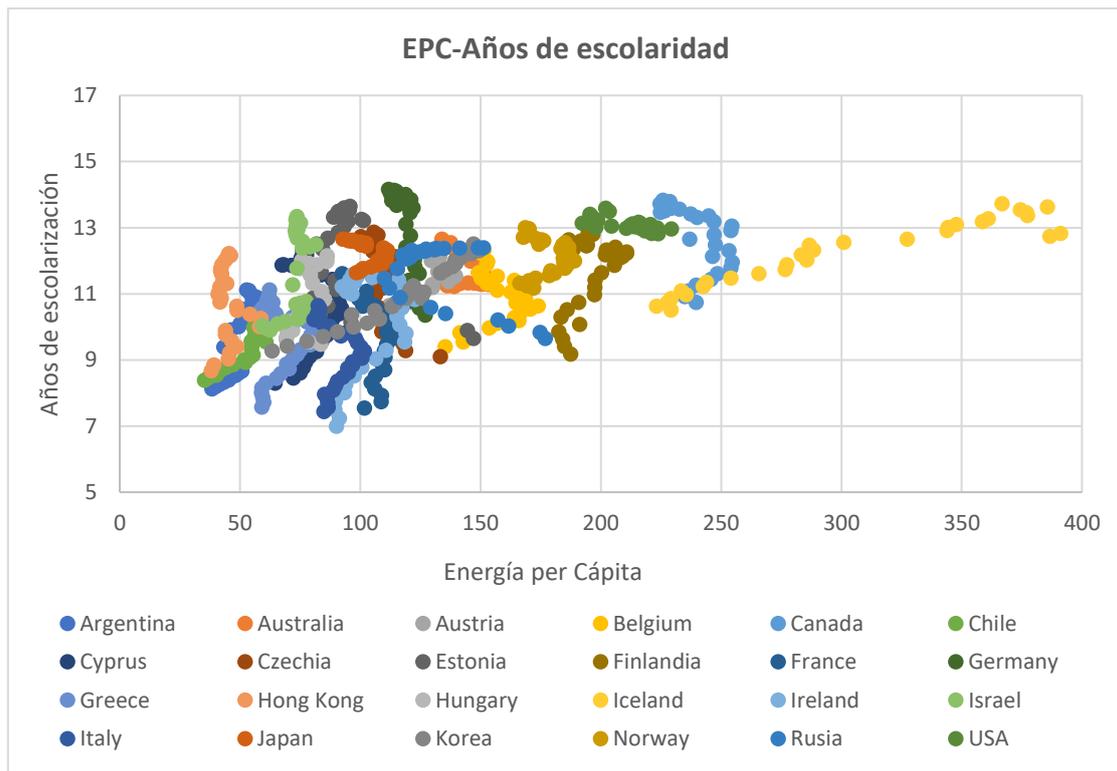


Ilustración 61 Gráfica de los años de escolarización en los países con un nivel muy alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Como hemos examinado en ocasiones anteriores, los años de escolaridad guardan una gran correlación con el consumo de energía, hecho que se ve reflejado en el gráfico. Al igual que al analizar el IDH o la esperanza de vida podíamos apreciar cierto equilibrio, en el caso de esta gráfica no es posible apreciar esa tendencia con tanta claridad. Examinando uno a uno cada país de la muestra, se observa el ya nombrado comportamiento de pico y un crecimiento en los años de escolaridad de los países a lo largo del tiempo y conforme aumenta su consumo de energía.

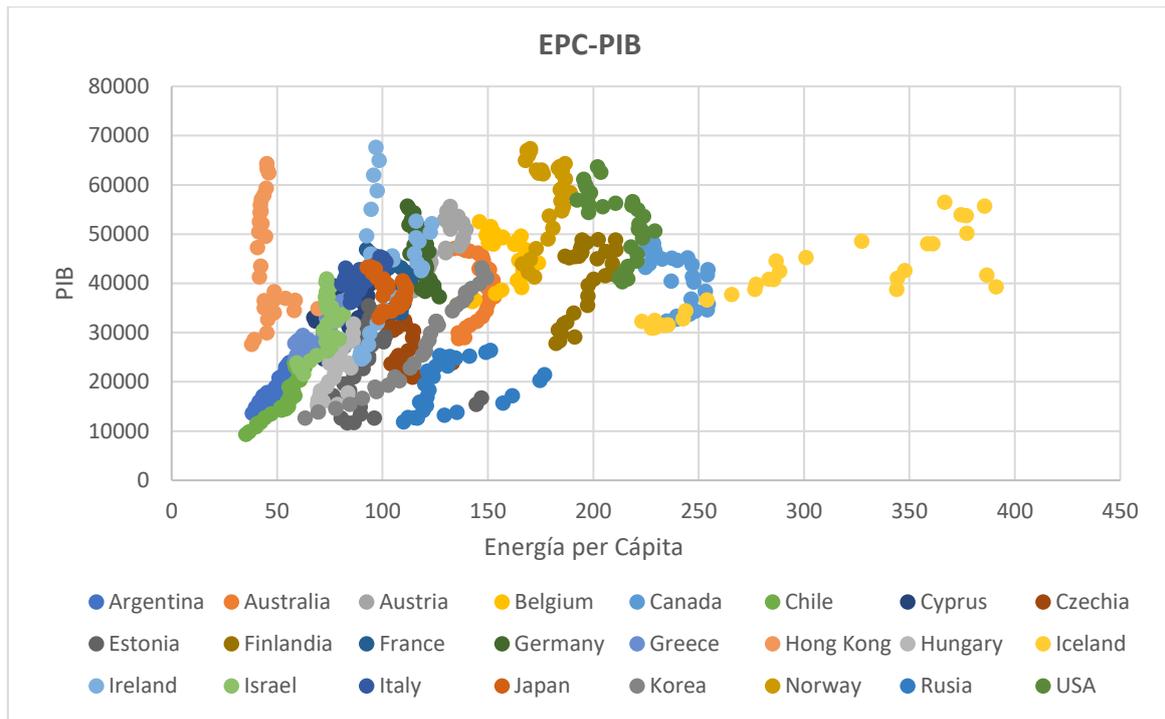


Ilustración 62 Gráfica del PIB de países con un nivel muy alto de desarrollo. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

El PIB constituye una dimensión del IDH que continúa creciendo en todos los grupos de países. Quizás antes de realizar esta gráfica se puede llegar a pensar que el PIB de los países se iba a comportar como lo hace el IDH o la esperanza de vida. Sin embargo, posee un crecimiento más similar a los años de escolaridad, aunque quizás aún más marcado.

Este crecimiento se aprecia con claridad en países como Hong Kong o Irlanda, que con apenas un aumento de 10GJ en su consumo de energía per cápita, han aumentado a lo largo de los años aproximadamente 40000 unidades en el PIB.

En el caso de Noruega, Bélgica, Canadá, Australia, Finlandia o Estados Unidos, observamos el comportamiento en pico tan característico de los países con un nivel muy alto de desarrollo, aunque esta vez menos pronunciado, asemejándose más a una curva. Podemos apreciarlo en la siguiente gráfica:

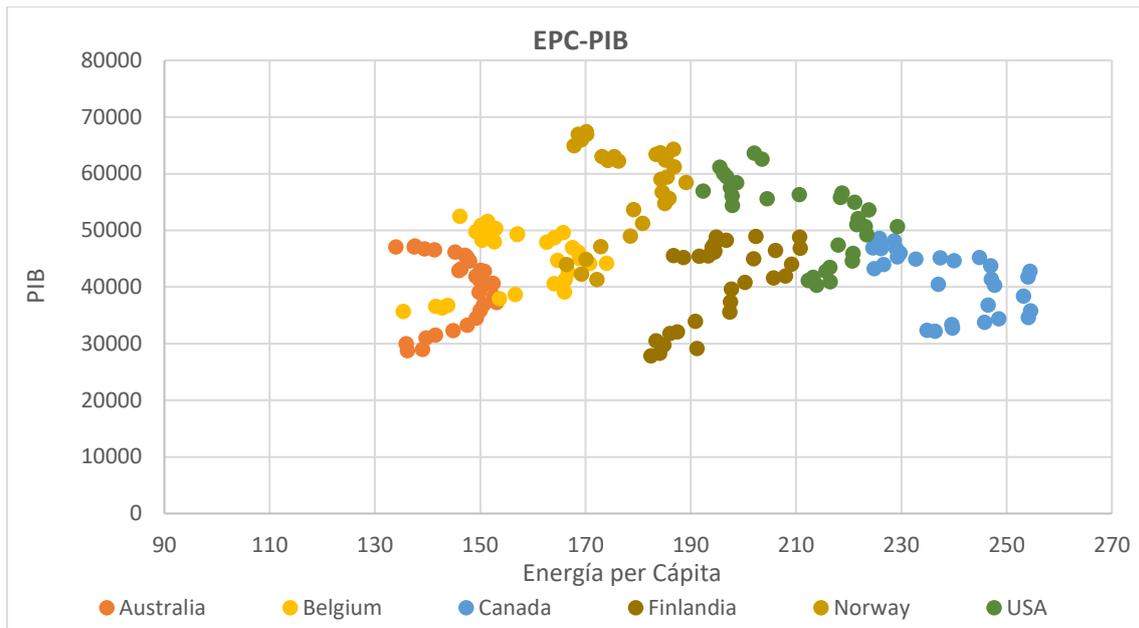


Ilustración 63 Gráfica del comportamiento en curva de Australia, Bélgica, Canadá, Finlandia, Noruega, Estados Unidos.
Fuente: elaboración propia, datos IEA.

En el caso de Australia, su PIB a lo largo de los años ha experimentado un crecimiento constante. Sin embargo, en términos de energía, desde el 1990 hasta los años 2000 aproximadamente, su consumo ha ascendido progresivamente. No obstante, a partir de 2001 este ha ido disminuyendo en igual medida.

Lo mismo ocurre con el resto de los países representados en esta gráfica, aunque, en el caso de Bélgica experimentó su máximo energético en 2004 aproximadamente. En cuanto a Canadá, comenzó a disminuir su consumo a partir de 1997. Finlandia, por su parte, experimentó este proceso a partir de 2005 aproximadamente. Por último, Noruega y Estados Unidos, tuvieron su máximo consumo en los 2000, al igual que Australia.



7. IGUALDAD DE GÉNERO

En un mundo cada vez más globalizado, es sorprendente que persistan aún problemas de desigualdad de género. En esta sección, analizaremos las implicaciones energéticas de estos.

Análogamente a otros apartados, analizaremos dos gráficas en las cuales se ofrecen datos acerca del IDH corregido por género y observaremos las diferencias. En este caso, la selección de países es la siguiente: Argelia, Argentina, Bangladesh, Brasil, Canadá, China, Colombia, Estados Unidos, Francia, India, Indonesia, Japón, Kazajistán, Noruega, Pakistán, Rusia, España, Sudáfrica, Suiza y Nigeria que representan aproximadamente el 63% de la población.

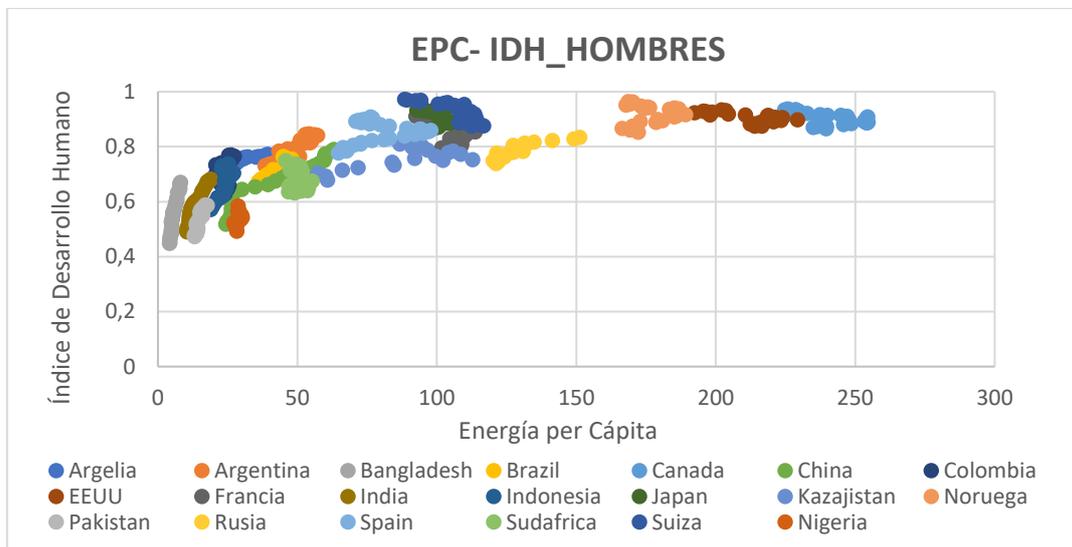


Ilustración 64 Gráfico del IDH corregido para hombres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

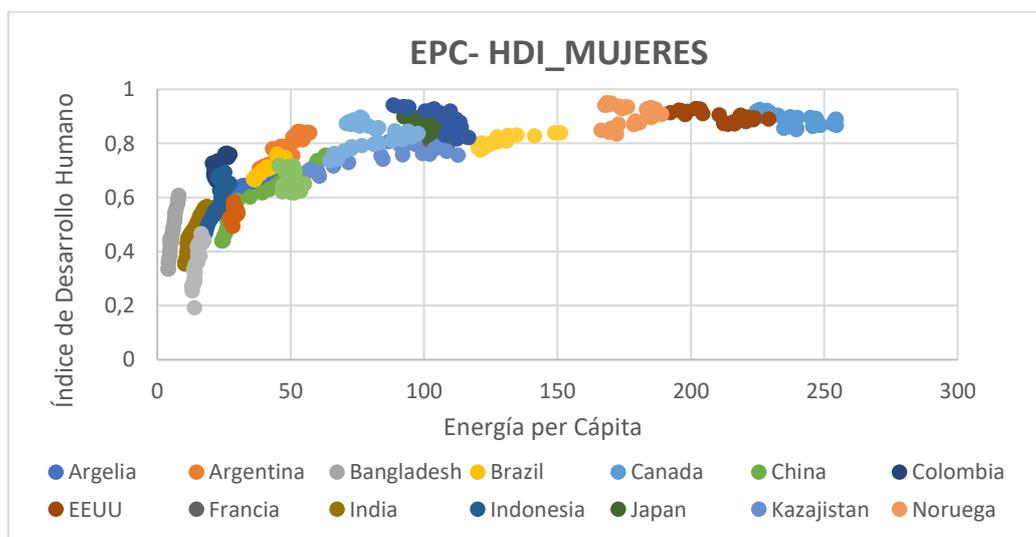


Ilustración 65 Gráfico del IDH corregido para mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.



Aunque inicialmente los gráficos muestran un índice de Desarrollo Humano muy similar entre hombres y mujeres, un análisis detallado revela que hay cuatro países específicos donde las diferencias son más pronunciadas que en otros lugares.

Los países en cuestión son: Bangladesh, India, Pakistán y, sorprendentemente, Suiza.

Adjuntamos de nuevo los gráficos centrándonos en esos países concretamente.

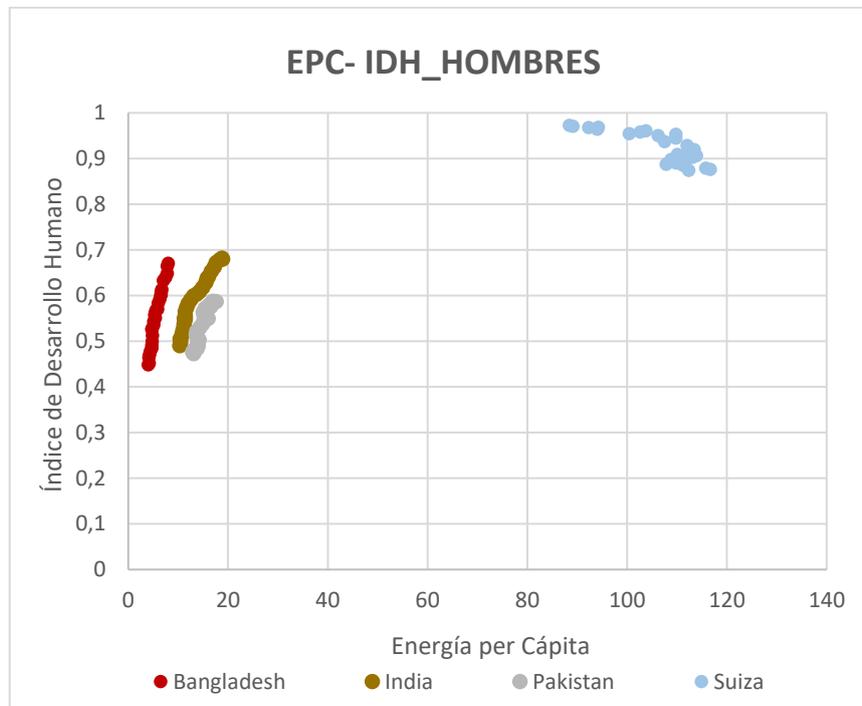


Ilustración 66 Gráfica comparativa de hombres de Bangladesh, India, Pakistán y Suiza. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

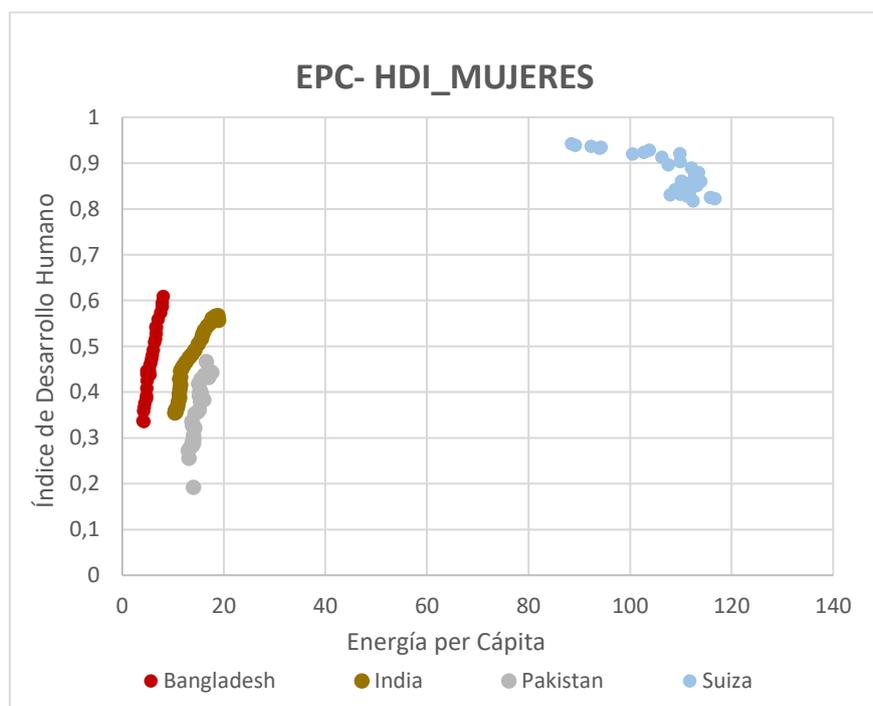


Ilustración 67 Gráfica comparativa de mujeres de Bangladesh, India, Pakistán y Suiza. Fuente: elaboración propia, datos IEA.



Si comparamos los resultados de Bangladesh, podemos observar que, mientras que en 1990 los hombres constaban de un IDH de 0,45 aproximadamente, las mujeres ni siquiera llegaban a 0,4, teniendo solamente un nivel de desarrollo humano de 0,33 lo que está a más de un punto de distancia de los hombres en términos de IDH. A medida que avanzaron los años, esto ha mejorado, pero no se ha erradicado. Podemos observar que el valor correspondiente en los hombres en 2019 es de 0,67 y en las mujeres es del 0,60. Esta constituye una desigualdad abismal cuando se trata de poblaciones que habitan en el mismo país y, por tanto, deberían gozar de los mismos derechos y condiciones de vida.

A continuación, se presenta una tabla comparativa con los valores exactos.

Tabla 8 Datos exactos comparativos entre el IDH de hombre y mujeres en Bangladesh. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

BANGLADESH			
Año	Energía	IDH hombre	IDH mujer
1990	4,251	0,4521	0,3357
2019	8,03	0,6706	0,6085

Analizando la tabla, podemos observar que la diferencia en el IDH en 1990 es de 0,1164 mientras que en 2019 es 0,0621. Esto puede deberse en cierta medida a la casi duplicación en el consumo de energía per cápita que ha experimentado el país.

En el caso de la India, examinamos que en 1990 el nivel de IDH del hombre era aproximadamente 0,5 mientras que el de la mujer 0,35. Una vez más, observamos una gran diferencia entre ambos aspectos. Analizando datos más actuales, en concreto los de 2019, vemos que la diferencia continúa siendo considerable. A pesar de ello, esta diferencia disminuye y, una vez más, vemos que el consumo de energía aumenta simultáneamente.

Tabla 9 Datos exactos comparativos entre el IDH de hombre y mujer en la India. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

INDIA			
Año	Energía	IDH hombre	IDH mujer
1990	10,343	0,4903	0,354
2019	18,833	0,6818	0,5669

Más acentuado aún, ocurre en el caso de Pakistán. Los datos exactos son los siguientes:

Tabla 10 Datos exactos comparativos entre el IDH de hombres y mujeres en Pakistán. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

PAKISTÁN			
Año	Energía	IDH hombre	IDH mujer
1990	13,134	0,473	0,2552
2019	16,53	0,5758	0,4666

Observamos la mayor diferencia en 1990, donde los datos del IDH entre hombres y mujeres difieren en más de 0,2 lo que supone una desigualdad enorme teniendo en



cuenta que estos datos se comprenden entre 0 y 1. En 2019 se experimenta una mejora respecto a 1990 sin embargo, esta desigualdad continúa presente. Vemos también que, en este país, el incremento de energía es más disminuido que en los dos casos anteriores.

Por último, el caso de Suiza cuyos datos desde un inicio hasta el final de los años estudiados, son los siguientes:

Tabla 11 Datos exactos del IDH de Suiza en hombre y mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

SUIZA			
Año	Energía	IDH hombre	IDH mujer
1990	112,395	0,8743	0,8174
2019	88,432	0,9728	0,9422

Analizando los datos en cuestión, lo que más llama la atención es la disminución en el consumo de energía. Este comportamiento es propio de los países con un nivel de desarrollo muy alto y ya ha sido estudiado con anterioridad en el análisis. Aun así, vemos que el IDH ha mejorado durante los años del estudio. A pesar de que la diferencia entre el Índice de Desarrollo Humano entre hombres y mujeres es menor que en los casos anteriores, no debemos perder de vista que esta existe, aun siendo Suiza uno de los países con mayor IDH del planeta.

Este análisis nos lleva a preguntarnos, ¿a qué se deben estas desigualdades? Al tratarse del IDH, podemos pensar que estas se deben a tres aspectos, a saber, esperanza de vida, años de escolaridad o PIB.

En cuanto a la esperanza de vida, las mujeres, en general, viven más que los hombres, ya que así lo corrobora la información existente documentada en las bases de datos. Es decir, este aspecto favorece a la mujer por lo que las diferencias más bien se pueden deber a los años de escolaridad o al PIB.

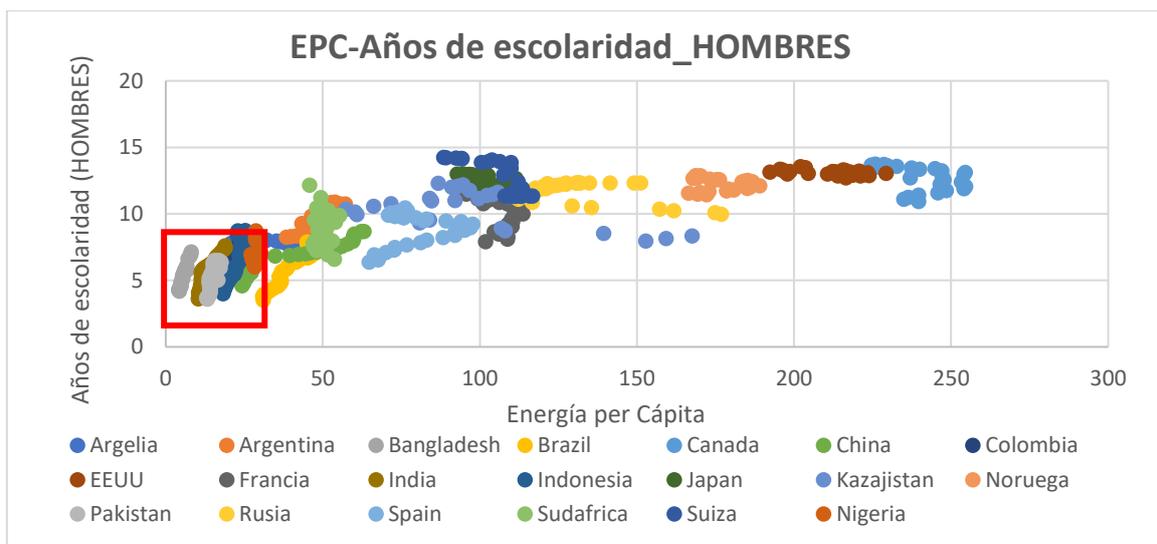


Ilustración 68 Gráfica de los años de escolaridad en hombres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

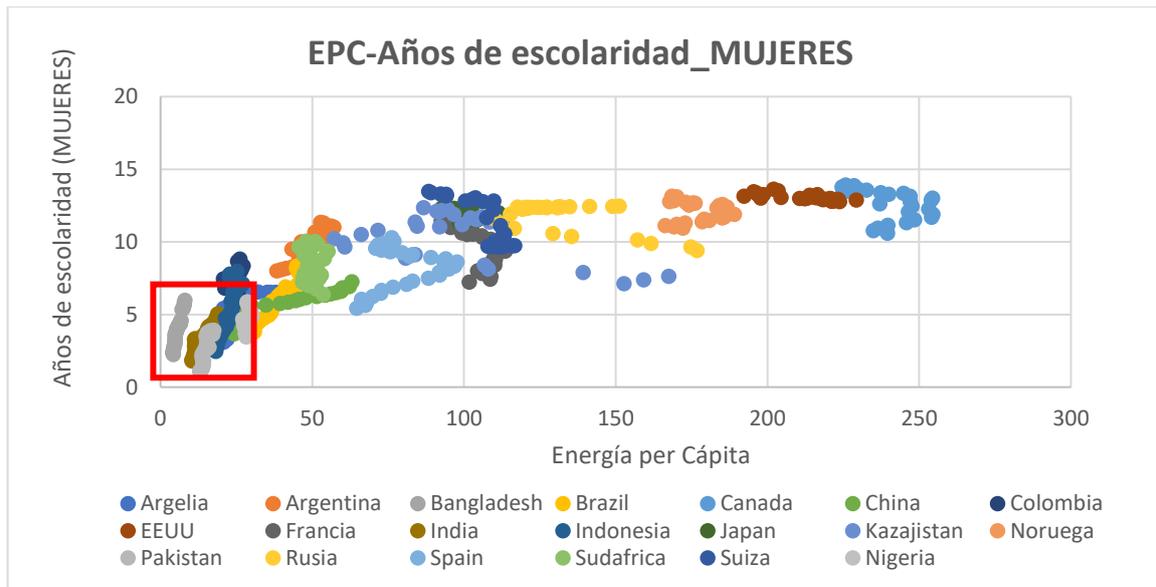


Ilustración 69 Gráfica de los años de escolaridad en mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Fijándonos una vez más en los países del interior del recuadro rojo, Bangladesh, India y Pakistán, podemos observar la diferencia existente entre ambos gráficos y, por tanto, entre hombres y mujeres, existente en estos países. Mientras que los hombres pasan de los cinco años de escolaridad, en Pakistán las mujeres como máximo llegan a cuatro años. Resulta curioso como los países que menor energía per cápita consumen, más diferencias de género tienen en cuanto a los años de escolaridad.

En el caso de Suiza, en cuanto a los años de escolaridad observamos una igualdad considerable.

Analizamos ahora lo que ocurre con el PIB:

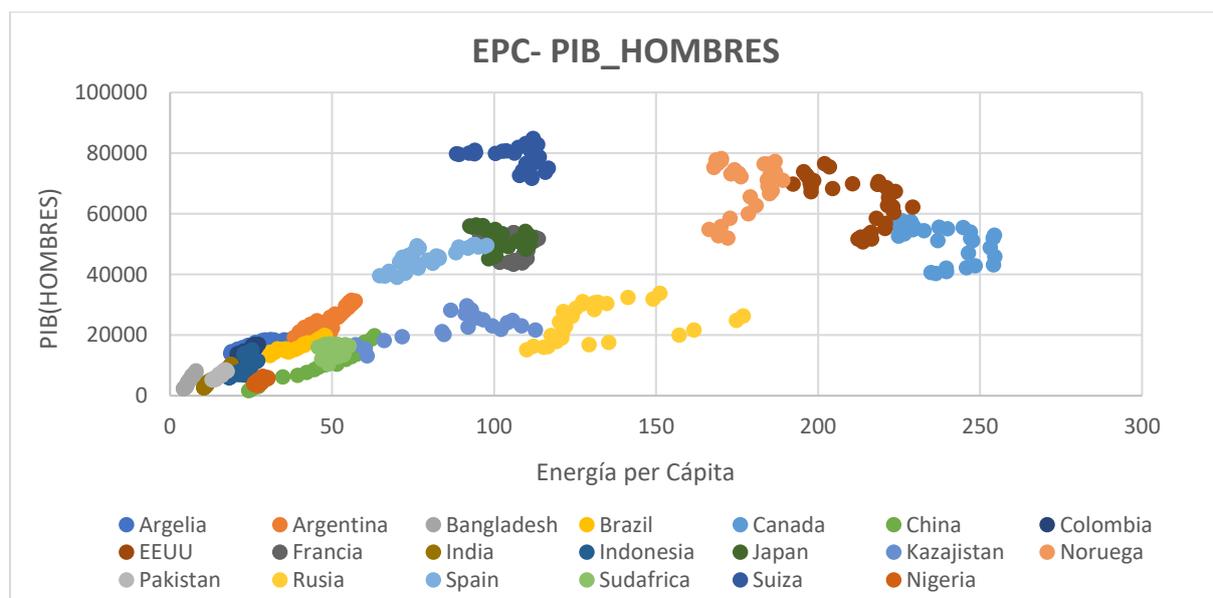


Ilustración 70 Gráfica del PIB corregido para hombres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

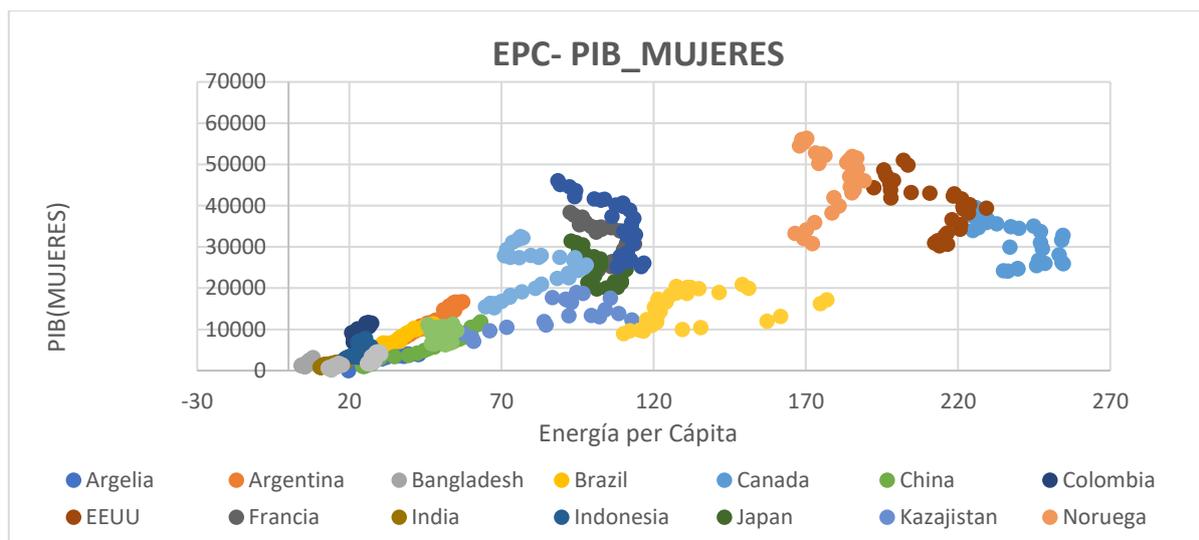


Ilustración 71 Gráfica del PIB corregido para mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Como podemos observar, las diferencias en cuanto al PIB son abismales. Esto sorprende ya que, a priori, analizando el IDH no se observaban diferencias en tantos países. En este caso, en todos ellos podemos apreciar una diferencia significativa en cuanto al PIB entre hombres y mujeres. Para ilustrar mejor estas diferencias, a continuación, se incluyen los datos exactos del PIB de estos países en el año 1990 y 2019, incluyendo la magnitud de su diferencia de género.

Tabla 12 Datos exactos del PIB corregido por género en 1990 y la diferencia entre hombres y mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

	1990		
	HOMBRES	MUJERES	DIFERENCIA
Argentina	19262,6559	8089,5042	11173,1517
Bangladesh	2300,3818	1216,5437	1083,8381
Brasil	14324,2982	5984,6461	8339,6521
Canadá	42098,9372	24759,8308	17339,1064
China	1734,6312	1103,9155	630,7157
Colombia	10403,5537	5793,8757	4609,678
EEUU	51672,5255	30607,7147	21064,8108
Francia	44032,6525	24417,0398	19615,6127
India	2681,9774	847,7085	1834,2689
Indonesia	5872,1424	2485,4447	3386,6977
Japón	45203,269	21369,6053	23833,6637
Nigeria	4283,3878	1840,2623	2443,1255
Noruega	52016,1711	30831,8457	21184,3254
Pakistán	5260,805	529,0538	4731,7512
Rusia	26316,9609	17154,6199	9162,341
España	39587,3882	15457,0073	24130,3809
Sudáfrica	13447,028	6901,5859	6545,4421
Suiza	78911,4658	26884,1651	52027,3007



Tabla 13 Datos exactos del PIB corregido por género en 2019 y la diferencia entre hombres y mujeres. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

	2019		
	HOMBRES	MUJERES	DIFERENCIA
Argentina	26820,9253	15699,0793	11121,846
Bangladesh	8244,9654	3170,0569	5074,9085
Brasil	17769,8721	10925,8566	6844,0155
Canadá	57794,4867	39505,1076	18289,3791
China	19828,5135	11861,0996	7967,4139
Colombia	16955,4149	11697,849	5257,5659
EEUU	76528,8643	51002,8767	25525,9876
Francia	56003,3401	38390,0957	17613,2444
India	10324,3203	2527,6192	7796,7011
Indonesia	15122,2521	7819,1289	7303,1232
Japón	55839,5407	31388,4745	24451,0662
Nigeria	6450,9825	3346,0549	3104,9276
Noruega	77772,0347	56004,4899	21767,5448
Pakistán	8278,5835	1775,856	6502,7275
Rusia	33750,3706	19957,8719	13792,4987
España	49509,0676	32532,5704	16976,4972
Sudáfrica	16013,5066	11138,8335	4874,6731
Suiza	79813,0214	46062,9217	33750,0997

En estas tablas se indica el país al que corresponden los datos, en qué año y las diferencias entre el PIB corregido por hombres y por mujeres indicadas por los números azules. Lo que más nos llama la atención analizando estos números, es la gran diferencia de Suiza tanto en el año 1990 como en el 2019, que se corresponde con la mayor de ellas comparándola con los países de la muestra.

Aun así, esta información resulta preocupante debido a que absolutamente todas las diferencias observadas se producen a favor de los hombres.

Si examinamos ahora el comportamiento de estas variaciones entre hombres y mujeres a medida que transcurren los años, observamos que la situación ha mejorado en algunos países como España, Sudáfrica, Suiza, Francia, Brasil o Argentina, pero se ha acentuado en Bangladesh, Canadá, China, Colombia, EEUU, India, Indonesia, Japón, Nigeria, Noruega, Pakistán o Rusia.

La siguiente tabla refleja estas variaciones, siendo los países con las casillas en verde los que han disminuido estas diferencias de género en el PIB con el transcurso de los años.



Tabla 14 Datos que indican en qué medida ha variado la diferencia de género entre los años 1990 y 2019. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

	Decremento de las diferencias
Argentina	51,3057
Bangladesh	-3991,0704
Brasil	1495,6366
Canadá	-950,2727
China	-7336,6982
Colombia	-647,8879
EEUU	-4461,1768
Francia	2002,3683
India	-5962,4322
Indonesia	-3916,4255
Japón	-617,4025
Nigeria	-661,8021
Noruega	-583,2194
Pakistán	-1770,9763
Rusia	-4630,1577
España	7153,8837
Sudáfrica	1670,769
Suiza	18277,201

Esto demuestra la existencia de una brecha de género a nivel internacional. No solo esto, si no que a medida que pasan los años esta se va incluso acentuando en algunos países. Es cierto que la cultura de cada país es un factor relevante en este ámbito, dado que de ella depende el establecimiento de todas las leyes que lo rigen. Sin embargo, se debe insistir en erradicar esta brecha ya que supone una desigualdad entre hombres y mujeres.

Mientras que la esperanza de vida es un indicador donde las diferencias entre hombres y mujeres, concretamente el hecho de que las mujeres vivan más tiempo, están fundamentalmente determinadas por factores biológicos (aunque las implicaciones energéticas son significativas, la base de este indicador es esencialmente biológica, el PIB es una medida establecida por las leyes y los sesgos de la sociedad, por lo que tal vez deberíamos prestar más atención a este ámbito, ya que refleja con mayor precisión las diferencias de género en un país.

Con los años de escolaridad sucede algo similar al PIB. Como hemos observado, es el índice que tiene mayor correlación con el consumo de energía per cápita y, en definitiva, es el más importante. La educación es el pilar básico y fundamental para eliminar las desigualdades, tanto en términos de consumo de energía como de igualdad de género, porque proporciona a las personas las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas y responsables. A través de una educación de calidad, las personas adquieren conocimientos sobre prácticas sostenibles y eficientes en el uso de recursos.



Además, la educación promueve la igualdad de oportunidades al equipar a individuos de diversos contextos socioeconómicos con habilidades y competencias que les permiten acceder a mejores empleos y mejorar su calidad de vida. Esto no solo reduce las brechas de género y las desigualdades económicas, sino que también fomenta una sociedad más equitativa y justa, donde todos tienen la posibilidad de contribuir y beneficiarse del desarrollo sostenible. Por lo tanto, invertir en educación es crucial para construir un futuro más equitativo y sostenible que se traduce, en definitiva, en un aumento del IDH.





8. CONCLUSIONES

Tras haber realizado varios análisis comparando los siguientes índices sociales frente al consumo de energía, hemos obtenido los estos resultados:

	SSE	Rsquare	DFE	ADJRsquare	RMSE	CORRELACIÓN
IDH Logarítmico	6,0691	0,7402	778	0,7399	0,0883	0,7456
IDH Cuadrático	6,9359	0,7031	777	0,7023	0,0945	0,7456
IDH Cúbico	5,7387	0,7543	776	0,7534	0,0860	0,7456
IDH Logarítmico Sin Kazajistán	5,7885	0,7508	748	0,7505	0,0880	0,7456
Esperanza de vida	3,9476e+04	0,4631	778	0,4624	7,1232	0,6058
Años de escolaridad	2,3337e+03	0,7435	778	0,7432	1,7320	0,7829
PIB	1,4398e+11	0,4769	778	0,4762	1,3604e+04	0,5488
IDH ajustado por desigualdad	3,5879	0,6798	248	0,6785	0,1203	0,7156
IDH ajustado por presiones planetarias	7,2793	0,5100	778	0,5094	0,0967	0,5745
IDH ajustado por género	1,5153	0,5091	440	0,5079	0,0587	0,5636

Observando los resultados obtenidos, vemos que el índice que mayor correlación guarda con el consumo de energía per cápita de los estudiados se corresponde con los años de escolaridad. En concreto, guarda una correlación con un valor del 0,7829 (coloreado en verde), es decir, se trata de una correlación positiva muy fuerte lo que quiere decir que un aumento en la educación de los países tiene por consecuencia un aumento en el consumo de energía y viceversa.

Esto se traduce en que, la inversión en una educación de calidad supone el aspecto más importante y crucial a la hora de satisfacer las necesidades energéticas futuras.

En cuanto al ajuste, la función que sigue y representa con mayor fidelidad los retos representados es $Y = 0,154468 + 0,141133 \log(x)$, la correspondiente con el ajuste del IDH en función del consumo de energía per cápita de los países de la muestra. Este representa la variabilidad con un valor del 0,7505 de su R cuadrada ajustada (casilla coloreada en azul). Como ya mencionamos anteriormente, esta función surge de una muestra de países entre los que no se encuentra Kazajistán debido a su situación inusual.

El estudio de la correlación entre el consumo de energía per cápita y el IDH revela la interdependencia entre el acceso a la energía y el desarrollo humano. Este análisis es crucial para comprender cómo la energía influye en la calidad de vida, la salud, la

educación y el empoderamiento económico, especialmente en el contexto de la igualdad de género y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La gráfica con el ajuste definitivo es la siguiente.

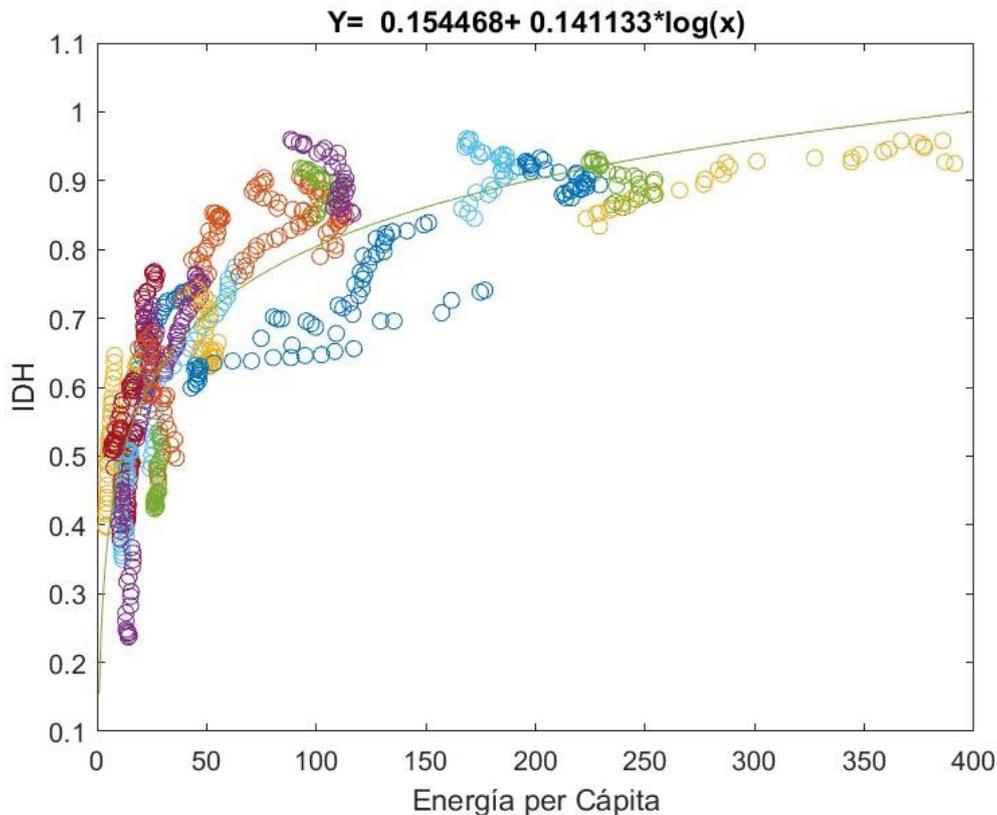


Ilustración 72 Gráfica definitiva del ajuste del IDH frente al consumo de energía. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

De la misma forma, concluimos que el aspecto que menos correlación directa guarda con el consumo de energía es el PIB, con un valor de correlación del 0,5488 (casilla coloreada en naranja). Como hemos comentado en el apartado correspondiente, el PIB ha tenido una actividad más acelerada que el consumo de energía a partir de situaciones como crisis o guerras presentes en los países estudiados, lo que puede llegar a explicar en cierta manera el porqué de este resultado.

Respecto a los IDH ajustados, el que mayor correlación guarda con el consumo de energía es el IDH ajustado por desigualdad. No solo resulta ser el más relacionado, si no que es el que constituye un mejor ajuste de los datos con la siguiente curva:

$$Y = -0,091552 + 0,175101 \cdot \log(x)$$

En cuanto a la desagregación de países atendiendo a su nivel de desarrollo, podemos sacar las siguientes conclusiones claras:

- En los países poco desarrollados un ligero aumento en el consumo de energía, no se traduce con claridad en un aumento de su IDH. Aunque en ningún caso se observa un aumento significativo en el consumo de energía o en el IDH, estos

países carecen de las herramientas necesarias para aprovechar dicho incremento de manera efectiva.

- En cuanto a los países con un nivel de desarrollo medio, ocurre lo contrario que en el caso anterior, es decir, un ligero aumento en su consumo de energía se traduce en una mejora muy relevante de su IDH.
- Analizando el caso de los países con un nivel de desarrollo alto o muy alto, vemos que estos presentan un comportamiento muy distinto a los anteriores. En este caso, se alcanza un punto de saturación, comentado anteriormente, a partir del cual, a pesar del aumento en el consumo de energía, el IDH se mantiene estable o creciendo de forma muy poco pronunciada. Tanto es así, que, en algunas ocasiones, a nivel individual, presentan un comportamiento en pico, en el cual, a pesar de que experimentan un decrecimiento en el consumo de energía, su IDH continúa subiendo.

Es el caso de los países europeos, como la gráfica de la Ilustración 73 que se muestra a continuación. Este fenómeno de punta de flecha se trata de un comportamiento novedoso en relación con estudios anteriores, que supone un cambio respecto a las tendencias mundiales observadas hasta ahora.

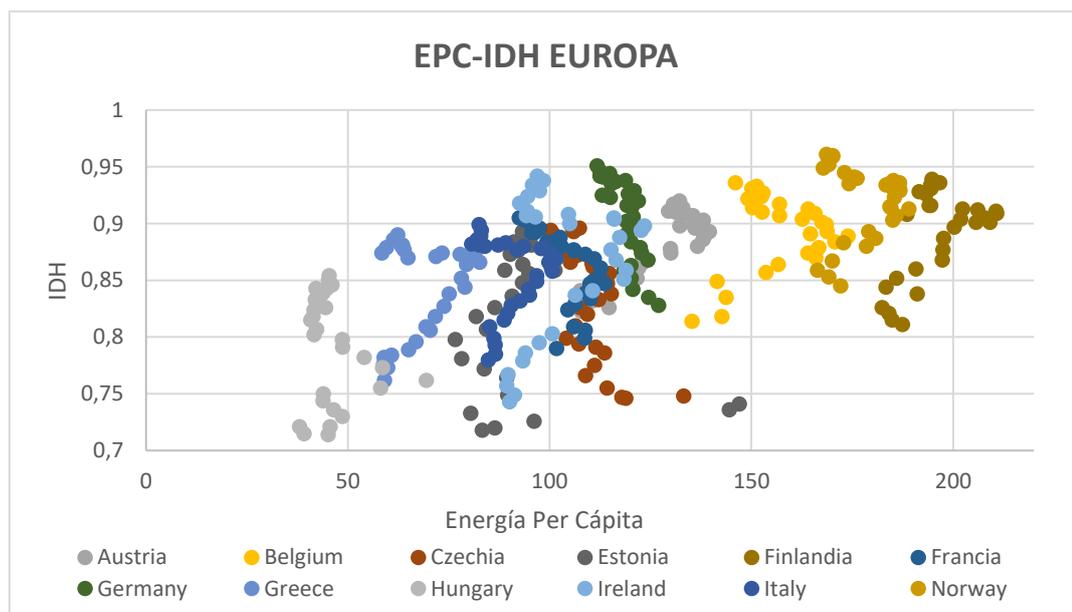


Ilustración 73 Gráfica del comportamiento en pico de los países europeos. Fuente: elaboración propia, datos IEA.

Tras la observación de este fenómeno concluimos que, en países con un nivel de desarrollo alto o muy alto como es el caso de Europa un aumento del IDH no es necesariamente consecuencia de un aumento en su consumo de energía, es más, según la gráfica anterior, su IDH continúa creciendo conforme el consumo de energía disminuye.

Estas conclusiones atendiendo a los países según su nivel de desarrollo nos ayudan a comprender cómo se comporta cada grupo y a observar con mayor profundidad en qué medida afecta la energía al desarrollo en las distintas zonas del mundo.



Atendiendo a la igualdad de género, sacamos en limpio que la existencia de una brecha de género en todos los países es innegable. A día de hoy, continúan existiendo grandes diferencias entre hombres y mujeres. En concreto, los países más afectados del estudio son China, India, Estados Unidos y Rusia. En cuanto a países europeos, podemos apreciar una mejora general de este problema, exceptuando quizás a Noruega.

Por ello, como hemos visto en los análisis, debemos prestar especial interés al PIB y a los años de escolaridad y educación de los países. Así como la esperanza de vida supone más bien un factor biológico, el PIB y los años de escolaridad se tratan de medidas establecidas por las leyes y sociedad de un país.

No solo eso, sino que la educación es el pilar fundamental para eliminar las desigualdades, tanto en el consumo de energía como en la igualdad de género, ya que proporciona a las personas las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas y responsables. A través de una educación de calidad, las personas adquieren conocimientos sobre prácticas sostenibles y eficientes en el uso de recursos.

Además, la educación promueve la igualdad de oportunidades al equipar a individuos de diversos contextos socioeconómicos con habilidades y competencias que les permiten acceder a mejores empleos y mejorar su calidad de vida. Esto no solo reduce las brechas de género y las desigualdades económicas, sino que también fomenta una sociedad más equitativa y justa, donde todos tienen la posibilidad de contribuir y beneficiarse del desarrollo sostenible. Por lo tanto, invertir en educación es crucial para construir un futuro más equitativo y sostenible, lo cual se traduce, en definitiva, en un aumento del IDH.



9. LÍNEAS DE TRABAJOS FUTUROS

Un estudio sobre la correlación entre energía y desarrollo puede abrir diversas líneas de trabajo futuro, enfocándose en aspectos específicos que profundicen y amplíen el entendimiento de esta relación. Estas nuevas líneas de trabajo pueden proporcionar una comprensión más detallada y matizada de cómo la energía y el desarrollo están interrelacionados. Algunas posibles líneas de investigación incluyen:

- Ampliar este mismo análisis teniendo en cuenta años más recientes, a partir de 2020. Esto podría ser interesante ya que este nuevo estudio podría dar lugar a resultados inesperados debido al comportamiento de los países después y durante el pasado covid 19.
- Ampliar la muestra de países del estudio. Esto podría ayudar a corroborar conclusiones o afirmaciones ya existentes con mayor solidez. No solo ampliar el número de países implicados, si no realizar el estudio incluyendo peso por población.
- Investigar cómo las mejoras en eficiencia energética influyen en el desarrollo económico y social y analizar la relación entre políticas de eficiencia energética y la reducción de la pobreza.
- Explorar el papel de la innovación tecnológica en la mejora del acceso a la energía y su correlación con el desarrollo humano. En esta línea, investigar cómo las nuevas tecnologías energéticas pueden ser implementadas de manera efectiva en países en desarrollo.
- Analizar los efectos socioeconómicos de la transición hacia fuentes de energía limpias y sostenibles y evaluar cómo la transición energética afecta el empleo, educación y salud en distintos países o regiones.
- Investigar el impacto de las inversiones en infraestructura energética en el desarrollo económico y social y analizar casos de éxito y desafíos en la implementación de proyectos de infraestructura energética en países en desarrollo.





10. BIBLIOGRAFÍA

- Akizu-Gardoki, O., Bueno, G., Wiedmann, T., Lopez-Guede, J. M., Arto, I., Hernandez, P., & Moran, D. (2018). Decoupling between human development and energy consumption within footprint accounts. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 202, pp. 1145–1157). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.235>
- Alimonti, G. (2018). Our energy future starts from actual energy limits. *EPJ Web of Conferences*, 189. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201818900003>
- Arto, I., Capellán-Pérez, I., Lago, R., Bueno, G., & Bermejo, R. (2016). The energy requirements of a developed world. *Energy for Sustainable Development*, 33, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001>
- Azam, A., Rafiq, M., Shafique, M., & Yuan, J. (2023). Interpreting the Dynamic Nexus between Green Energy, Employment, Fossil Fuel Energy, and Human Development Index: A Panel Data Investigation. *Energies*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/en16073132>
- Balsamo, M., Montagnaro, F., & Anthony, E. J. (2023). Socio-economic parameters affect CO2 emissions and energy consumption – An analysis over the United Nations Countries. In *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* (Vol. 40). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100740>
- Batten, F., Budinger, W., Koningstein, R., Rothrock, R., & Crary, J. (n.d.). *A B O U T*.
- Bithas, K., & Kalimeris, P. (n.d.). *SPRINGER BRIEFS IN ECONOMICS Revisiting the Energy-Development Link Evidence from the 20th Century for Knowledge-based and Developing Economies*. <http://www.springer.com/series/8876>
- Corral, A. (2020, 28 marzo). Consumir más energía no aumenta demasiado la esperanza de vida humana. *elconfidencial.com*. https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2020-03-28/consumo-energia-esperanza-vida-emisiones-salud_2521272/
- Curve Fitting Toolbox™ User's Guide R2023b*. (2001). www.mathworks.com
- De Estadística, D. A. N. (s. f.). *Cuenta Satélite Ambiental (CSA)*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-ambiental-csa>
- Dias, R. A., Mattos, C. R., & Balestieri, J. A. P. (2006). The limits of human development and the use of energy and natural resources. *Energy Policy*, 34(9), 1026–1031. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.09.008>
- efENERGIA. (2023, 12 octubre). *¿Qué es la energía? Unidades de medida, tipos y fuentes*. <https://www.efenergia.com/energia/>
- Energy and Social issues UNDP cap 2*. (n.d.).



- Faes, I. (2021, 22 noviembre). El alza de los precios de la energía restará 1,3 puntos al PIB este año. *elEconomista.es*. <https://www.eleconomista.es/economia/noticias/11486580/11/21/El-alza-de-los-precios-de-la-energia-restara-13-puntos-al-PIB-este-ano.html>
- Fernández, J. (2003). Energía de la biomasa. *Energías renovables para el desarrollo. Thomson-Paraninfo*, 2-20.
- Fostering Effective Energy Transition 2023 Edition*. (2023).
- González-Eguino, M. (2015). Energy poverty: An overview. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 47, pp. 377–385). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013>
- Gunnarsdottir, I., Davidsdottir, B., Worrell, E., & Sigurgeirsdottir, S. (2020). Review of indicators for sustainable energy development. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 133). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110294>
- Hubbert, M. K. (1981). The world's evolving energy system. *American Journal of Physics*, 49(11), 1007–1029. <https://doi.org/10.1119/1.12656>
- HUMAN DEVELOPMENT REPORT: breaking the gridlock - reimagining cooperation in a polarized world*. (2024). BERNAN PRESS.
- Iddrisu, I., & Bhattacharyya, S. C. (2015). Sustainable Energy Development Index: A multi-dimensional indicator for measuring sustainable energy development. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 50, pp. 513–530). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.032>
- Kaewnern, H., Wangkumharn, S., Deeyaonarn, W., Yousaf, A. U., & Kongbuamai, N. (2023). Investigating the role of research development and renewable energy on human development: An insight from the top ten human development index countries. *Energy*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125540>
- Khan, M. Z. (2022, 21 enero). Govt revises up FY21 growth rate to 5.4pc, GDP to \$347bn. *DAWN.COM*. <https://www.dawn.com/news/1670673>
- La energía*. (s. f.). Endesa. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>
- Pham, A., Li, C., & Bui, Q. (2024). Assessing the heterogeneous impacts of energy consumption on human development of G7 by employing advanced quantile panel data estimation. *Gondwana Research*, 127, 211–225. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.08.001>
- Portal Institucional e Información sobre la Actividad Parlamentaria y Legislativa del Estado Peruano*. (s. f.). <https://www.congreso.gob.pe/>
- ¿Qué es la biomasa? Definición, ventajas y tipos | Repsol. (2024, 14 junio). REPSOL. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biomasa/index.cshtml>



- Ray, S., Ghosh, B., Bardhan, S., & Bhattacharyya, B. (2016). Studies on the impact of energy quality on human development index. *Renewable Energy*, 92, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.061>
- Redacción, G. (2023, 22 marzo). *Aumento récord de energías renovables, según las Estadísticas de Capacidad Renovable de Irena SMARTGRIDSINFO*. <https://www.smartgridsinfo.es/2023/03/23/aumento-record-energias-renovables-segun-estadisticas-capacidad-renovable-irena>
- Renewables - *Energy System* - IEA. (s. f.). IEA. <https://www.iea.org/energy-system/renewables#tracking>
- Syvitski, J., Waters, C. N., Day, J., Milliman, J. D., Summerhayes, C., Steffen, W., Zalasiewicz, J., Cearreta, A., Gajuszka, A., Hajdas, I., Head, M. J., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Poirier, C., Rose, N. L., Shotyk, W., Wagnreich, M., & Williams, M. (2020). Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch. In *Communications Earth and Environment* (Vol. 1, Issue 1). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00029-y>
- United Nations. (s. f.). *¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- World Bank Open Data. (s. f.). World Bank Open Data. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=1985&kipRedirection=true&start=1985&type=shaded&view=map&year=2014>
- Wu, Q., Maslyuk, S., & Clulow, V. (2010). *Energy Consumption Transition and Human Development*.
- Xu, Y., & Zhao, F. (2023). Impact of energy depletion, human development, and income distribution on natural resource sustainability. *Resources Policy*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103531>
- Yumashev, A., Ślusarczyk, B., Kondrashev, S., & Mikhaylov, A. (2020). Global indicators of sustainable development: Evaluation of the influence of the human development index on consumption and quality of energy. *Energies*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/en13112768>