



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Influencia de la eficiencia energética, las energías renovables y las condiciones socioeconómicas en previsiones futuras de las emisiones de CO₂

Influence of energy efficiency, renewable energies and socioeconomic conditions on future forecasts of CO₂ emissions

Autor

Mario Dieste Ballarín

Director

Luis Miguel Romeo Giménez

Grado de Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Curso 2021-2022

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. CAMBIO CLIMÁTICO Y EMISIONES DE CO ₂	3
1.1 Los escenarios RCP	4
1.1.1 Escenarios SRES.....	4
1.1.2 Escenarios RCP del AR5.....	5
1.2 Acuerdos internacionales sobre el cambio climático.....	6
1.2.1 Protocolo de Kioto	6
1.2.2 Acuerdo de París	6
1.3 Objetivo del trabajo.....	7
2. IDENTIDAD DE KAYA.....	8
2.1 Análisis de factores de la Identidad de Kaya	9
3. FACTORES DE LA IDENTIDAD DE KAYA POR REGIONES	12
4. VALIDACIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO ₂	18
5. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS FUTUROS	21
5.1 ESCENARIO 1. EMISIONES DE CO ₂ SEGÚN FUENTES DE ENERGÍA DEL IEA	22
5.2 ESCENARIO 2. PIB PER CÁPITA E INTENSIDAD ENERGÉTICA PARA CUMPLIR LOS OBJETIVOS DEL IEA	25
5.3 ESCENARIO 3. CRECIMIENTO CONTROLADO DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y DEL PIB PER CÁPITA	28
5.3.1 Escenario 3.1	28
5.3.2 Escenario 3.2.....	31
5.4 ESCENARIO 4. FACTORES DE LA IDENTIDAD DE KAYA PARA EL CUMPLIMIENTO DEL ACUERDO DE PARÍS	32
6. CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	39

RESUMEN

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, por ejemplo, a través de las variaciones del ciclo solar o provocados por las actividades humanas. Desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, principalmente provocado por la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.

La quema de combustibles fósiles genera gases de efecto invernadero, como el CO₂ o el metano, provocando un calentamiento global y variaciones en el clima que de manera natural no se producirían. Las consecuencias del cambio climático no son solamente un calentamiento global, sino que incluyen sequías intensas, escasez de agua, incendios graves, aumento del nivel del mar, inundaciones, tormentas catastróficas y disminución de la biodiversidad.

Ante el futuro que se presenta y las consecuencias a nivel global del cambio climático, hay tres categorías de acción: reducir las emisiones, adaptarse a los impactos climáticos y financiar los ajustes necesarios.

La realización de este trabajo consiste en el estudio y el análisis de factores que influyen en las emisiones de CO₂. Los factores influyentes en las emisiones de CO₂ que se van a estudiar y analizar en el trabajo son los factores socioeconómicos, como la población y el producto interior bruto (PIB), la eficiencia energética y el uso de energías renovables. Se realizarán distintos escenarios de estos factores influyentes para calcular las emisiones totales y analizar la viabilidad de los escenarios según los resultados obtenidos. El estudio se realiza tanto a nivel global como por países y regiones, realizándose estimaciones en cada una de las variables influyentes.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se va a utilizar la Identidad de Kaya, que nos relaciona la eficiencia energética, la intensidad de carbono y las condiciones socioeconómicas, como la población y el PIB.

Con los resultados obtenidos de los distintos escenarios propuestos, se llega a la conclusión de la importancia de un crecimiento socioeconómico menor con respecto al de las últimas décadas, el progreso de tecnologías más eficientes y la utilización de fuentes de energía renovables para lograr los objetivos medioambientales propuestos por organizaciones gubernamentales, como el Acuerdo de París, cuyo objetivo es limitar el calentamiento mundial por debajo de los 2°C. Para cumplir el objetivo de emisiones de CO₂ de este escenario, en el que hay una limitación de temperatura fijada por el Acuerdo de París, se observa la importancia de realizar cambios tecnológicos, socioeconómicos y energéticos importantes para mejorar la situación medioambiental actual.

1. CAMBIO CLIMÁTICO Y EMISIONES DE CO₂

Según el último informe del *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)*, los científicos están observando cambios en el clima de la Tierra en todas las regiones y en el sistema climático en su conjunto. Muchos de los cambios observados en el clima no tienen precedentes en miles, sino en cientos de miles de años, y algunos de los cambios que ya se están produciendo, como el aumento continuo del nivel del mar, no se podrán revertir hasta dentro de varios siglos o milenios.

Sin embargo, reducciones significativas y sostenidas en las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero permitirán limitar el cambio climático. Si bien las mejoras en la calidad del aire serán rápidas, puede tomar de 20 a 30 años hasta que las temperaturas globales se estabilicen, según el *Informe del Grupo Trabajo I del IPCC*.

En el informe se ofrecen nuevas estimaciones sobre las probabilidades de sobrepasar el nivel de calentamiento global de 1,5 °C en las próximas décadas, y se concluye que, a menos que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, limitar el calentamiento a cerca de 1,5 °C o incluso a 2 °C será un objetivo inalcanzable.

Según este informe, las emisiones de efecto invernadero cuyo origen son la actividad humana, son las responsables de un calentamiento de 1,1 °C aproximadamente desde 1850-1900. Se estima que la temperatura mundial promediada durante los próximos 20 años alcanzará e incluso superará un calentamiento de 1,5 °C.

Todas las regiones del planeta van a enfrentarse y se están enfrentando a cambios debido al cambio climático, sin embargo, como muchas de las características del cambio climático dependen directamente del nivel de calentamiento global, a menudo lo que experimentan las personas es muy distinto de ese promedio mundial. Por ejemplo, el calentamiento en la superficie terrestre es superior al promedio mundial y, particularmente en el Ártico, el calentamiento es más del doble.

Las proyecciones indican que en las próximas décadas los cambios climáticos aumentarán en todas las regiones. Según el informe del *IPCC*, con un calentamiento global de 1,5 °C, se producirá un aumento de las olas de calor, se alargarán las estaciones cálidas y se acortarán las estaciones frías; mientras que con un calentamiento global de 2 °C los episodios de calor extremo alcanzarían con mayor frecuencia umbrales de tolerancia críticos para la agricultura y la salud. Sin embargo, no es cuestión únicamente de la temperatura. Como consecuencia del cambio climático, las diferentes regiones experimentan distintos cambios, que se intensificarán si aumenta el calentamiento; en particular, cambios en la humedad y la sequedad, los vientos, la nieve y el hielo, las zonas costeras y los océanos.

Las acciones humanas pueden determinar el curso futuro del clima. Hay evidencias de que el CO₂ es el principal causante del cambio climático, aunque también otros gases de efecto

invernadero y contaminantes también afectan al clima. Si se quiere conseguir una estabilización del clima, es necesario reducir de forma sustancial, sostenida y rápida las emisiones de efecto invernadero, para poder lograr cero emisiones netas de CO₂. La limitación de otros gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, especialmente el metano, sería beneficioso para la salud y el clima.

Hoy en día, se están intentando aportar soluciones al cambio climático, que podrían aportar beneficios económicos al tiempo que mejoran nuestra calidad de vida y protegen el medio ambiente. Se cuenta con marcos y acuerdos globales, como el *Acuerdo de París*, para guiar este progreso en el que se prioriza la reducción de emisiones, la adaptación a los cambios climáticos y la financiación de los ajustes necesarios.

Con la realización de este trabajo, el objetivo es realizar un estudio de las emisiones de CO₂ en distintos escenarios futuros, valorando la influencia de la eficiencia energética, el uso de las energías renovables y factores socioeconómicos, como la población y el producto interior bruto (PIB) en las emisiones de CO₂. La influencia de estos factores en las emisiones de CO₂ viene dada por la Identidad de Kaya, la cuál será explicada en detalle más adelante.

1.1 Los escenarios RCP

La organización internacional *IPCC* (7) publica informes de evaluación científica relacionados con la actividad humana y su impacto en el cambio climático. En estos informes se valora el impacto del ser humano y las posibles opciones de adaptación y mitigación. Se van a comentar los escenarios *SRES*, presentados en el *Cuarto Informe Especial del IPCC*, y los escenarios *RCP* del *Quinto Informe de Evaluación del IPCC*.

1.1.1 Escenarios SRES

En el *Cuarto Informe de Evaluación del IPC* (8), llamado AR4, se presentaron los escenarios *SRES* (*Social Report on Emissions Scenarios*). Los escenarios fueron divididos en cuatro familias: A1, A2, B1 Y B2. Estas familias incorporaban alternativas de desarrollo según distintos agentes demográficos, socioeconómicos y tecnológicos.

La relación del incremento de temperatura en el siglo XXI respecto a los niveles de la era preindustrial y las concentraciones de CO₂ en la atmosfera era el principal de estos escenarios.

Uno de los principales problemas de estos escenarios fue que las concentraciones de CO₂ en la atmosfera nos son controlables de una forma directa por los países a partir de sus emisiones, debido a que dependen tanto del sistema climático como del ciclo de carbono. Por tanto, con los escenarios propuestos no se conseguía aportar a los países de las herramientas suficientes para que estos estableciesen objetivos de mitigación con el fin de lograr la limitación del incremento de la temperatura a nivel global de la superficie terrestre.

1.1.2 Escenarios RCP del AR5

En el *Quinto Informe de Evaluación del IPCC (9)*, llamado AR5, se presentaron los nuevos escenarios de emisiones y concentraciones de los gases de efecto invernadero (10). Se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión, las denominadas *Trayectorias de Concentración Representativas (RCP)*, de sus siglas en inglés). La palabra representativa significa que cada trayectoria de representación ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. La palabra trayectoria hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión. Se presentaron cinco nuevos escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y el RCP8.5. El nombre de estos escenarios viene dado por el posible rango de valores de forzamiento radiativo que se alcance en 2100 y para cada escenario se le asocia un nivel de concentración de CO₂ en la atmósfera y una cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, entre ellos CO₂, que es el que me interesa para la realización de mi estudio.

Estos cuatro escenarios RCP, se están utilizando en la actualidad para la realización de modelos climáticos planificados como parte del *Quinto Proyecto de Intercomparación de Modelos Combinados (CMIP5)* del *Programa Mundial de Investigación Climática (11)*.

La gran novedad que incluyen estos escenarios son las emisiones acumuladas de CO₂. Los escenarios RCP relacionan de forma directa la cantidad de emisiones acumuladas de CO₂ en la atmósfera con su respectivo incremento de temperatura.

Para el estudio de este trabajo, lo más interesante de estos escenarios RCP van a ser las emisiones netas de CO₂ emitidas a la atmósfera en cada escenario. En la *Figura 1* se pueden observar la cantidad de escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo, y para cada escenario, los niveles de emisiones de CO₂ hasta el año 2100.

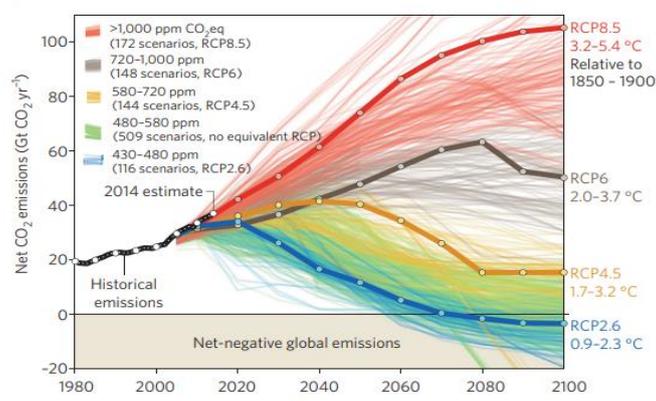


Figura 1. Emisiones de CO₂ a nivel mundial según los distintos escenarios RCP. Fuente: (12)

1.2 Acuerdos internacionales sobre el cambio climático

En los últimos años, debido a los problemas medioambientales, se han realizado distintos acuerdos entre las mayores organizaciones políticas del mundo para buscar soluciones a los principales problemas medioambientales. Hay dos que destacan por encima del resto, el Protocolo de Kioto en el año 1997 y el Acuerdo de París en 2015. La reducción de gases de efecto invernadero, como el metano o el CO₂ y la limitación del calentamiento global, son los dos objetivos principales de ambos acuerdos.

1.2.1 Protocolo de Kioto

El *Protocolo de Kioto* (13) fue aprobado el 11 de diciembre de 1997, aunque no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. Actualmente hay 192 partes en el Protocolo de Kioto.

Pone en funcionamiento la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, comprometiendo a los países a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los países deben adoptar nuevas políticas y medidas de mitigación e informar de los resultados obtenidos de forma periódica.

El Protocolo de Kioto solamente vincula a los países más desarrollados y les exige una mayor responsabilidad, debido a que se les reconoce como los principales responsables de los altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero.

En el Anexo B, del Protocolo de Kioto, se establece como objetivo la reducción de las emisiones un 5% en el primer periodo del compromiso (2008-2012) en comparación a las emisiones de 1990 para 36 países industrializados y la Unión Europea. En la Enmienda de Doha, se aprobó un segundo periodo del compromiso (2013-2020), en el que se establecía como objetivo la reducción de emisiones un 18% respecto al año 1990.

El objetivo del Protocolo de Kioto es la reducción de las emisiones en los países más desarrollados, ya que tendrán mayor poder económico para invertir en energías menos contaminantes para mantener y reducir los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero. El uso de sistemas más nuevos y limpios en vez del uso de tecnología más antigua presenta beneficios medioambientales a largo plazo y también económicos.

1.2.2 Acuerdo de París

Es un tratado internacional sobre el cambio climático que fue adoptado el 12 de diciembre de 2015, por 196 partes en la COP21 en París (14). Este tratado entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. El objetivo del Acuerdo de París es limitar el calentamiento mundial por debajo de 2°C, preferiblemente a 1,5°C, comparado con los niveles preindustriales.

Para lograr este objetivo, la propuesta de los países es alcanzar lo antes posible el máximo de emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de lograr un planeta con clima neutro para mediados del siglo XXI.

Con el Acuerdo de París se ha conseguido un acuerdo vinculante entre todos los países por primera vez, uniéndose por una causa común para combatir el cambio climático y poder adaptarse a sus efectos.

El Acuerdo de París proporciona a los países con menos recursos y más necesitados, un apoyo financiero por parte de los países más desarrollados financieramente, apoyo tecnológico y un fomento de la capacidad, pidiendo a los países más desarrollados que aumenten el apoyo en las medidas de fomento de la capacidad para países menos desarrollados.

Desde la entrada en vigor del Acuerdo de París, se están obteniendo buenos resultados, dando cabida a soluciones con bajas emisiones de carbono y nuevos mercados. Cada vez más países están estableciendo objetivos de neutralidad de carbono. En el mercado, las soluciones de cero emisiones son cada vez más competitivas, véase por ejemplo en los sectores de la energía y del transporte. Para el 2030, las soluciones de cero emisiones de carbono podrían llegar a ser competitivas en los sectores que sus emisiones representan el 70% de las emisiones a nivel mundial.

1.3 Objetivo del trabajo

Una vez conocido el problema medioambiental en el que se encuentra el planeta debido al cambio climático y los objetivos a medio y largo plazo estipulados en los acuerdos internacionales, el objetivo del trabajo va a ser realizar una serie de escenarios futuros, desde el año 2020 hasta el año 2100. En estos escenarios se estudiarán los factores que influyen en las emisiones de CO₂ a la atmósfera y las distintas posibilidades de mejoras de estos para lograr escenarios futuros más sostenibles. Estos factores se van a relacionar entre sí y con las emisiones de CO₂ mediante la Identidad de Kaya.

La recopilación de datos históricos y de estimaciones futuras, de fuentes de información correctas, de los factores influyentes en las emisiones de CO₂ será fundamental para la realización de los escenarios.

2. IDENTIDAD DE KAYA

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ del trabajo se va utilizar la Identidad de Kaya, la cual nos indica la influencia de la población, el PIB y la energía en las emisiones de CO₂.

La Identidad de Kaya fue desarrollada por el economista de origen japonés Yoichi Kaya en el año 1997 en su libro *Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability* (1).

Es una expresión matemática utilizada para describir la relación entre los factores que influyen en las tendencias relacionadas con la energía y las emisiones de CO₂ que se emiten a la atmósfera.

Las emisiones de CO₂ y la energía están relacionadas con distintos factores, como la población, la economía, la tecnología, las políticas energéticas, los recursos o las políticas públicas. Esta fórmula es un reflejo socioeconómico y energético del área sobre el que se aplica esta.

Describe la relación entre cuatro factores que determinan el impacto humano en el clima en forma de emisiones de CO₂.

$$CO_2 = Población * \frac{PIB}{Población} * \frac{Energía}{PIB} * \frac{CO_2}{Energía}$$

Donde:

- CO₂: cantidad de CO₂ que se emite a la atmósfera en un lugar y tiempo determinado.
- Energía: consumo de energía primaria.
- PIB: producto interior bruto de un lugar en concreto.
- Población: número de habitantes residentes del área.

Unidades de los factores de la Identidad de Kaya en el estudio:

Factor de la Identidad de Kaya	Unidad de medida
Emisiones de CO ₂	Gigatoneladas, Gt
Población	Millones de habitantes
PIB	Miles de millones de US\$
Consumo de energía	Exajulios, EJ

Otra forma de expresar la Identidad de Kaya es con los cocientes entre estas variables:

$$CO_2 = Población * g * IE * IC$$

Donde:

- g: PIB per cápita, es el nivel de actividad económica, es decir el producto interior bruto por persona residente en el área.
- IE: intensidad energética, expresada por el cociente entre energía utilizada y el PIB del área.

- IC: intensidad de carbono, expresada por el cociente entre las emisiones de CO₂ totales y la energía usada en el área.

La Identidad de Kaya nos permite relacionar estos cuatro factores en una ecuación y los datos de esta deben ser los correctos. La importancia de un estudio previo de estos factores, obteniendo información de las fuentes adecuadas para cada factor, va a permitir utilizar la Identidad de Kaya de la forma más apropiada. La Identidad de Kaya se va a utilizar en este estudio para ver la evolución de las emisiones de CO₂ y de los factores que influyen en estas. El objetivo es simular unos escenarios futuros en los que hay variaciones en los cuatro factores de la Identidad de Kaya. Antes de aplicar esta ecuación hay que realizar un estudio de la evolución de estos factores y de las emisiones de CO₂ a lo largo del tiempo.

2.1 Análisis de factores de la Identidad de Kaya

Como bien se ha explicado anteriormente, en la Identidad de Kaya se relacionan cuatro factores: población, PIB, consumo energético y emisiones de CO₂. A continuación, se van a detallar las estimaciones de estos cuatro factores para el periodo de mi estudio, que será del 2020 al 2100.

- **POBLACIÓN:**

La población es un factor muy importante, porque un mayor número de personas requiere una demanda de energía mayor, lo que provoca mayor número de emisiones. La tendencia es creciente, lo que resulta un inconveniente a la hora de reducir las emisiones de CO₂.

El aumento de la población es un factor inevitable con el paso del tiempo, tanto a nivel mundial como por regiones o países. El aumento de esta conlleva una necesidad mayor de gasto energético para satisfacer las necesidades. Tanto la estimación de la *ONU* (3) como la de *IHME* (4) muestran este aumento de población en el año 2100. Ambas estimaciones se basan en la variante media de la proyección de fecundidad, que contempla un descenso de la fecundidad en los países donde aún predominan las familias numerosas, un ligero aumento en países en los que la media de fecundidad es inferior a dos hijos por mujer y también se prevé que mejoren las posibilidades de supervivencia en todos los países.

- **PIB Y PIB PER CÁPITA:**

La renta per cápita es un indicador de la producción económica del área estudiada. A mayor renta per cápita se entiende un mayor consumo energético, por tanto, un mayor número de emisiones. El aumento del PIB a nivel mundial es consecuencia de un crecimiento económico. Según "*Organisation for Economic Co-operation and Development*" (5), el PIB a nivel mundial se triplicaría con respecto al valor del año 2020. La tendencia del PIB proporcionada por esta el *OECD*, incluye las proyecciones de referencia a largo plazo, hasta 2060, a partir de ese año yo he estimado un crecimiento con la misma línea de tendencia hasta el año 2100. Este pronóstico del *OECD* se basa en una evaluación del clima económico en países y en la economía mundial. La utilización de

esta fuente de información ha sido la estimación a largo plazo que han realizado, ya que otra fuente, como la *Comisión Europea* (23), tan solo mostraba estimaciones hasta el año 2023, por lo que la estimación de *OECD* (5) es más adecuada para el estudio.

- **ENERGÍA PRIMARIA E INTENSIDAD ENERGÉTICA:**

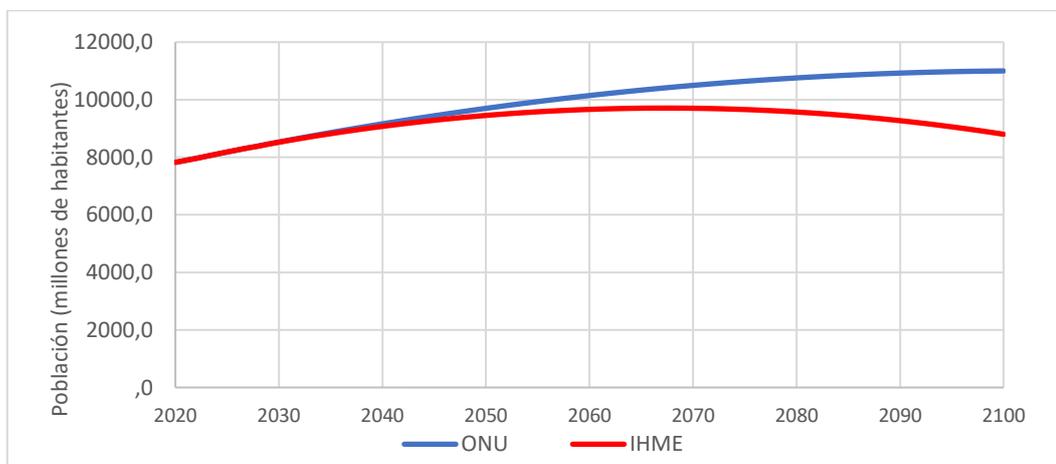
La intensidad energética es un indicador de eficiencia energética. Las nuevas tecnologías permiten mejorar la eficiencia, produciendo el mismo trabajo, pero con un consumo menor. El aumento de energía primaria es evidente en los últimos años, tal como indica el *“Statistical Review of World Energy”* (6) de la compañía BP. La empresa BP, elabora un informe anual en el que se detallan el consumo energético de los últimos años, incluso divide estos datos por países y regiones. Además, en este informe también hay tablas con los valores del consumo energético per cápita y consumo energético según el combustible utilizado, datos de las emisiones de CO₂, utilización de distintas fuentes de energía, etc.

Para el estudio, se ha elaborado una estimación para el periodo 2020-2100, siguiendo la línea de tendencia proporcionada por los datos del informe para el periodo 2010-2020.

- **EMISIONES DE CO₂ E INTENSIDAD DE CARBONO:**

La intensidad de carbono refleja el vector energético de un lugar determinado. Conforme se van desarrollando e implantando energías renovables o alternativas que mejoran la eficiencia, este factor disminuye. Por lo tanto, a menor intensidad de carbono hay menos emisiones en la producción o consumo de energía. Según los datos proporcionados por el IEA (2) del periodo 1990-2020, he estimado las emisiones de CO₂ hasta el año 2100 si se sigue la misma tendencia de los últimos años. También se ha calculado las emisiones de CO₂ mediante la Identidad de Kaya.

A continuación, se muestra la evolución de los factores de la Identidad de Kaya a lo largo del periodo 2020-2100. En la gráfica correspondiente a la evolución de las emisiones de CO₂, se compara la estimación que he calculado siguiendo la tendencia de los datos ofrecidos por el IEA y las emisiones de CO₂ calculadas mediante la Identidad de Kaya.



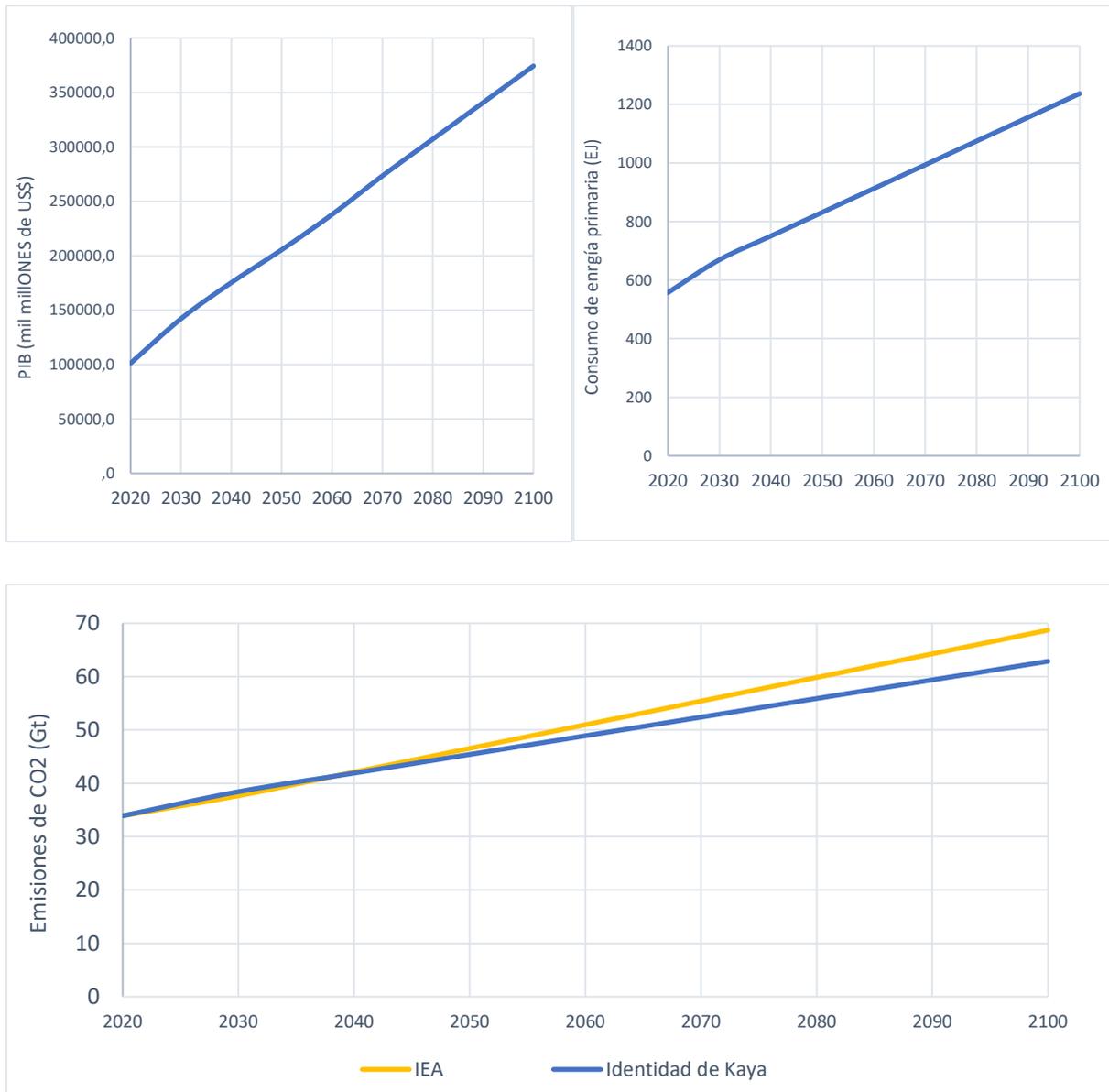


Figura 2. Evolución de los factores de la Identidad de Kaya. Fuente: propia.

Como se puede observar en la Figura 2 de la población, del PIB y del consumo energético, la tendencia con el paso de los años es a aumentar con respecto a los valores actuales. Este incremento de los tres factores se ve reflejado en el crecimiento de las emisiones de CO₂. Para el cálculo de emisiones de CO₂ mediante la Identidad de Kaya se ha utilizado la estimación de la ONU para la población. Los valores de la estimación de la IEA y de la estimación realizada con la Identidad de Kaya, difieren en un 5,8% para el año 2060 y en un 7,4% para el año 2100.

El consumo de energía primaria de la selección de países corresponde al 81,30% del total a nivel mundial en el año 2020, lo que nos indica que las modificaciones que haga en estos países, en los escenarios futuros que vaya a plantear, tendrán un gran impacto a escala global.

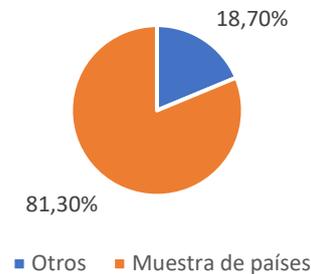


Figura 4. Porcentaje de consumo energético de los países de la muestra. Fuente: propia

Se ha realizado un estudio desde el año 2020 hasta el 2100, con distintas proyecciones tanto de la población, del PIB, de las emisiones de CO₂ como del consumo de energía primaria en cada uno de los distintos países.

La mayoría de los datos se han obtenido de proyecciones realizadas por compañías o expertos en cada uno de estos factores, y para los países que no había proyecciones, se ha realizado una estimación, siguiendo la línea de tendencia de los años anteriores. Para alguna estimación se ha obviado el año 2020, afectado por la COVID-19 y que mostraba valores que no estaban en concordancia con la tendencia de los años anteriores.

- Número de habitantes: según *Population Pyramid* (15), la población de mi muestra de países sería la suma de la población de cada país para cada año. Otras dos estimaciones para el número de habitantes serían teniendo en cuenta las estimaciones de la *ONU* y de *IHME*. Para el estudio del número de habitantes de mi muestra hay que calcular el porcentaje de habitantes de la muestra con respecto del global en el año 2020, y a partir de ahí, calcular la población de la muestra para el escenario de la *ONU* (3) y del *IHME* (4). El 81,30% de la población mundial, pertenece a los países del estudio. Los datos están en millones de habitantes.

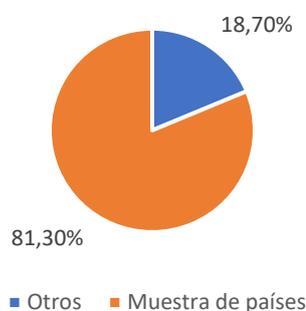


Figura 5. Porcentaje de la población de la muestra en el año 2020. Fuente: propia.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
POBLACIÓN ONU	4953	5400	5800	6140	6422	6645	6810	6916	6963
POBLACIÓN IHME	4953	5395	5743	5984	6117	6142	6059	5869	5570
POBLACIÓN Population Pyramid	4953	5221	5384	5441	5409	5313	5181	5034	4879

- PIB: el PIB de la muestra será el sumatorio de todos los PIB de los países de la muestra, según *Organisation for Economic Co-operation and Development*, OECD (5). Para la estimación del PIB de la muestra de países se ha utilizado los datos proporcionados por OECD, de donde se obtienen los datos hasta el año 2060 para cada país de la muestra. A partir de este año, hasta el 2100, se estiman los valores del PIB según la línea de tendencia.



Figura 6. Porcentaje del PIB de la muestra en el año 2020. Fuente: propia.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
PIB	91.988	130.960	162.300	190.993	221.140	254.978	286.811	318.645	350.479

- Consumo energético: el consumo energético de la muestra será el sumatorio del consumo energético de cada país, según la línea de tendencia de cada país. Se recogen datos de años anteriores, del periodo 2010-2020, proporcionados por BP y con ellos se estiman los valores hasta el año 2100 según la tendencia de este periodo.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Energía primaria (EJ)	452,90	529,38	588,43	647,05	706,32	765,35	824,31	883,29	942,26

- Emisiones de CO₂: la estimación de las emisiones de CO₂ es el sumatorio de la estimación de las emisiones de CO₂ de cada país de la muestra. La estimación se basa en los datos del periodo 1990-2020 del IEA (2).

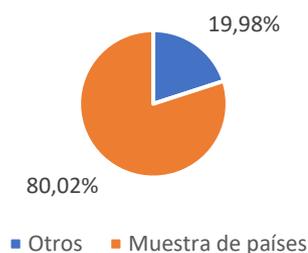


Figura 7. Porcentaje de emisiones de CO₂ de la muestra en el año 2020. Fuente: propia.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Emisiones de CO ₂ (Gt)	27,13	30,89	33,49	36,10	38,72	41,32	43,93	46,53	49,14

A continuación, en las siguientes gráficas se va a presentar la evolución de los factores de la Identidad de Kaya para los países de la muestra sobre la que se realiza el estudio.

En la gráfica correspondiente a la evolución de las emisiones de CO₂, se compara las emisiones según la tendencia y las obtenidas mediante la Identidad de Kaya.

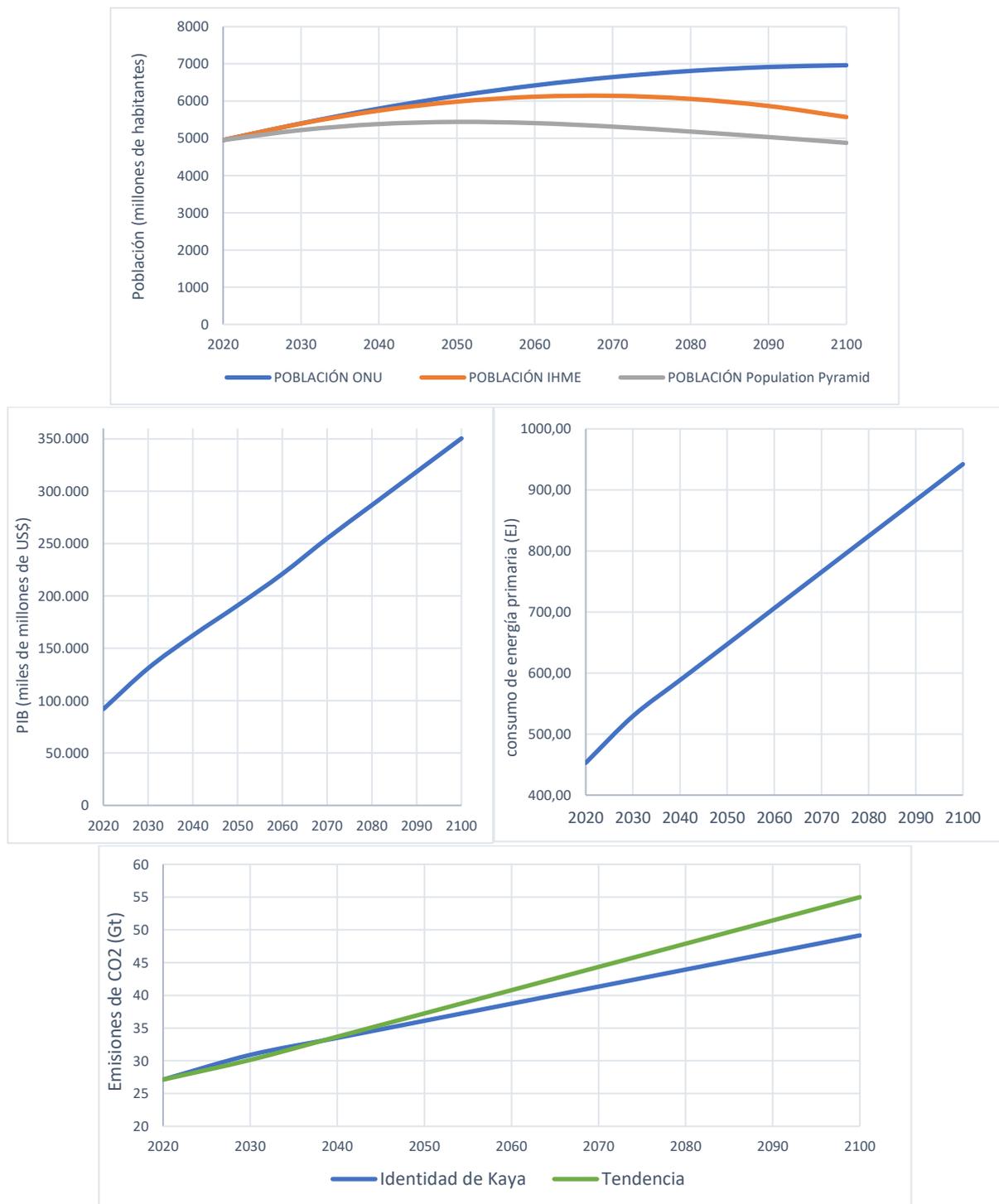


Figura 8. Evolución de los factores de la Identidad de Kaya

En la Figura 8 se puede observar el crecimiento de los factores de la Identidad de Kaya y de las emisiones de CO₂. Las emisiones de CO₂ calculadas mediante la Identidad de Kaya son un 10,9% menos que las estimadas según la tendencia de años anteriores. El crecimiento del PIB y del consumo energético también es significativo, habiendo aumentado el PIB un 390% en el año 2100 con respecto al valor del 2020 y el consumo energético un 210%. El factor de la población, en una de las tres estimaciones (Population Pyramid) sufre un pico máximo de población en el año 2050 y para el año 2100 sufre una leve disminución con respecto al valor del año 2020. Esta disminución es tan solo del 1,49%.

Como bien se ha comentado en la explicación de la Identidad de Kaya, otra forma de expresarla es mediante el uso del cociente entre los factores de la identidad. Estos tres cocientes son el PIB per cápita (g), la intensidad energética (IE) y la intensidad de carbono (IC). Con los datos obtenidos anteriormente, los valores de estos tres cocientes serán los siguientes:

- PIB per cápita: con los datos de la muestra, el PIB per cápita será el siguiente:

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
g (PIB/población)	18,6	25,1	30,1	35,1	40,9	48,0	55,4	63,3	71,8

Unidades: PIB [miles de millones de US\$] y población [millones de habitantes].

- Intensidad energética (IE): los valores obtenidos de la muestra serán los siguientes:

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
IE (Energía primaria/PIB)	0,0049	0,0040	0,0036	0,0034	0,0032	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027

Unidades: energía primaria [EJ] y PIB [miles de millones de US\$].

- Intensidad de carbono (IC): los valores obtenidos de la muestra serán los siguientes:

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
IC (Emisiones CO ₂ /Energía primaria)	0,0599	0,0584	0,0569	0,0558	0,0548	0,0540	0,0533	0,0527	0,0522

Unidades: emisiones de CO₂ [Gt] y energía primaria [EJ].

Una vez obtenidos los datos de los tres cocientes de la Identidad de Kaya, en la Figura 9 se muestra la evolución del PIB per cápita, la intensidad energética y la intensidad de carbono de los valores de la muestra:

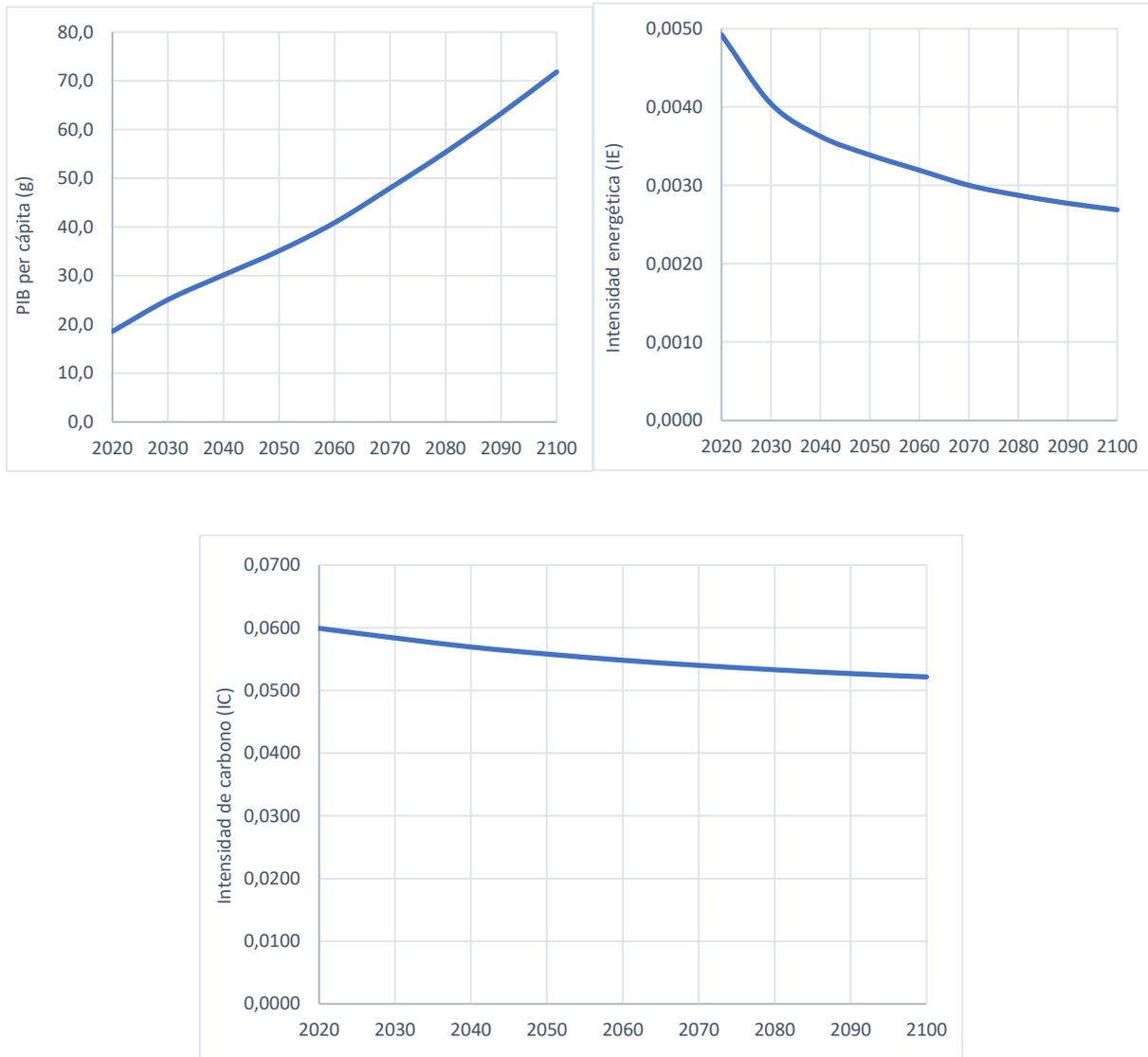


Figura 99. Evolución de g, IE e IC de la muestra. Fuente: propia.

Según los datos del número de habitantes, del PIB, del consumo de energía primaria y de las emisiones de CO₂ de la muestra, en el año 2020, se puede observar que el 63,3% de la población emite el 80,02% del total de emisiones de CO₂, con un 90,89% del PIB total. Esto nos indica que la actividad económica está fuertemente relacionada con las emisiones de CO₂. El porcentaje de consumo de energía primaria de la muestra es del 81,30% con respecto del total, valor muy similar al porcentaje de emisiones de CO₂. Esto nos muestra que el consumo de energía primaria está fuertemente relacionado con las emisiones de CO₂.

4. VALIDACIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO DE EMISIONES DE CO₂

Según los datos y las estimaciones del IEA (*Agencia Internacional de la Energía*) en unos de sus anexos (16), el objetivo es pasar de un 20% de suministro de energía procedente de energías renovables, a un 67% en 2050, reducir el porcentaje de suministro de energía procedente del carbón y del petróleo, y un total de 0 emisiones de CO₂ también para el año 2050.

Los objetivos del IEA para el año 2030 y 2050, respecto al origen del suministro de energía, en tanto por ciento es el siguiente:

	2020	2030	2050
Energías renovables	12	30	67
Biomasa	4	0	0
Nuclear	5	8	11
Gas natural	23	21	3
Gas natural con CCUS	0	2	8
Petróleo	29	25	8
Carbón	26	12	1
Carbón con CCUS	0	1	3

Este escenario parece demasiado ambicioso y difícil de llegar a cumplir, por lo que se ha propuesto dos escenarios alternativos a los propuestos por IEA, también con el objetivo de aumentar el suministro de energía procedente de energías renovables, pero para el año 2100.

El primero, porcentajes objetivo del IEA para el año 2050, en el primer escenario será para el año 2100. El segundo, porcentajes objetivo del IEA para el año 2050, en el segundo escenario será para el año 2080.

Según en el informe del IEA (16), las emisiones de CO₂ procedentes del suministro de energía son un total de 33,9 Gt.

Para validar el modelo, se ha calculado las emisiones de CO₂ de las distintas formas de producir energía.

Tanto las energías renovables como la energía nuclear no producen emisiones de CO₂. El objetivo marcado por el IEA es aumentar el porcentaje de energía suministrada por ambas con respecto al petróleo, gas natural y carbón, las tres más utilizadas en la actualidad a nivel mundial.

- Gas natural:

En la combustión de gas natural se emite CO₂. El cálculo de la unidad de masa de CO₂ emitida por cada unidad de masa de gas natural es el siguiente:



Masa molar (CH₄) = 16 g/mol

Masa molar (CO₂) = 44 g/mol

$$1 \text{ g CH}_4 \times \frac{1 \text{ mol CH}_4}{16 \text{ g CH}_4} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol CH}_4} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 2,75 \text{ g CO}_2$$

$$\text{Factor de emisión} = 2,75 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t CH}_4}$$

- Carbón:

En la combustión de carbón se emite CO₂. Según datos del *Informe Inventarios GEI 1990-2008 (2010)* (17), el factor de emisión es el siguiente:

$$\text{Factor de emisión} = 2,53 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t carbón}}$$

- Petróleo: según el documento del *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico* (18) del gobierno de España, el factor de emisión es el siguiente:

$$\text{Factor de emisión} = 3,017 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t petróleo}}$$

- Biomasa: según el documento del *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico* (18) del gobierno de España, el factor de emisión es el siguiente:

$$\text{Madera, factor de emisión} = 1,617 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t madera}}$$

$$\text{Pellets, factor de emisión} = 2,025 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t pellets}}$$

Para el valor del factor de emisión definitivo, utilizo la media aritmética de estos dos valores:

$$\text{Factor de emisión} = 1,821 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t biomasa}}$$

Según el informe del IEA (16), en el año 2020, la cantidad de emisiones de CO₂ procedentes de suministro de energía primaria y consumo (transporte, industria, uso doméstico...) fue de 33,903 Gt. Según los cálculos realizados teniendo en cuenta el porcentaje de la procedencia de la energía, para el año 2020, el total de emisiones de CO₂ fue de 32,83 Gt.

Para estos cálculos se ha tenido en cuenta el consumo de energía primaria, el poder calorífico inferior (PCI) (19) y el factor de emisión de cada combustible.

Resultados obtenidos, valores de emisiones de CO₂ en Gt:

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Escenario 0.1	32,83	27,43	28,36	28,15	27,27	25,79	23,72	20,88	18,65
Escenario 0.2	32,83	27,43	27,34	25,68	23,14	19,69	16,20	11,92	10,37

En la Figura 10 se puede observar la evolución de las emisiones de CO₂ para ambos escenarios frente a las emisiones según la tendencia de los últimos años. Se puede apreciar un decrecimiento cada vez mayor a medida que pasan los años. Para el Escenario 0.1 se emiten 48,7 Gt menos con respecto a lo estimado para el año 2100. En el supuesto Escenario 0.2, las emisiones emitidas son menos que en el Escenario 0.1, llegándose a emitir 58,3 Gt menos con respecto a lo estimado. La importancia del uso de fuentes de energía renovables para lograr la disminución de emisiones de CO₂ se ve reflejada en los resultados obtenido en la Figura 11.

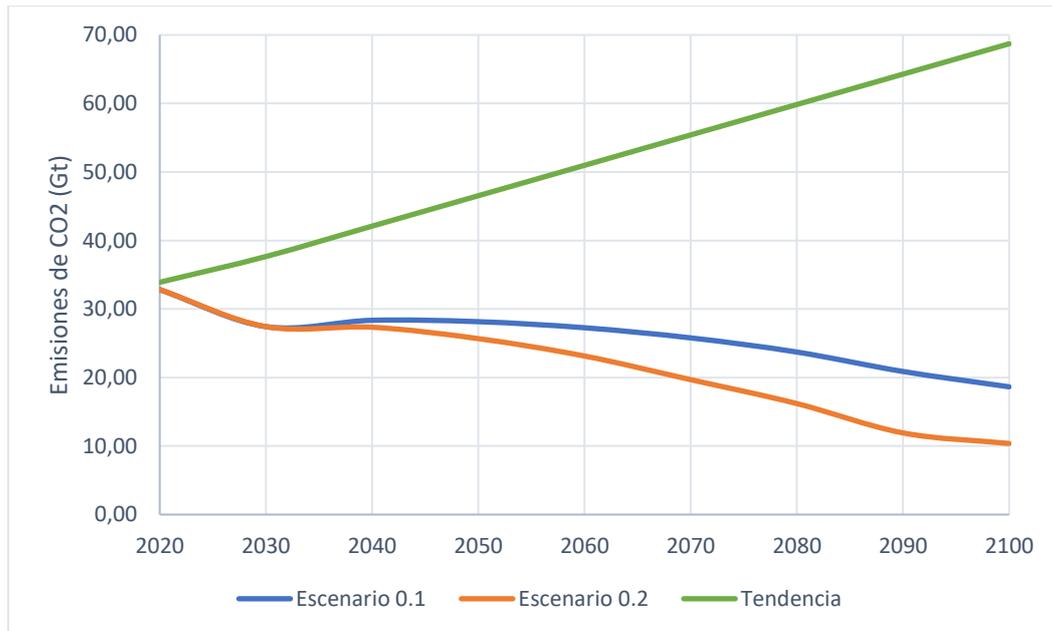


Figura 100. Evolución de las emisiones de CO₂ a nivel mundial según "Escenario 0.1" y "Escenario 0.2". Fuente: propia.

5. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS FUTUROS

Ahora se van a plantear distintos escenarios futuros mediante la variación de los factores de Identidad de Kaya. En la siguiente tabla se explican los objetivos a conseguir en cada escenario, mostrando los factores de la identidad a calcular en el escenario y los que su valor será el estimado, calculado previamente:

Escenario	Objetivo	Factores de I. Kaya fijos	Factores de I. Kaya a calcular
1.1	Emisiones de CO ₂ según los objetivos del IEA para las distintas fuentes de energía (Porcentajes Escenario 0.1)	Consumo energético	Emisiones de CO ₂ e intensidad de carbono
1.2	Emisiones de CO ₂ según los porcentajes objetivo del IEA para las distintas fuentes de energía (Porcentajes Escenario 0.2)		
2.1	PIB per cápita e intensidad energética para alcanzar los resultados obtenidos en el Escenario 1.1 y en el Escenario 1.2	Población ONU, IC de 1.1 y emisiones de CO ₂ de 1.1	PIB per cápita e intensidad energética
2.2		Población ONU, IC de 1.1 y emisiones de CO ₂ de 1.1	
2.3		Población IHME, IC de 1.1 y emisiones de CO ₂ de 1.1	
2.4		Población IHME, IC de 1.1 y emisiones de CO ₂ de 1.1	
3.1	Efecto de un crecimiento más controlado en distintos países del PIB per cápita y de la intensidad energética en las emisiones de CO ₂	Población Population Pyramid e IC de la muestra	PIB per cápita, intensidad energética y emisiones de CO ₂
3.2	Cuánto habría que modificar la intensidad de carbono para lograr una disminución de las emisiones de CO ₂ con respecto al valor del 2020	Población Population Pyramid, IE de 3.1 y g de 3.1	Intensidad de carbono y emisiones de CO ₂
4	Calcular los factores de la Identidad de Kaya para cumplir el objetivo del Acuerdo de París	Emisiones de CO ₂ y población Population Pyramid de la muestra	PIB per cápita, intensidad energética e intensidad de carbono

5.1 ESCENARIO 1. EMISIONES DE CO₂ SEGÚN FUENTES DE ENERGÍA DEL IEA

Una vez validado el modelo, se calcula las emisiones de CO₂, según los parámetros que nos indica el IEA de la procedencia del suministro de energía, para el intervalo de tiempo 2020-2100 y los países elegidos para realizar mi estudio.

Los objetivos del IEA para el año 2030 y 2050, respecto al origen del suministro de energía, en tanto por ciento es el siguiente:

	2020	2030	2050
Energías renovables	12	30	67
Biomasa	4	0	0
Nuclear	5	8	11
Gas natural	23	21	3
Gas natural con CCUS	0	2	8
Petróleo	29	25	8
Carbón	26	12	1
Carbón con CCUS	0	1	3

Hay dos escenarios:

- El primero, el Escenario 1.1, con porcentajes objetivo del IEA para el año 2100.
- El segundo, el Escenario 1.2, con porcentajes objetivo del IEA para el año 2080.

El consumo de energía para este escenario va a ser el consumo de energía de la muestra, anteriormente mostrado.

Los resultados obtenidos, emisiones de CO₂ en Gt, para la muestra de países son los siguientes:

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Escenario 1.1	26,69	21,69	22,23	21,91	21,10	19,86	18,19	15,96	14,20
Escenario 1.2	26,69	21,69	21,44	19,98	17,91	15,16	12,43	9,11	7,90

En la Figura 11 se muestra la evolución de las emisiones de CO₂ calculadas en el Escenario 1.1 y en el Escenario 1.2 con respecto a la estimación de emisiones de CO₂ de la muestra:

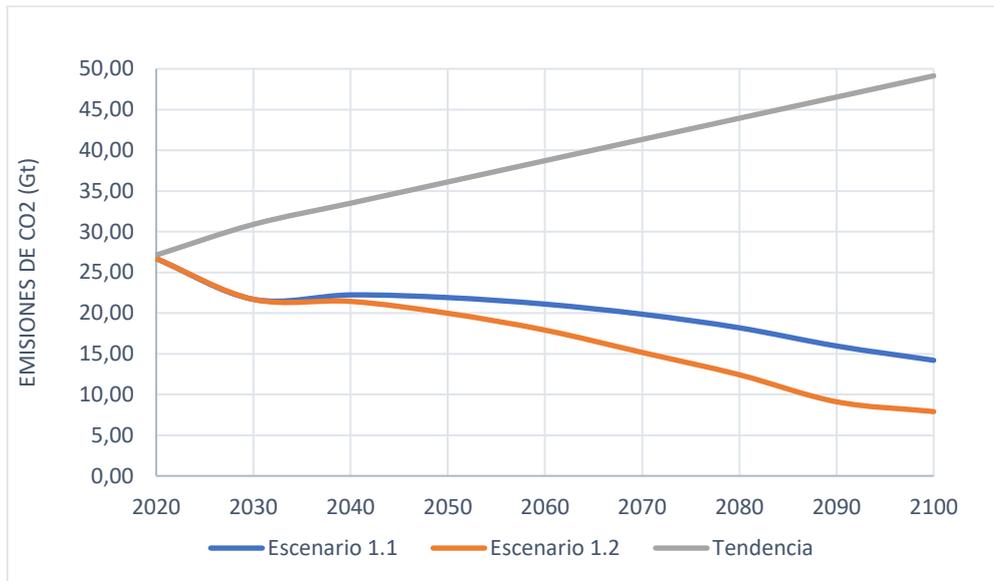


Figura 111. Evolución de las emisiones de CO₂ del "Escenario 1.1" y "Escenario 1.2". Fuente:propia.

Como se puede observar, los objetivos del IEA con respecto al aumento de producción energética de energías renovables y la disminución de utilización de combustibles fósiles, provoca una gran disminución de las emisiones de CO₂ para los dos escenarios propuestos.

Para el año 2100, en el escenario 1.1, las emisiones de CO₂ se verán reducidas un 71,10% con respecto a las emisiones de CO₂ esperadas según la línea de tendencia, y en el escenario 1.2, la reducción será de 83,92%. En la siguiente tabla se puede observar la reducción de emisiones de CO₂ en tanto por ciento del periodo 2030-2100.

	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Escenario 1.1	29,80%	33,63%	39,33%	45,50%	51,94%	58,59%	65,71%	71,10%
Escenario 1.2	29,80%	35,99%	44,66%	53,74%	63,31%	71,72%	80,43%	83,92%

Estos valores de las emisiones de CO₂ van a ser tomados como objetivos a cumplir para algunos escenarios que se van a estudiar, siendo estos, valores fijos, y los que varíen sean los habitantes, el PIB per cápita y la intensidad energética.

Con estos resultados obtenidos ya conocemos la intensidad de carbono (IC) de la muestra:

$$\text{intensidad de carbono (IC)} = \frac{\text{emisiones de CO}_2 \text{ (Gt)}}{\text{consumo de energía primaria (EJ)}}$$

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
IC 1.1	0,0589	0,0410	0,0378	0,0339	0,0299	0,0260	0,0221	0,0181	0,0151
IC 1.2	0,0589	0,0410	0,0364	0,0309	0,0254	0,0198	0,0151	0,0103	0,0084

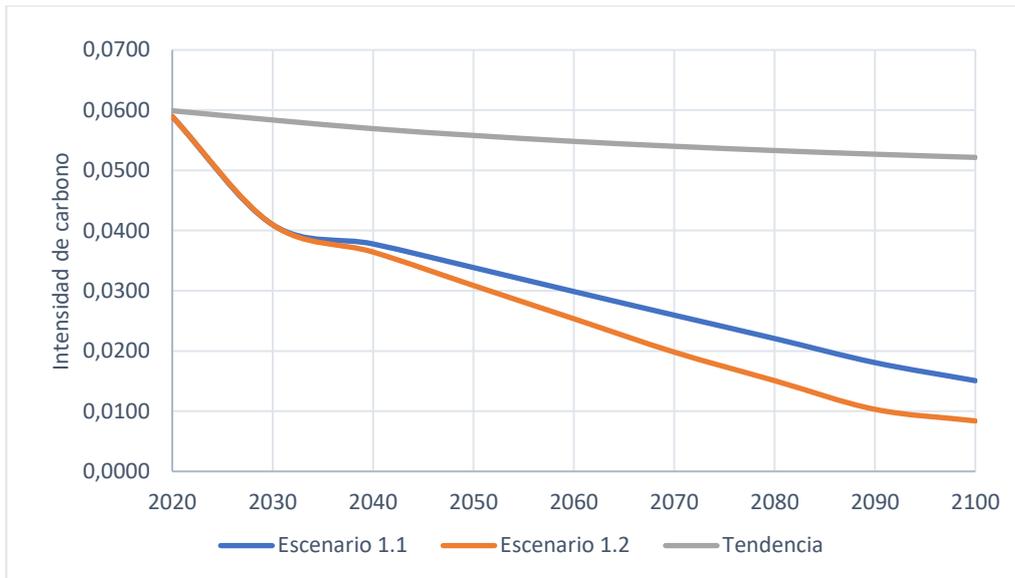


Figura 122. Evolución del IC del "Escenario 1.1" y "Escenario 1.2"

El uso de energías renovables, energía nuclear y la captura y almacenamiento de CO₂ se ve reflejado en los resultados de ambos escenarios, logrando en ambos una disminución de las emisiones de CO₂ importante. En el escenario más conservador, el Escenario 1.1, se ha conseguido una disminución de emisiones de CO₂ de 45,50% para el año 2060 y del 71% en el año 2100 frente a las emisiones estimadas según la tendencia de los años anteriores. Para el Escenario 1.2 los resultados son mejores todavía, logrando una disminución del 82,69% en el año 2100 frente a las emisiones estimadas. Esta reducción de emisiones se ha conseguido con el consumo energético estimado según la tendencia de años anteriores. Aunque este consumo no disminuya, las mejoras en tecnologías energéticas y la utilización de fuentes de energía más limpias, provocan que el número de emisiones de CO₂ disminuya con el paso del tiempo. Los valores de la intensidad de carbono varían igual que los de las emisiones de CO₂. A mayor utilización de energías renovables y menos combustibles fósiles utilizados, menor será la intensidad de carbono, por tanto, las emisiones de CO₂ serán menores.

Para estos dos escenarios el único factor de la Identidad de Kaya que ha sido modificado es la intensidad de carbono. Si, a la par que se disminuye este factor, logramos disminuir el resto de los factores de la ecuación, lograríamos una cantidad de emisiones de CO₂ todavía mayor con respecto a Escenario 1.1 y Escenario 1.2.

5.2 ESCENARIO 2. PIB PER CÁPITA E INTENSIDAD ENERGÉTICA PARA CUMPLIR LOS OBJETIVOS DEL IEA

En este escenario, se tiene como objetivo que el número de emisiones de CO₂ y el índice de carbono (IC) sean los calculados en los dos escenarios anteriores (Escenario 1.1 y Escenario 1.2).

En este escenario se va a calcular el PIB per cápita y la intensidad energética para lograr los objetivos de emisiones de CO₂. Los valores del PIB per cápita y la intensidad energética van a ser calculados mediante la Identidad de Kaya, previamente explicada.

Se van a estudiar cuatro escenarios:

- Escenario 2.1:
Condiciones: población de la muestra según datos de la *ONU* y emisiones de CO₂ a cumplir según el escenario 1.1.

Escenario 2.1	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Emisiones (Gt)	26,69	21,69	22,23	21,91	21,10	19,86	18,19	15,96	14,20
población	4952,53	5400,12	5799,55	6140,10	6421,79	6645,23	6809,81	6915,53	6963
g (PIB/hab)	18,57	25,51	28,78	33,06	36,74	41,11	46,66	49,66	56,66
ic2.1	0,0589	0,0410	0,0378	0,0339	0,0299	0,0260	0,0221	0,0181	0,0151
ie2.1	0,0049	0,0038	0,0035	0,0032	0,0030	0,0028	0,0026	0,0026	0,0024

- Escenario 2.2:
Condiciones: población de la muestra según datos de la *ONU* y emisiones de CO₂ a cumplir según el escenario 1.2.

Escenario 2.2	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Emisiones (Gt)	26,69	21,69	21,44	19,98	17,91	15,16	12,43	9,11	7,90
población	4952,53	5400,12	5799,54	6140,1	6421,78	6645,23	6809,81	6915,52	6963
g (PIB/hab)	18,57	25,51	29,53	34,13	38,01	44,27	50,99	56,22	64,80
ic2.1	0,0589	0,0410	0,0364	0,0309	0,0254	0,0198	0,0151	0,0103	0,0084
ie2.1	0,0049	0,0038	0,0034	0,0031	0,0029	0,0026	0,0024	0,0023	0,0021

- Escenario 2.3:
Condiciones: población de la muestra según datos del *IHME* y emisiones de CO₂ a cumplir según el escenario 1.1.

Escenario 2.3	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Emisiones (Gt)	26,69	21,69	22,23	21,91	21,10	19,86	18,19	15,96	14,20
población	4952,5	5395,1	5743,2	5984	6117,3	6142,0	6059	5868,5	5570,4
g (PIB/hab)	18,57	24,27	28,26	31,92	36,15	41,51	47,34	54,30	62,92
IC 2.3	0,0589	0,0410	0,0378	0,0339	0,0299	0,0260	0,0221	0,0181	0,0151
IE 2.3	0,0049	0,0040	0,0036	0,0034	0,0032	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027

- Escenario 2.4:
Condiciones: población de la muestra según datos del *IHME* y emisiones de CO₂ a cumplir según el escenario 1.2.

Escenario 2.4	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Emisiones (Gt)	26,69	21,69	21,44	19,98	17,91	15,16	12,43	9,11	7,90
población	4952,5	5395,0	5743,2	5984,3	6117,3	6142,0	6059	5868,5	5570,4
g (PIB/hab)	18,57	25,54	29,82	35,02	39,90	47,90	57,31	66,25	80,99
IC 2.4	0,0589	0,0410	0,0364	0,0309	0,0254	0,0198	0,0151	0,0103	0,0084
IE 2.4	0,0049	0,0040	0,0036	0,0034	0,0032	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027

Para la realización de estos escenarios, se ha aplicado una disminución de la intensidad energética, suponiendo que los avances tecnológicos mejoraran la eficiencia la hora de producir. Para los escenarios que tienen que conseguir las emisiones del Escenario 1.1 (Escenario 2.1 y Escenario 2.3), la mejora en la eficiencia energética sería la misma. Para los escenarios que deben conseguir la meta propuesta en el Escenario 1.2 (Escenario 2.2 y Escenario 2.4), la mejora en la eficiencia también será la misma.

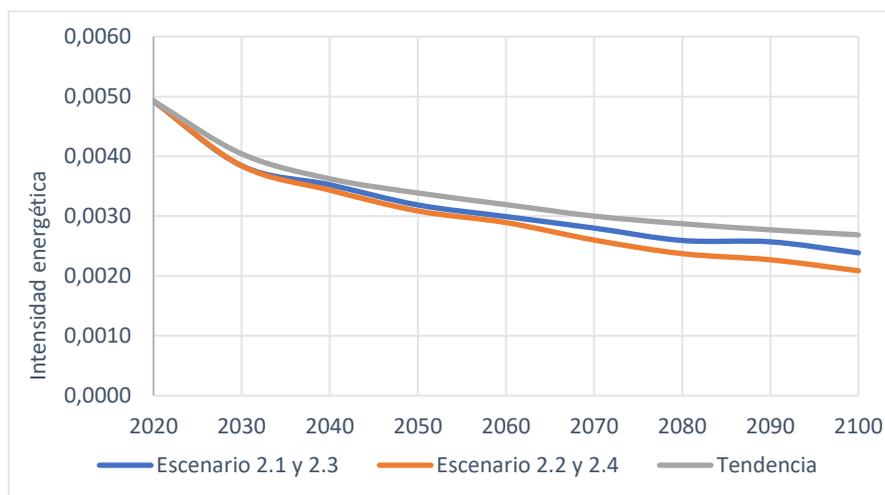


Figura 133. Evolución de la intensidad energética en el Escenario 2. Fuente propia.

Como consecuencia de estas variaciones en la intensidad energética, el PIB per cápita también ha sufrido modificaciones, variando según los distintos factores de la Identidad de Kaya. En la Figura 14 se pueden observar los cambios en el PIB per cápita:

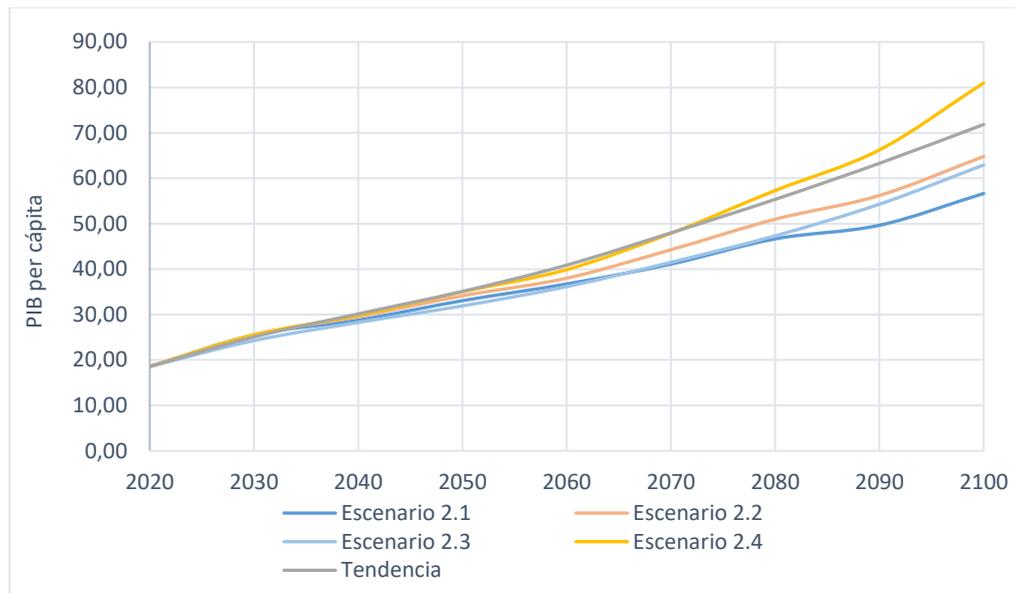


Figura 144. Evolución del PIB per cápita en el Escenario 2. Fuente: propia.

En tan solo el Escenario 2.4 se supera el PIB per cápita de la tendencia de la estimación, lo que nos indica que para conseguir una disminución de las emisiones de CO₂ es muy complicado lograrlo si el crecimiento del PIB per cápita aumenta respecto al esperado.

Aunque las emisiones de CO₂ disminuyen de manera considerable en estos escenarios, esto ha sido posible sin una disminución del PIB per cápita, mostrando que es posible un aumento del nivel económico de la población mientras se reducen las emisiones, gracias a las nuevas tecnologías y políticas medioambientales.

De estos cuatro escenarios, las conclusiones obtenidas son que, sin una intervención en el crecimiento demográfico, lograr una disminución de emisiones de CO₂ es muy difícil de lograr sin una mejora en la eficiencia energética y un crecimiento más controlado del PIB per cápita a lo largo de los años. En todos los escenarios se lograba una mejora de la eficiencia frente a la estimada, aunque fuese solamente del 11,12% y del 22,3% para el año 2100, mostrando una mejora lenta con el paso del tiempo. Para el PIB per cápita, en tres de los cuatro escenarios se ha tenido que incrementar el PIB per cápita de manera más controlada frente a la estimada. En el escenario más restrictivo, se tuvo que disminuir en un 22,2% para el año 2100 con respecto al valor estimado para lograr el objetivo de emisiones de CO₂.

5.3 ESCENARIO 3. CRECIMIENTO CONTROLADO DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y DEL PIB PER CÁPITA

5.3.1 Escenario 3.1

Como ya he comentado en el capítulo 2, “Análisis de datos por regiones”, el PIB y el PIB per cápita son factores de especial importancia en las emisiones de CO₂. El 90,89% del PIB mundial pertenece a tan solo el 63,3% de la población, siendo los países y regiones con mayor PIB, los que más emisiones de CO₂ emiten, como Asia-Pacífico, América del Norte o Europa. El consumo de energía y la intensidad energética también influyen de manera directa en las emisiones de CO₂, siendo este porcentaje de la población mundial, los encargados de consumir el 81% de energía a nivel mundial.

En el artículo *Providing decent living with minimum energy: A global scenario* publicado por *Global Environmental Change* en 2020 (20), se hace alusión a como tiene que reducirse la calidad de vida para minimizar el uso de energía y sus posteriores emisiones de CO₂, pero manteniendo unos estándares de vida decentes. Se plantea cuanto podríamos sacrificar de nuestros excesos para consumir menos energía, pero manteniendo el nivel de calidad de vida. En este artículo se sugieren viviendas de una mayor calidad para evitar el excesivo consumo energético, el uso del transporte público generalizado y las dietas bajas en alimentos de origen animal. Para saber dónde se pueden aplicar las reducciones de consumo energético, hay que saber cuáles son las regiones donde se consume mayor cantidad de energía, y distinguir el consumo de “lujo” y el consumo necesario.

Según los datos del PIB de la muestra; América del Norte, Europa y Asia-Pacífico son las tres regiones con mayor PIB. Sin embargo, África presenta un PIB muy inferior en comparación al resto.

Para este escenario se propone un crecimiento del PIB de América del Norte, Europa y Asia-Pacífico de una forma más reducida respecto a la estimación planteada en mi muestra. Estas tres regiones crecerán un 95% con respecto a lo estimado hasta el año 2040, en las siguientes dos décadas, hasta el año 2060, un 90%; las siguientes dos décadas, hasta el año 2080 un 85%; y finalmente, hasta el año 2100 un 80%. Para África se plantea un crecimiento mayor del esperado, siendo este del 110% con respecto a lo estimado las dos primeras décadas, hasta el año 2040; hasta el año 2060 el PIB crecerá un 120%; para las próximas dos décadas un 130%; y finalmente, hasta el año 2100, el crecimiento del PIB en África sería del 140% con respecto a lo esperado. Con estas modificaciones del PIB, conseguiríamos reducir el PIB per cápita a nivel mundial, ya que la influencia del América del Norte, Europa y Asia-Pacífico es muy grande en el PIB per cápita mundial. Este decrecimiento del PIB per cápita provocará una disminución de las emisiones de CO₂.

Con respecto al consumo energético, se va a hacer algo similar de lo realizado con el PIB. Para las regiones con mayor consumo energético (América del Norte, Europa, CIS, Este Medio y

Asia-Pacífico), del año 2030 al 2050 el consumo energético será del 90% respecto al estimado, hasta el año 2080 del 80% y para las últimas dos décadas del 70%; logrando una disminución del consumo energético en algunas regiones respecto al año 2020, como América del Norte o Europa, y manteniéndose prácticamente constante o con un incremento inferior del estimado en otras regiones, como en Asia-Pacífico, la región más consumidora de energía. Para África, el consumo energético será del 110% respecto al estimado hasta el año 2050, y del 120% hasta el año 2100. En la Figura 15 se puede observar la disminución del PIB per cápita respecto al valor estimado, lo que provocará una cantidad de emisiones de CO₂ inferior a la estimada y la disminución del consumo energético con respecto al estimado, aunque el calculado en el Escenario 3.1, sea superior al consumido en el año 2020.

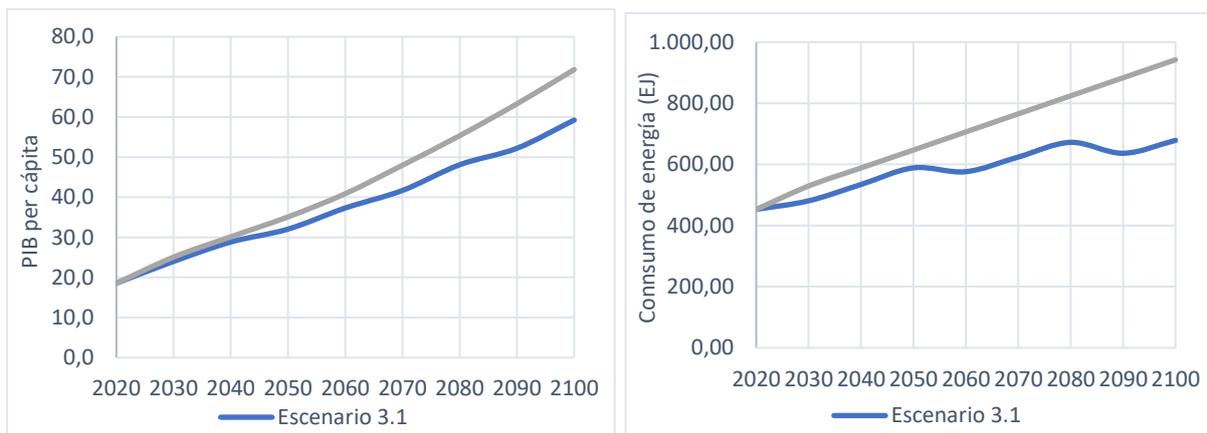


Figura 155. Evolución del PIB per cápita y el consumo energético en el Escenario 3.1. Fuente: propia.

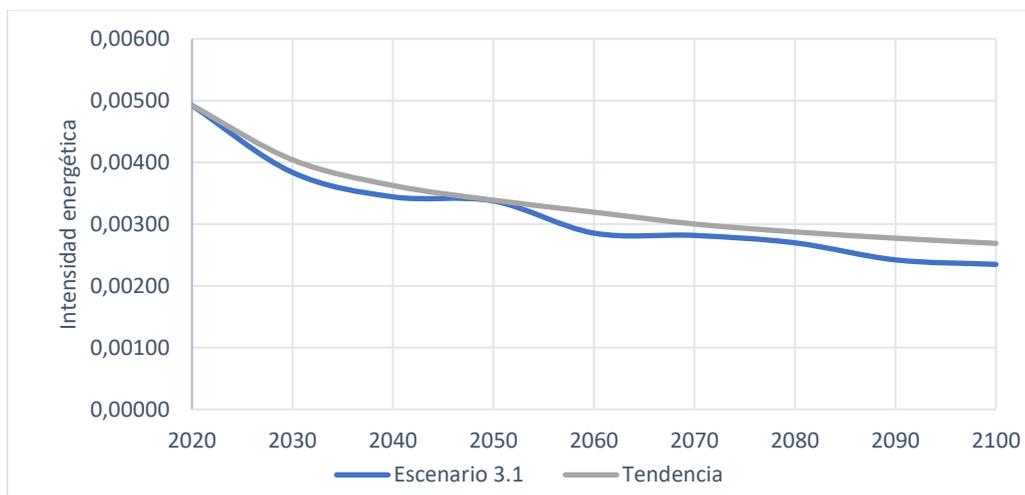


Figura 166. Evolución de la intensidad energética en el Escenario 3.1

En la figura 16 se puede observar que la intensidad energética del Escenario 3.1 es menor con respecto a la estimada. La intensidad energética representa lo eficiente que es el planeta ya que se emplea menos energía para crear el mismo trabajo o más. La disminución de la intensidad energética y el crecimiento del consumo energético tiene su explicación en las nuevas tecnologías energéticas que serán más eficientes. Con la misma cantidad de energía cada vez se puede producir más.

Para la simulación de este escenario, no se han modificado los valores de la intensidad de carbono. Se van a utilizar los valores estimados en la muestra, previamente mostrados en el apartado 2.

La población utilizada para este escenario es la estimación de “Population Pyramid”, que nos mostraba una estimación por regiones de la población hasta el año 2100. Se utiliza esta estimación porque esta estimación sí que separa la población por países, no como la de la ONU o la de IHME, que nos mostraban una estimación a nivel mundial.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ de este escenario, se ha utilizado la Identidad de Kaya.

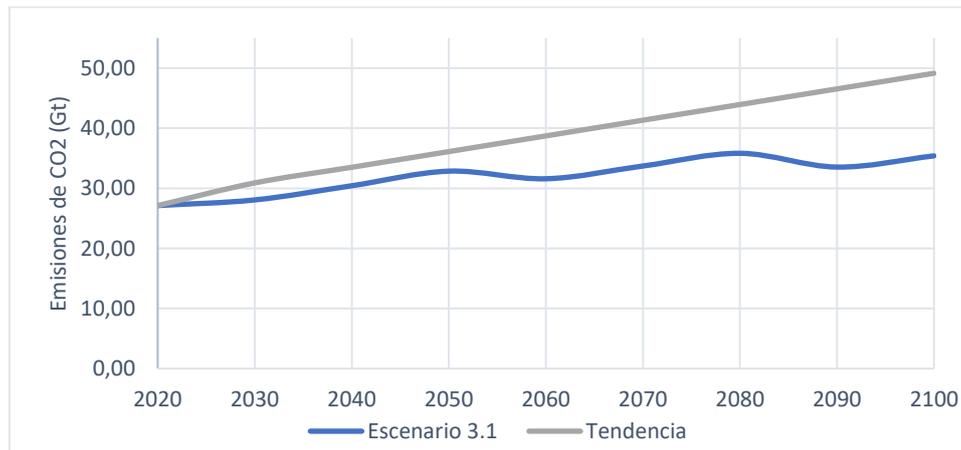


Figura 17. Evolución de las emisiones de CO₂ en el Escenario 3.1

Las emisiones de CO₂ se pueden observar cómo disminuyen respecto de las estimadas en la Figura 17, lográndose un 28,57% menos de emisiones para el año 2100. Esto ha sido gracias a la disminución del PIB de los países con mayor influencia sobre el PIB global de la muestra, repercutiendo esta disminución, en una disminución del PIB per cápita, factor muy influyente en las emisiones de CO₂. El efecto de la disminución del consumo energético de las grandes regiones de la muestra también ha influido en la disminución de las emisiones de CO₂. Para el año 2100, el consumo energético ha sido un 27,96% menor que el estimado. Como la reducción del consumo energético ha sido más restrictivo, y, por tanto, de mayor proporción que la reducción del PIB, la intensidad energética, factor que relaciona consumo energético y PIB, se ha visto también reducido respecto al estimado.

Sin embargo, no se ha conseguido una reducción de emisiones de CO₂ con respecto al año 2020. Una de las causas es la utilización de la intensidad de carbono estimada para la muestra inicial, sin tener en cuenta ni las nuevas políticas ni tecnologías energéticas. Si se hubiesen estimado la intensidad de carbono con los nuevos objetivos del IEA (16) de aumento de utilización de energías renovables y disminución de utilización de combustibles fósiles, se podría llegar a esta reducción de emisiones de CO₂ respecto al año 2020.

5.3.2 Escenario 3.2

En este escenario se van a calcular las emisiones de CO₂ utilizando la Identidad de Kaya. Los factores de esta van a ser los datos del PIB per cápita e intensidad energética calculados en el Escenario 3.1, los datos de la población serán también los utilizados en el Escenario 3.1. y la intensidad de carbono va a ser el factor de la Identidad de Kaya a modificar con respecto al escenario anterior.

Para el Escenario 3.2, se busca utilizar una intensidad de carbono menor con respecto a la utilizada en el Escenario 3.1 para que las emisiones de CO₂ se vean disminuidas con respecto a las de 2020, ya que con la intensidad de carbono del Escenario 3.1, no se logra disminuirlas.

La intensidad de carbono, a medida que se desarrollan y se implantan energías renovables y/o alternativas que mejoren la eficiencia energética, disminuye. Es decir, a menos intensidad de carbono, menos emisiones en la producción o consumo de energía.

Para el cálculo de emisiones de CO₂ se va a utilizar los datos de la intensidad de carbono basándonos en el Escenario 1.1 y el Escenario 1.2, en los cuales la intensidad de carbono disminuía a lo largo del tiempo de forma mucho más pronunciada a lo largo de los años respecto a la intensidad de carbono estimada. Se realizará la media aritmética entre la IC_{1.1} y IC_{1.2}, y posteriormente la media aritmética entre este valor y la intensidad de carbono de la estimación. El cálculo se haría de la siguiente manera:

$$IC_{3.2} = \frac{(IC_{1.1} + IC_{1.2})/2 + IC_{ESTIMACIÓN}}{2}$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

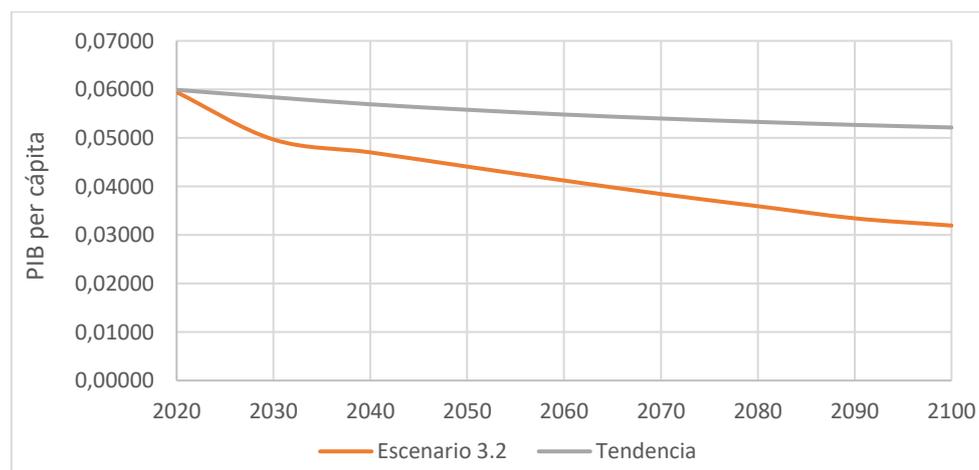


Figura 1817. Evolución de la intensidad de carbono en el Escenario 3.2. Fuente propia

Como se puede observar en la figura 18, la intensidad de carbono disminuye hasta casi la mitad del valor estimado para el año 2100. Para lograr esta intensidad de carbono sí que se habrían tenido en cuenta las nuevas tendencias energéticas, mejorando la eficiencia de las

energías renovables para que sean más utilizadas; y disminuyendo los combustibles fósiles, causantes de gran número de emisiones de CO₂.

Finalmente, las emisiones de CO₂ en este escenario serán las siguientes:

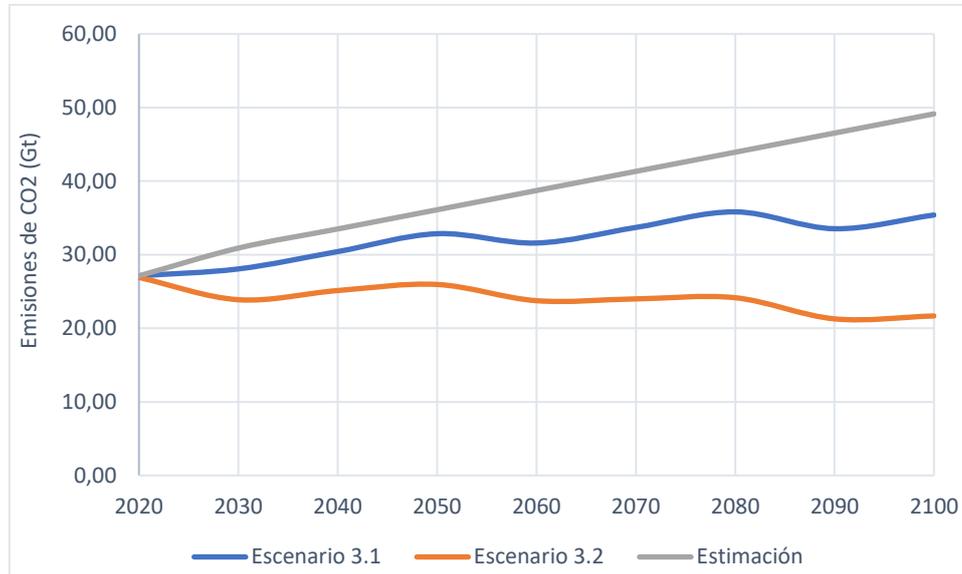


Figura 19. Evolución de las emisiones de CO₂ en el Escenario 3.2

Finalmente, con la reducción de la intensidad de carbono conseguida, se consigue una leve reducción de las emisiones de CO₂ con respecto al año 2020.

Las conclusiones que se obtienen del Escenario 3.1 y del Escenario 3.2 son que para lograr disminuir las emisiones de CO₂, tanto el PIB per cápita, la intensidad energética y la intensidad de carbono deben disminuir. Si uno de estos tres factores no disminuye, como en el Escenario 3.1, es complicado lograr la reducción de emisiones de CO₂, ya que los otros dos factores deberían disminuir de manera muy drástica, siendo estas reducciones tan grandes poco realistas con las posibilidades para reducirlas.

5.4 ESCENARIO 4. FACTORES DE LA IDENTIDAD DE KAYA PARA EL CUMPLIMIENTO DEL ACUERDO DE PARÍS

En este escenario se van a calcular las emisiones de CO₂ que se tendrían que emitir para cumplir un escenario RCP con el que se alcanzase el objetivo del *Acuerdo de París* (14). El objetivo de este acuerdo es limitar el calentamiento mundial por debajo de 2°C, preferiblemente a 1,5°C, comparado con los niveles preindustriales.

Para estas condiciones del Acuerdo de París, este objetivo se lograría con un escenario RCP2.6. En los 116 escenarios correspondientes al RCP2.6, la temperatura en el año 2100 sería entre

0,9°C y 2,3°C superior a los niveles preindustriales, como se puede observar en *Figura 1*. Por lo tanto, gran cantidad de escenarios de RCP2.6 cumplirían el objetivo del Acuerdo de París. Para el RCP4.5, los resultados de los 509 escenarios muestran que la temperatura sería entre 1,7-3.2°C superior a los niveles preindustriales, como muestra la *Figura 1*. De RCP4.5 algún escenario podría conseguir el objetivo, pero el escenario promedio RCP4.5 no lo lograría, por lo que descartamos el uso de RCP4.5 para alcanzar el objetivo del Acuerdo de París. Tanto los escenarios correspondientes a RCP6 y RCP8.5, no cumplirían con el objetivo fijado en el Acuerdo de París, ya que superan la temperatura límite en el año 2100.

En el artículo *Negative emissions physically needed to keep global warming below 2°C*, publicado por *Nature Communications* (21), hacen referencia a la importancia de las emisiones negativas para mantener la temperatura global por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales. Para lograr el objetivo fijado en el Acuerdo de París tendríamos que producir menos, que recibe el nombre de mitigación, y utilizar la captura de emisiones, conocido como “emisiones negativas”. En este artículo, se insiste en la gran importancia de las emisiones negativas si se quiere alcanzar este objetivo.

Para el estudio del Escenario 4, las emisiones de CO₂ objetivo a emitir van a ser las correspondientes a RCP2.6. Observando la *Figura 1*, una aproximación de las emisiones de CO₂ en el periodo 2020-2100 sería la siguiente, tanto a nivel global como las de mi muestra:

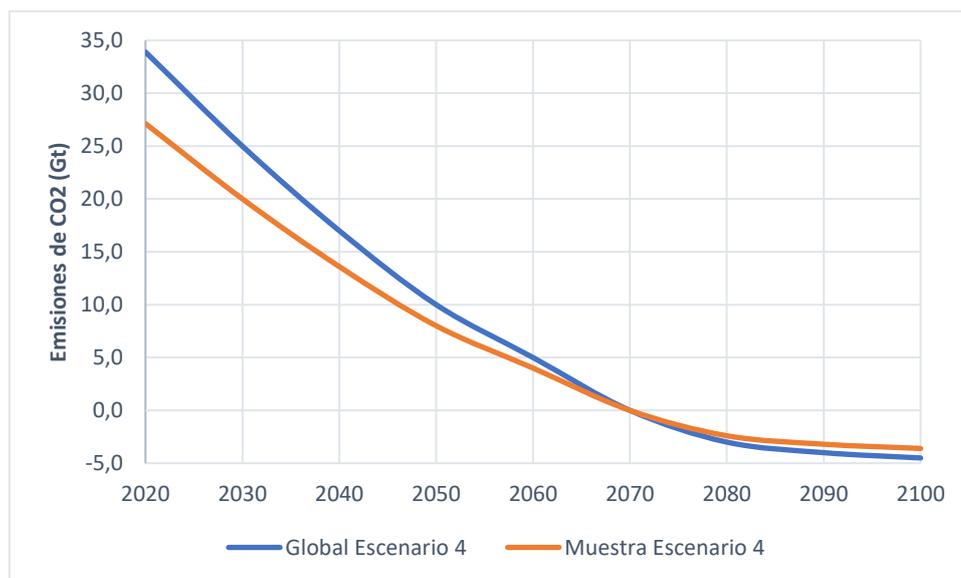


Figura 180. Evolución de las emisiones de CO₂ en el Escenario 4. Fuente: propia.

Para el Escenario 4, se va a utilizar la Identidad de Kaya para el cálculo del PIB per cápita, la intensidad energética y la intensidad de carbono desde el año 2020 hasta el 2100 para poder cumplir el objetivo del Acuerdo de París.

Los datos de la población de la muestra no se van a modificar con respecto a la estimación de Population Pyramid (15). Es una estimación en la que la población crece levemente a mediados de siglo, pero consigue un decrecimiento a finales de este.

Según los datos de la población de la muestra para el periodo 2020-2100 y el objetivo fijado para las emisiones de CO₂, los resultados obtenidos para el resto de los factores de la Identidad de Kaya son:

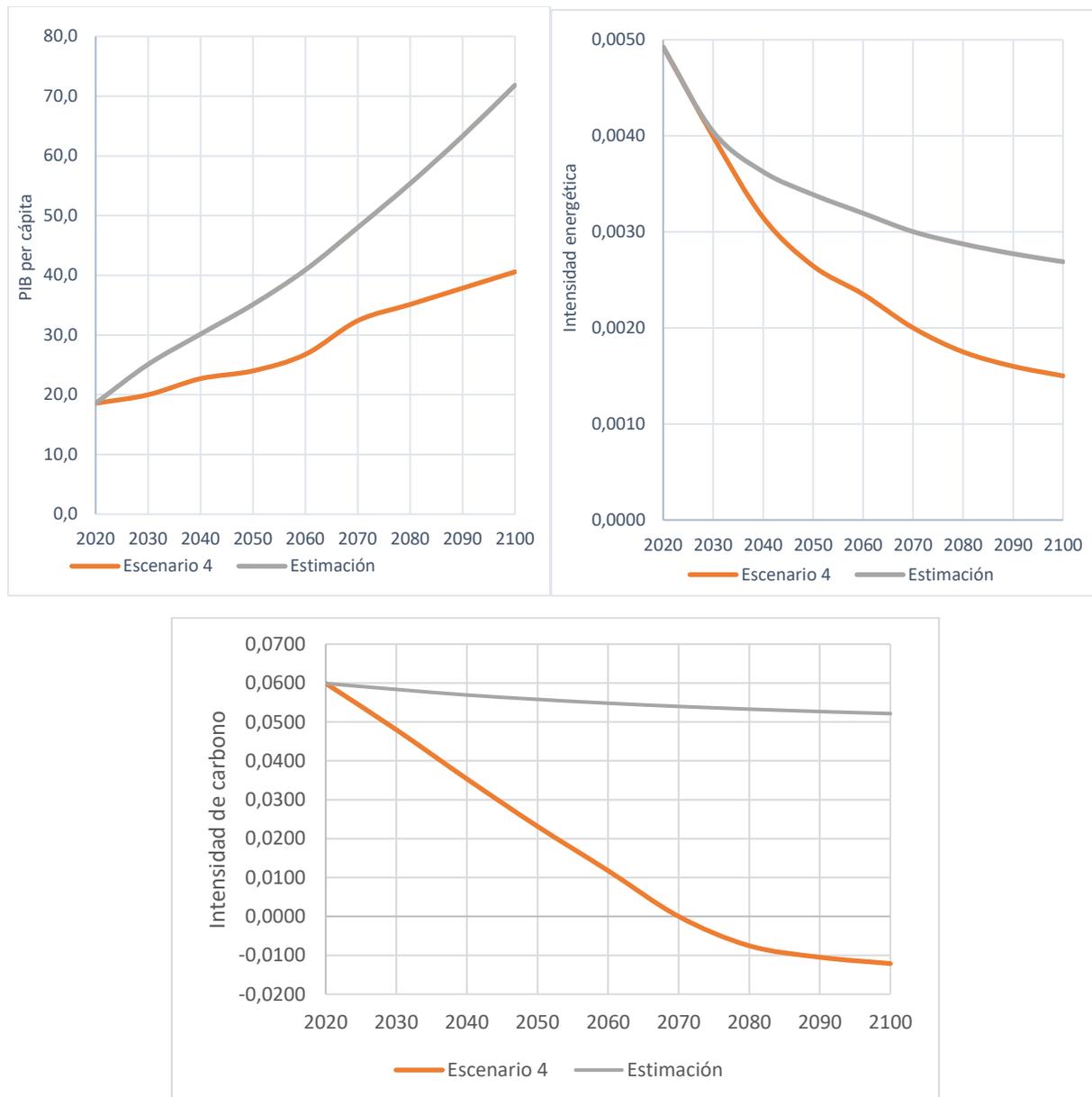


Figura 191. Evolución de g, IE e IC en el Escenario4. Fuente: propia.

Como se puede observar en los resultados, el crecimiento más controlado del PIB per cápita y el decrecimiento de la intensidad energética y la intensidad de carbono debe ser considerable si se quiere alcanzar el objetivo fijado en el Acuerdo de París. Un decrecimiento de la producción y las nuevas tecnologías de energías renovables y captura de emisiones son fundamentales para el futuro.

Con respecto al PIB per cápita, un crecimiento más moderado provocaría una disminución de las emisiones de CO₂. Como se comenta en el artículo *Providing decent living with minimum energy: A global scenario* publicado por *Global Environmental Change* (20), una reducción o un crecimiento menor de la calidad de vida, se ve reflejado en el PIB per cápita. El objetivo es

mantener unos estándares de vida decentes mientras se reduce el consumo energético y por tanto las emisiones de CO₂. En este escenario, el PIB per cápita se ha incrementado con respecto a su valor del año 2020, pero de forma menos acelerada que en la estimación. Para el año 2060, el PIB per cápita se ha visto reducido un 34,47% con respecto al valor estimado, y en el año 2100 un 43,45%.

La intensidad energética decrece con el paso de los años debido a la mejora en la eficiencia de la tecnología utilizada. El objetivo de la mitigación estaría cumplido, ya que, en este escenario, o se produce menos, se produce de manera más eficiente o incluso las dos a la vez. Para el año 2100, la intensidad energética ha sufrido una disminución del 44,44% con respecto al valor estimado, variación similar a la sufrida por el PIB per cápita.

El factor más diferencial para cumplir el acuerdo de París es la intensidad de carbono. La captura de emisiones debe ser más utilizada para conseguir la reducción de emisiones de CO₂ deseada. La captura y el almacenamiento de CO₂ es considerada como una de las medidas de mitigación para la estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂. Aunque la captura y almacenamiento es importante, el *Informe especial del IPCC: La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono* (22) indica que ninguna opción tecnológica proporcionará por sí sola todas las reducciones de emisiones, sino que se necesitará la combinación de ellas. Las nuevas tecnologías de energías renovables también incrementarían su porcentaje de utilización frente al actual, similar al Escenario 1.1 y Escenario 1.2, debido a la mejoría en su eficiencia y su mayor competitividad en el mercado frente a los combustibles fósiles.

Todo esto provocaría un decrecimiento de la intensidad de carbono a lo largo del siglo, llegando a valores negativos a partir del año 2070. A partir de este año, aproximadamente, la cantidad de emisiones de CO₂ capturadas y almacenadas, será mayor que las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se obtienen de la realización de estos escenarios es que para obtener una disminución de las emisiones de CO₂ se necesita una combinación de eficiencia, aparición de nuevas tecnologías menos contaminantes, concienciación social y políticas fijadas por las organizaciones gubernamentales para poder solucionar o disminuir la crisis climática en la que nos encontramos hoy en día.

Para lograr los objetivos de reducción de emisiones recomendados y planteados por las distintas organizaciones son necesarios muchos cambios tecnológicos, energéticos y socioeconómicos:

- Conseguir una reducción de nuestras necesidades energéticas, que nos sigan permitiendo vivir en unos estándares de vida decentes en los países más desarrollados, es decir, reducir el consumo excesivo de energía.
- Mejorar la eficiencia energética, por ejemplo, en automóviles y viviendas.
- Aumentar el uso de energías renovables, siendo estas igual o más competitivas con las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad.
- Disminuir el uso de combustibles fósiles, los cuales son responsables de un porcentaje muy alto de las emisiones de CO₂ que se emiten a la atmósfera.
- Aumentos más controlados de los factores socioeconómicos, como la población y el PIB. El aumento de la población provoca un inevitable aumento del consumo energético, con su aumento de emisiones de CO₂ correspondiente. El aumento del PIB per cápita, siendo un indicador del nivel económico de la región determinada, también significa un aumento de las emisiones de CO₂.

Para lograr todos estos cambios, tanto tecnológicos como sociales, es inevitable la aparición de normativas por partes de las organizaciones gubernamentales. La ayuda económica por parte de los gobiernos a empresas con utilización de energías renovables o a aquellas que consigan reducir su consumo energético y sus emisiones de CO₂, puede ser una forma de incentivar estos cambios tan necesarios para conseguir combatir la crisis climática.

También hace falta intervenir en los lugares con mayor consumo energético, como la región Asia-Pacífico de mi estudio, la cual, en el año 2020, fue responsable del 47,33% del consumo energético de toda la muestra y del 37,48% a nivel global. Las regiones con mayor consumo energético deben tener políticas más restrictivas con el consumo, ya que la disminución de su consumo y emisiones significaría un impacto más grande a nivel global. Sin embargo, regiones menos desarrolladas como África, deben recibir ayuda económica para iniciar una mitigación y la implantación de nuevas tecnologías, que tardarían más tiempo en aparecer que en países con un nivel económico mayor.

Para el Escenarios 1.1 y Escenario 1.2, se ha aumentado el uso de energías renovables, energía nuclear y la captura y almacenamiento de CO₂. Con estos cambios en las fuentes de energía, en el escenario más conservador, se ha conseguido una disminución del 45,50% para el año 2060 y del 71,10% en el año 2100 frente a las emisiones de CO₂ estimadas según la tendencia de los años anteriores. Esto se ha conseguido con la misma energía que la estimada, lo que implica que, aunque no se consiga reducir el gasto energético, las mejoras tecnológicas en las fuentes de energía más limpias, pueden provocar una disminución muy grande de las emisiones de CO₂ a medio y largo plazo. La variación de la intensidad de carbono es la misma que la de las emisiones de CO₂. Para el año 2100, la disminución de la intensidad de carbono en el escenario más conservador también sería del 71,10% frente a la intensidad de carbono estimada de la muestra. Esta relación viene dada porque la intensidad de carbono nos indica que conforme los combustibles fósiles sean menos utilizados, esta disminuirá, provocando un decrecimiento de las emisiones de CO₂ de manera proporcional.

Del Escenario 2.1, Escenario 2.2, Escenario 2.3 y Escenario 2.4, las conclusiones obtenidas son que, si no se interviene en el crecimiento demográfico, la disminución de emisiones de CO₂ es muy difícil de lograr sin una mejora en la eficiencia energética y un crecimiento más controlado del PIB per cápita. En todos los escenarios se lograba una mejora de la eficiencia frente a la estimada, aunque fuese solamente del 11,12% y del 22,3% para el año 2100, mostrando una mejora lenta con el paso del tiempo. Para el PIB per cápita, en el 75% de los escenarios se ha tenido que incrementar el PIB per cápita de manera más controlada frente a la estimada. En el escenario más restrictivo, se tuvo que disminuir en un 22,2% para el año 2100 con respecto al valor estimado.

Se ha visto en el Escenario 3.1, que una disminución del consumo energético de los países con mayor consumo, y un crecimiento menor del PIB per cápita con respecto al esperado, no es suficiente para lograr una disminución de las emisiones de CO₂. Disminuyendo la intensidad de carbono, es decir, utilizando fuente de energía como las renovables y disminuyendo el uso de combustibles fósiles, sí que conseguiríamos lograr el objetivo de emitir menos en el año 2100 que en el 2020. Con una intensidad de carbono del 38,89% menos que la utilizada en el Escenario 3.1 para el año 2100, se conseguiría disminuir las emisiones de CO₂ un 38,16%. Se observa que la variación de la intensidad de carbono y las emisiones de CO₂ vuelve a ser prácticamente la misma.

Si queremos un balance neto de emisiones de CO₂, la solución es emitir lo menos posible y aumentar la captura y almacenamiento de CO₂. Todo esto se consigue con una disminución de los factores de la Identidad de Kaya, como el PIB per cápita, la intensidad energética y la intensidad de carbono.

Para lograr el objetivo de emisiones de CO₂ propuesto para alcanzar el objetivo del Acuerdo de París, se ha tenido que limitar el crecimiento del PIB per cápita, siendo un 46,7% menos con respecto al estimado para la muestra, aumentando tan solo en un 50% desde el año 2020 hasta el año 2100. También se mejorado la eficiencia energética de manera significativa, un 44,4% con respecto a lo estimado en el año 2100, y un 70% con respecto al valor del 2020. Pero el cambio diferencial para obtener este balance negativo de emisiones es la disminución de la intensidad de carbono, llegando a valores negativo. Esto significa que se captura y

almacena más cantidad de CO₂ que el que es emitido a la atmósfera. La disminución de la intensidad de carbono es del 98,36% frente al valor del año 2020.

Este porcentaje es un indicador de la importancia de las nuevas tecnologías y políticas energéticas más comprometidas con el medio ambiente. Sin ellas es muy difícil llegar a los objetivos propuestos por los expertos medioambientales para no provocar una crisis climática irreversible con efectos devastadores en el planeta Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Kaya, Yoichi; Yokoburi, Keiichi (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*. Tokyo [u.a.]: United Nations Univ. Press. ISBN 9280809113
- (2) IEA, *Global Energy Review 2021* [en línea] [consulta: 15 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>
- (3) Naciones Unidas [en línea] [consulta: 15 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Est%C3%A1%20previsto%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,cuanto%20a%20estos%20%C3%BAltimos%20datos.>
- (4) *Institute for Health Metrics and Evaluation* [en línea] [consulta: 15 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://vizhub.healthdata.org/population-forecast/>
- (5) *Organisation for Economic Co-operation and Development* [en línea] [consulta: 20 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>
- (6) *Bp Statistical Review of World Energy 2022* [en línea] [consulta: 20 de febrero de 2022]. Disponible en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- (7) IPCC, Comunicado de prensa del IPCC [en línea] 9 de agosto de 2021 [consulta: 24 de febrero de 2022]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf
- (8) IPCC, Cambio climático 2007, Informe de síntesis [en línea] [consulta: 26 de febrero de 2022]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf
- (9) IPCC, Cambio climático: Informe de síntesis, Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC [en línea] [consulta: 26 de febrero de 2022]. Disponible en:

https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia-sintesis-resumida_tcm30-376937.pdf

- (10) Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K. *et al.* The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109, 213 (2011) [en línea] [consulta 27 de febrero de 2022]. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- (11) *Naciones Unidas*, ¿Qué es el cambio climático? [consulta: 13 de febrero de 2022]. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- (12) Fuss, S., Canadell, J., Peters, G. *et al.* Betting on negative emissions. *Nature Clim Change* 4, 850–853 (2014) [en línea] [consulta: 3 de marzo de 2022]. <https://doi.org/10.1038/nclimate2392>
- (13) *United Nations Framework Convention on Climate Change*, ¿Qué es el Protocolo de Kyoto? [consulta: 5 de marzo de 2022]. https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
- (14) *United Nations Framework Convention on Climate Change*, El Acuerdo de París. [consulta: 5 de marzo de 2022]. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>
- (15) *Population Pyramid* [en línea] [consulta: 7 de marzo de 2022]. <https://www.populationpyramid.net/>
- (16) *IEA*, Net zero by 2050 Scenario. [consulta: 10 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/net-zero-by-2050-scenario#tables-for-scenario-projections>
- (17) *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*, Informe de Inventario Nacional de gases de Efecto Invernadero (GEI), Edición 2022 (1990-2020). [consulta: 10 de marzo de 2022]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es_nir_edicion2022_tcm30-523942.pdf
- (18) *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*, Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. [consulta: 10 de marzo de 2022]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores-emision_tcm30-479095.pdf

- (19) *IDEA* [en línea] [consulta: 10 de marzo de 2022]. Disponible en: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5tFY56WbZ4YJ:https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/poderes-calorificos-inferiores_pci_v_1-00_2020.xlsx+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=es
- (20) Millward-Hopkins, Joel; K. Steinberger, Julia; D. Rao, Narasimha; Oswald, Yannick. Providing decent living with minimum energy: A global scenario. En: *Elsevier* [en línea][consulta 15 de marzo de 2022]. En: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102168>
- (21) Gasser, T., Guivarch, C., Tachiiri, K. *et al.* Negative emissions physically needed to keep global warming below 2 °C. *Nat Commun* 6, 7958 (2015) [consulta: 9 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/ncomms8958>
- (22) *IPCC*, Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos, Leo Meyer. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. *Informe especial del IPCC* [en línea] 2005, Informe del Grupo de trabajo III del IPCC [consulta: 12 de mayo de 2022]. Disponible en: https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_sp.pdf
- (23) *European Commission*, [en línea] [consulta: 20 de febrero de 2022]. <https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-performance-and-forecasts/economic-performance-country/spain/economic-forecast-spain> en
- (24) *IEA, Data and statistics*. [en línea] [consulta: 23 de febrero de 2022] <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Key%20indicators&indicator=TotCO2>