Estudio de geografía económica y política que trata sobre las transformaciones del uso humano del espacio geográfico mundo en sus relaciones político-económicas desde el siglo XVI hasta el siglo XXI y de las perspectivas de conformación del mismo.

Tercera parte

TÍTULO:

El porvenir del Sistema Energético Mundial

El mundo se ha convertido en un barco en el que solamente es posible evitar el naufragio económico y medioambiental con el empeño de una única tripulación, el género humano

Año 2026

Autor:

Javier Colomo Ugarte

Índice

Introducción

CAPÍTULO I

El desarrollo económico y los recursos energéticos

CAPITULO II

El modelo energético mundial

2.1 Consumo mundial de energía según fuentes de energía primaria

2.2 Comparación del consumo Mundial según fuentes de energía de la fuente EIA, y la fuente BP.

2.3 Consumo de energía en el ámbito de la OCDE y No – OCDE

2.4 Población y energía

2.5 Reservas probadas de combustibles fósiles año 2020

2. 6 Reservas probadas de combustibles fósiles año 2020 en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo (Mtep)

CAPÍTULO III

Los límites del Sistema energético Mundial

3.1 Conversión de Metp a Tera BTU

3.2 Proyección Población Mundial hasta el año 2074

3.3 Consumo de energía por década hasta el final del petróleo y gas natural

3.4 Reflexión sobre el final del petróleo y el gas natural

CAPÍTULO IV

Los impactos medio ambientales por el crecimiento económico

4.1 Ratios de transformación de combustibles fósiles a CO_2

4.2 CO_2 potencial, reservas pendientes de emisión de CO_2, de las reservas probadas del 2020.

4.3 CO_2 potencial, o reservas pendientes de emisión, de las reservas probadas del 2020, y Partes Por Millón (ppm) equivalentes en el aire atmosférico.

4.4 Evolución de las emisiones de CO_2 desde 1750 al 2024

4.5 Evolución histórica y proyecciones del PIB-PPA y de las emisiones de CO_2 desde 1994 al 2064.

CONCLUSIONES

1. El imperativo de la acumulación

2. El comercio internacional como subsidio ecológico y la ventaja competitiva

3. La asimetría del poder y la parálisis política internacional

4. Los límites y la promesa del crecimiento ilimitado

5. El salto de las condiciones objetivas a las subjetivas: La pedagogía de la catástrofe

6. La alternativa termodinámica: Fusión nuclear y la minería de Helio-3

7. La insuficiencia de la técnica y el salto a la Tercera Civilización

*

Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad, hasta la revolución industrial, las energías más importantes para mover mecanismos que la transformaran en trabajo, han sido: la fuerza humana; la de animales de carga; la hidráulica aprovechada en saltos de agua, y la eólica aprovechada para hacer girar molinos y mover barcos.

En la primera revolución industrial, con la invención de la *máquina de vapor*, la fuente de energía fue la madera y posteriormente el carbón de origen vegetal o mineral. Con el *motor Diesel*, el petróleo se incorporó a las fuentes energéticas. Posteriormente la aplicación de la electricidad a multitud de utensilios, desarrollo la necesidad de tener generadores permanentes de energía eléctrica utilizando, para ello, diversas fuentes de energía para su transformación en electricidad y posteriormente ésta en trabajo, habiéndose constituido los combustibles fósiles progresivamente desde el siglo XIX en las fuentes de energía primaria dominantes en el sistema energético mundial. Pero a finales del siglo XX estas fuentes de energía primaria comenzarán a ser cuestionadas debido a los nocivos efectos medioambientales producto de la externalización de los costes de

producción en forma de gases de efecto invernadero a la atmósfera, responsables de un progresivo cambio climático global.

Hasta que no comenzaron a conocerse los efectos medioambientales de la externalización de costes, el modelo energético y el crecimiento económico mundial se habían desarrollado sin entrar en contradicción, pero una vez conocidos, la implementación de políticas económicas de internalización de costes, para evitar las emisiones de gases de efecto invernadero, ha derivado en una fuerte contradicción entre el crecimiento económico y el modelo energético, pues la externalización de los costes de producción con la libre emisión de gases a la atmósfera forma parte de la ventaja comercial en los precios de los productos para el intercambio de mercancías internacional. El fracaso en los intentos por disminuir la emisión de los gases de efecto invernadero pone de manifiesto las dificultades existentes, o tal vez la imposibilidad, para promover con carácter mundial un modelo de internalización de costes, debido al rechazo de empresas y naciones a tal inversión económica que les haría perder competitividad en el mercado e internacional.

Es probable, que si desde el momento presente se implementaran tecnologías a escala planetaria de internalización de costes basadas en la captura de los gases de efecto invernadero y de su almacenaje en sumideros, tal vez, se pudiera evitar una catástrofe medioambiental, pero esta posibilidad en el vigente modelo económico mundial basado históricamente en las ventajas de la externalización de costes resulta actualmente inviable.

El vigente modelo energético mundial basado en un 80% en los combustibles fósiles, presenta el problema no solamente de sus efectos medioambientales, sino el de su final en el presente siglo XXI por agotamiento de las reservas de petróleo, gas natural y carbón, sin que, por el momento, se haya desarrollado una alternativa energética sólida de reemplazo a la capacidad calorífica que proporcionan los combustibles fósiles al *sistema energético mundial*. Las alternativas de otras fuentes de

energía primaria como las energías renovables, por su elevado coste y las limitaciones de la superficie terrestre, difícilmente van a poder representar el equivalente a un 20% global de la energía derivada de los combustibles fósiles, y la implementación masiva de la energía de fisión nuclear presenta el problema de la hipoteca milenaria de almacenamiento de los residuos radiactivos, así como que las reservas de uranio son también limitadas, sin que, por otra parte, la energía generada en forma de electricidad por estas fuentes, en el *actual paradigma tecnológico mundial* pueda sustituir al *motor de combustión interna* para la transformación de la energía en trabajo productivo con el que funcionan los grandes transportes terrestres, marítimos y aéreos; la maquinaria pesada móvil para la construcción de infraestructuras, y la destinada al sector agrario que permite liberar del trabajo manual agrícola a la mayoría de la población activa para emplearse en otros sectores económicos.

La tarea prioritaria que tiene la humanidad es trabajar con premura para implementar las tecnologías que eviten la libre emisión de gases de efecto invernadero, así como el desarrollo de un sistema energético y tecnológico para la conversión de la energía en trabajo productivo que reemplace el agotamiento de los combustibles fósiles.

No queda mucho tiempo, tal vez no más de cincuenta años, para que los dos problemas, si no se les encuentra solución, se manifiesten con toda su crudeza, el primero con el colapso del desarrollo económico mundial por agotamiento de las reservas de petróleo, gas natural y carbón, y la imposibilidad de tener tecnologías de reemplazo al *motor de combustión interna* para la transformación de la energía en trabajo productivo que precisa la economía mundial en el sector agrario, la construcción de infraestructuras y los grandes transportes, y el segundo porque el grado de cambio climático alcanzado en ese periodo de tiempo pudiera llegar al extremo de cuestionar la habitabilidad de extensos territorios del Planeta actualmente habitables.

En los siguientes capítulos se desarrollan los estudios respectivos.

CAPÍTULO I

El desarrollo económico y los recursos energéticos

Tal y como se ha visto en el estudio, *El Proceso Productivo Mundial*, el desarrollo económico precisa de un crecimiento continuo del PIB a través de la mejora continua de la productividad, con el fin de mantener o mejorar el empleo y la *Tasa Media de Ganancia Absoluta* y con ello evitar el colapso funcional del sistema económico. Este crecimiento de la producción y mejora de la productividad se fundamenta en el aumento y optimización de la energía convertida en trabajo, en función de la satisfacción de las necesidades demandadas según la distribución del poder adquisitivo mundial, siguiendo estructuradamente la secuencia de optimización productiva del sector, primario, secundario y el desarrollo científico – técnico del sector terciario.

El proceso productivo mundial determina que el sistema energético mundial se desarrolle en base a dos dinámicas económicas básicas.

La primera, derivada de la ley de acumulación de capital continua, la cual resulta imparable, pues, en el momento que se reduce la actividad productiva, las ganancias decaen y se colapsa el funcionamiento económico, lo que conlleva, a pesar de la optimización energética, a un incremento continuo del consumo de energía.

La segunda, por el principio de competencia en el comercio internacional que propicia que: la externalización de los costes de producción en forma de libre emisión de gases a la atmósfera, forme parte de la ventaja comercial para abaratar los precios de los productos.

Estas fuerzas ciegas dominantes del vigente modelo económico mundial al sustentarse en un sistema energético basado mayoritariamente en los

combustibles fósiles tienden a incrementar el impacto medioambiental mundial.

Los afectados por estas perversas sinergias son la mayoría de la humanidad y el medioambiente, sin que por el momento, existan *fuerzas subjetivas* en el plano político internacional lo suficientemente potentes para cambiar la dinámica económica mundial, ni tampoco exista un conocimiento científico técnico para reemplazar el modelo energético basado en los combustibles fósiles.

En el vigente sistema económico mundial, las diversas fuentes energéticas compiten entre sí en función del tipo de máquina que se precise para su transformación en trabajo productivo. Así, la energía más adecuada para los automóviles, es un derivado del petróleo, mientras que para la generación de electricidad, pueden existir diversas fuentes, que se utilizan según su proximidad (saltos de agua o carbón), su rentabilidad, o que ayuden a disminuir la dependencia de un país respecto de otros países, como por ejemplo la energía de fisión nuclear.

Por otra parte, la optimización productiva conlleva la búsqueda de fuentes de energía baratas y con perspectivas de larga duración de la fuente que garanticen un desarrollo económico sostenido en el tiempo, y adecuado para el uso de las máquinas y utensilios capaces de transformar la energía en trabajo productivo.

Está optimización está en función:

1º Del coste de la materia prima de la fuente energética en cuestión.

2º Más los costes técnicos para la transformación de la energía en trabajo, que en términos energéticos sería igual a la cantidad de energía que se necesita invertir para construir los instrumentos técnicos de transformación: centrales, nucleares, centrales térmicas, saltos de agua, aéreo-generadores eólicos etc.

La optimización productiva, lleva lógicamente a buscar las fuentes de energía más baratas y con mayor poder calorífico, siempre y cuando éstas puedan ser adecuadas a las máquinas que la transforman en trabajo productivo.

Gran parte de la rentabilidad de estas fuentes se ha basado en lo que ha venido a denominarse la externalización de costes, es decir, la transformación de energía en trabajo derivada de los combustibles fósiles y de los residuos de la fisión nuclear, sin tener en cuenta el coste energético añadido (y por lo tanto económico) que supondría el reciclaje del CO_2 hacia sumideros que evitasen su emisión a la atmósfera, y el almacenamiento definitivo de los residuos de la centrales nucleares de fisión y el desmantelamiento de las mismas una vez finalizado el plazo de su explotación útil.

La rentabilidad de las energías es variable y se mide en la *Tasa de Retorno Energético* (TRE), es decir, la inversión energética necesaria para producir una unidad de energía (KW/hora); BTU, etc.), en relación a la amortización de esa inversión en la vida útil de generación de energía de la unidad energética: panel solar; aéreo-generador eólico, central nuclear, o extracción del combustible fósil.

La Tasa de Retorno Energético (TRE) es variable en cada tipo de energía, pudiendo pasar según la circunstancias de explotación de una alta (TRE) a una baja (TRE) o a la inversa.

Por ejemplo, en los primeros paneles fotovoltaicos de principios del siglo XX, la cantidad de energía que se necesitaba para construir 1 KW/hora de potencia instalada de un panel solar fotovoltaico era de 5.600 KW/h, siendo necesarias 5.600 horas de funcionamiento del panel solar para amortizar la inversión inicial. Esta tecnología así como la eólica están en una mejora continúa habiendo pasado de una baja TRE a una alta TRE, principalmente en China.

Por el contrario, el petróleo o el gas natural que se descubre hoy en día (arenas bituminosas, petróleo extrapesado de la Franja del Orinoco, gas de esquisto mediante fracking o yacimientos en aguas ultraprofundas del Ártico) no es termodinámicamente equivalente al petróleo que se extraía a principios del siglo XX.

Antes bastaba con pinchar el suelo para que brotara un crudo ultra denso y de fácil refinamiento (alta TRE: con la energía de 1 barril se obtenía 100 barriles). En la actualidad, las nuevas reservas exigen una inversión energética gigantesca para ser extraídas y procesadas (baja TRE: se invierte 1 barril de energía para obtener apenas 3 o 5).

Las energías hidrológica, eólica y solar tienen la ventaja que el coste de la energía es cero, y el coste del KW/hora generado depende solo de la inversión necesaria. Mientras que en los combustibles fósiles a la energía en si misma se le asigna un valor, que se viene a añadir al coste de inversión para su extracción.

Sin embargo, existen circunstancias que obligan a diversificar la fuentes de energía, por ejemplo, una región o país puede tener muchos recursos fluviales, y otros no, puede disponer de condiciones para el aprovechamiento de la energía eólica, y otros no, o puede disponer de la tecnología nuclear de fisión y no disponer de otras fuentes de energía.

No obstante, hay que tener en cuenta que la generación de electricidad a gran escala no puede ser almacenada y, por la tanto, la producción está en función del consumo diario, (excepto una pequeña parte que se almacena en baterías de Litio)

No obstante, la energía eléctrica tiene limitaciones en su almacenamiento en baterías. El transporte pesado y de larga distancia: Los barcos cargueros transoceánicos, la aviación comercial y los camiones de gran tonelaje requieren una densidad energética por unidad de peso que las baterías de litio actuales (y previsibles) no pueden proporcionar. Multiplicar el peso de

las baterías reduce drásticamente la carga útil del transporte, volviéndolo inviable. La maquinaria pesada para el sector agrícola que asegura la soberanía alimentaria mundial depende de tractores, cosechadoras y maquinaria minera que funcionan con diésel. Si esa maquinaria se detiene o pierde potencia, la productividad agrícola cae de forma inmediata, por lo que el *motor de combustión interna* continuará hasta que se agoten las reservas de petróleo.

CAPITULO II

El modelo energético mundial

Las características del consumo de energía mundial expresada en BTU (British Thermal Unit), según tipo de fuentes de energía primaria, de los años 2004; 2017; 2024, y en las proyecciones para los años; 2034; 2044; realizadas según los datos de: *Energy Information Administration (EIA) 2026*, se muestran en el siguiente apartado.

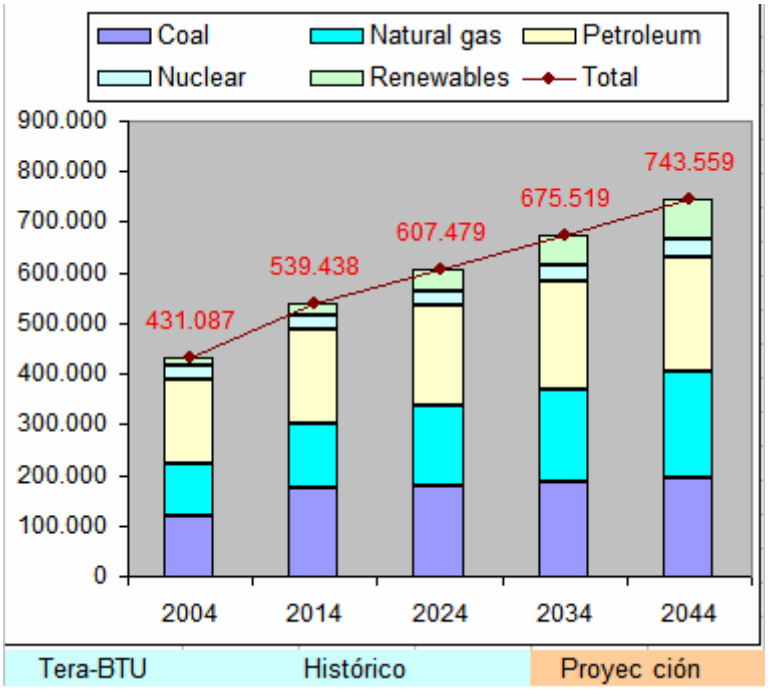
*

2.1 Consumo mundial de energía según fuentes de energía primaria

Consumo mundial de energía

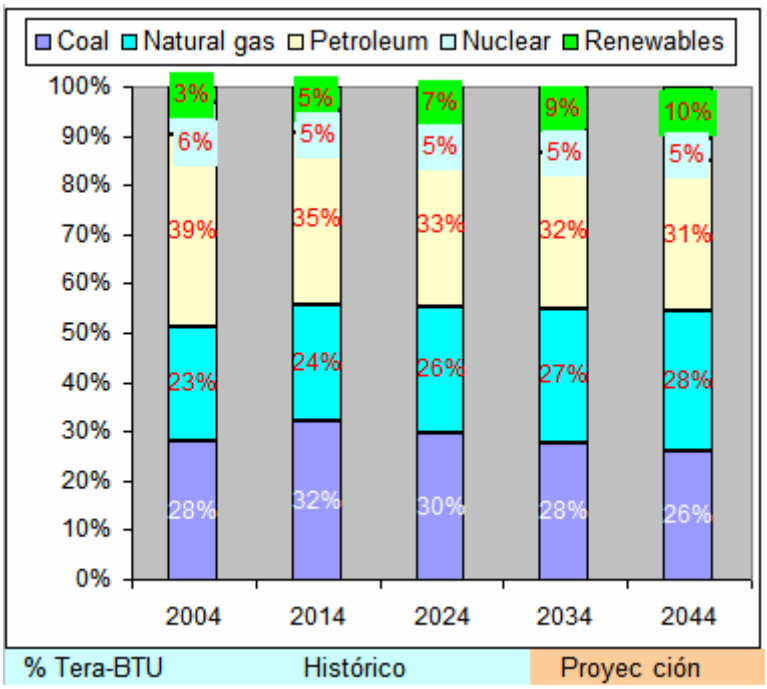
según fuentes de energía primaria

Energía	añoreal			Proyección	
(Tera Btu)	2004	2014	2024	2034	2044
Coal	120.253	172.567	179.654	186.741	193.827
Natural gas	99.795	128.145	155.451	182.757	210.063
Petroleum	169.497	188.032	201.323	214.615	227.906
Nuclear	27.265	25.284	28.386	31.488	34.590
Renewables	14.278	25.409	42.664	59.919	77.173
Total	431.087	539.438	607.479	675.519	743.559



Matriz porcentual de consumo mundial de energía según fuentes de energía primaria

(%) Energía	añoreal 2004	2014	2024	Proyección 2034	2044
Coal	28%	32%	30%	28%	26%
Natural gas	23%	24%	26%	27%	28%
Petroleum	39%	35%	33%	32%	31%
Nuclear	6%	5%	5%	5%	5%
Renewables	3%	5%	7%	9%	10%
Total	100%	100%	100%	100%	100%



En las cifras mundiales, ofrecidas tanto en el periodo histórico: 2004-2014-2024, como en los proyectados al 2034-2044, se puede apreciar la preponderancia de los combustibles fósiles, sobre otro tipo de energías siempre por encima del 80% del total.

Las energías *renovables* pasan del 3% en 2004 al 10% en el 2044; la *energía de fisión nuclear* se mantiene en torno a un 5%; El *petróleo* desciende del 39% al 31%; el gas natural se incrementa del 23% al 28%, y el carbón se mantiene entre un 28% y un 26%.

El uso del Petróleo, Gas Natural y Carbón, están experimentado cambios en su porcentaje de participación como combustibles para la generación de energía en trabajo, debido principalmente a la sustitución del uso del carbón por el gas natural.

El carbón cobra importancia global debido a la utilización en los países poco desarrollados.

El porcentaje de participación del total de los combustibles fósiles no experimenta variaciones, tanto en los datos históricos como en los proyectados hasta el 2044, situándose en el 90% en el 2004; 91% en el 2014; 89% en el 2024, y la serie proyectada pasa a representar el 87% en el 2034, y el 85% en el 2044.

Cómo los datos de trabajo del presente estudio, se realizan en base a las fuentes de EIA (*Energy Information Administration. EEUU*) y BP (*British Petroleum*), se ha realizado una comparativa porcentual de la distribución de las fuentes de Energía Primaria entra ambas fuentes.

*

2.2 Comparación del consumo Mundial según fuentes de energía de la fuente EIA, y la fuente BP.

Comparación del consumo Mundial de energía de la fuente EIA, y la fuente BP.

Medida	Tera-BTU 10^{12}			Exa-julios 10^{15}		
Consumo	**EIA**	años	reales	**BP**	años	reales
Energía	2004	2014	2024	2004	2014	2024
Coal	119.682	172.567	179.654	121,0	161,5	165,4
Natural gas	99.708	128.145	155.451	96,4	122,0	148,7
Petroleum	169.321	188.032	201.323	167,1	179,5	199,0
Nuclear	27.265	25.284	28.386	30,1	27,7	30,7
Renewables	14.225	25.409	42.664	15,1	27,6	48,3
Total	430.201	539.438	607.479	429,8	518,4	592,2
Un exajulio	equivale	a 948	billones	10^{12}	de	BTU
% Consumo	**EIA**	Tera-BTU		**BP**	Exa-julios	
Energía	2004	2014	2024	2004	2014	2024
Coal	28%	32%	30%	28%	31%	28%
Natural gas	23%	24%	26%	22%	24%	25%
Petroleum	39%	35%	33%	39%	35%	34%
Nuclear	6%	5%	5%	7%	5%	5%
Renewables	3%	5%	7%	4%	5%	8%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente datos: EIA, BP. Elaboración propia

El factor de conversión calorífico de exajulios a BTU es aproximado. Por ejemplo, el total de los 429,8 exajulios del año 2004 de la fuente de BP equivaldrían en BTU a : 429,8 exajulios x 948 = 407.443 Tera BTU. Siendo en la fuente de EIA de: 430.201 Tera BTU

La comparación entre ambas fuentes (EIA y BP) del consumo según fuente de energía primaría, donde mejor se expresa su afinidad es en las distribuciones porcentuales, siendo éstas muy parecidas, variando según los casos, entre uno o dos puntos porcentuales; lo que confirma el rigor de las fuentes aunque pertenezcan a diferentes entidades de registro.

2.3 Consumo de energía en el ámbito de la OCDE y No – OCDE

La evolución del consumo de energía, según tipo de fuente de energía primaria, en el ámbito de la OCDE y No – OCDE. en los años: 2004; 2014; 2024 y los proyectados al 2034 y 2044 en Tera BTU sería la siguiente.

Consumo de energía OCDE y no OCDE

OCDE	EIA	años	reales	Proyección	
Tera-BTU	2004	2014	2024	2034	2044
Coal	46.543	41.707	23.562	5.416	0
Natural gas	53.883	60.145	67.877	75.610	83.343
Petroleum	100.795	90.830	89.423	88.016	86.609
Nuclear	23.163	19.550	18.594	17.639	16.684
Renewables	9.205	14.628	19.803	24.977	30.152
Total	233.588	226.860	219.260	211.660	204.059

No OCDE	EIA	años	reales	Proyección	
Tera-BTU	2004	2014	2024	2034	2044
Coal	73.139	130.861	156.092	181.324	193.827
Natural gas	45.825	68.000	87.574	107.147	126.720
Petroleum	68.526	97.202	111.900	126.598	141.297
Nuclear	4.102	5.735	9.792	13.849	17.906
Renewables	5.020	10.781	22.861	34.941	47.021
Total	196.613	312.579	388.219	463.859	539.500

% Energía respecto del total del consumo Mundial

OCDE	EIA	años	reales	Proyección	
% Energía	2004	2014	2024	2034	2044
Coal	39%	24%	13%	3%	0%
Natural gas	54%	47%	44%	41%	40%
Petroleum	60%	48%	44%	41%	38%
Nuclear	85%	77%	66%	56%	48%
Renewables	65%	58%	46%	42%	39%
Total	54%	42%	36%	31%	27%

% Energía respecto del total del consumo Mundial

No OCDE	EIA	años	reales	Proyección	
% Energía	2004	2014	2024	2034	2044
Coal	61%	76%	87%	97%	100%
Natural gas	46%	53%	56%	59%	60%
Petroleum	40%	52%	56%	59%	62%
Nuclear	15%	23%	34%	44%	52%
Renewables	35%	42%	54%	58%	61%
Total	46%	58%	64%	69%	73%

Sobre el total del consumo mundial de energía, el grupo OCDE representaba el 54% del total de energía consumida en el 2004 por el 46%

en el grupo No OCDE; siendo para el año 2044 del 27% en el grupo OCDE y del 73% en el grupos No OCDE.

El carbón pasa en el grupo OCDE de representar el 36% en el 2004 a ser cero en el 2044; mientras que el grupo No OCDE pasa del 61% a acaparar el 100% del Consumo en el 2044.

El gas natural pasa en el grupo OCDE de representar el 54% en el 2004 al 40% en el 2044; mientras que el grupo No OCDE pasa del 46% al 60% del Consumo.

El petróleo pasa en el grupo OCDE de representar el 60% en el 2004 al 38% en el 2044; mientras que el grupo No OCDE pasa del 40% al 62% del Consumo.

La energía nuclear pasa en el grupo OCDE de representar el 85% en el 2004 al 48% en el 2044; mientras que el grupo No OCDE pasa del 15% al 52% del Consumo.

La energía de fuentes renovables pasa en el grupo OCDE de representar el 65% en el 2004 al 39% en el 2044; mientras que el grupo No OCDE pasa del 35% al 61% del Consumo.

2.4 Población y energía

Evolución de la Población

Población	EIA	años	reales	Proyección	
Millones hab.	2004	2014	2024	2034	2044
OCDE	1.236	1.324	1.398	1.472	1.547
No OCDE	5.245	6.049	6.759	7.469	8.179
Mundo	6.481	7.373	8.157	8.941	9.726

Población	EIA	años	reales	Proyección	
(%) hab.	2004	2014	2024	2034	2044
OCDE	19%	18%	17%	16%	16%
No OCDE	81%	82%	83%	84%	84%
Mundo	100%	100%	100%	100%	100%

La población del grupo OCDE tenía en el año 2004: 1.236 millones de personas, mientras que en el 2044, será de 1.547 (19% en 2004 y 17% en 2044); mientras que la población del grupo No OCDE su población era en 2004 de 5.245 millones de personas y en el 2044 será de 8.179 millones de personas (81% en el 2004 y 83% en el 2044)

Los grandes desequilibrios entre el grupo OCDE y No OCDE, se pueden ver en la comparación de los porcentajes que cada grupo ha tenido en la participación en el consumo mundial de energía y el número de habitantes de cada grupo.

(%) Población y consumo energía

OCDE y no OCDE

Población	EIA	años	reales	Proyección	
(%) hab.	2004	2014	2024	2034	2044
OCDE	19%	18%	17%	16%	16%
No OCDE	81%	82%	83%	84%	84%
(%) Energía					
OCDE	54%	42%	36%	31%	27%
No OCDE	46%	58%	64%	69%	73%

En el año 2004, el 19% de la población mundial que representaba el grupo OCDE consumía el 54% de la energía mundial, y en el 2044 representará el 16% de la población mundial y el 27% de la energía mundial.

Mientras que el grupo No OCDE, en el 2004 representaba el 81% de la población mundial, y consumía el 46% de la energía mundial, y en el 2044 representará el 84% de la población mundial y consumirá el 73% de la energía mundial.

Estos desequilibrios se manifiestan en los Giga BTU 10^9 por persona tanto en las serie histórica como en la proyectada.

Ratios consumo energía por persona

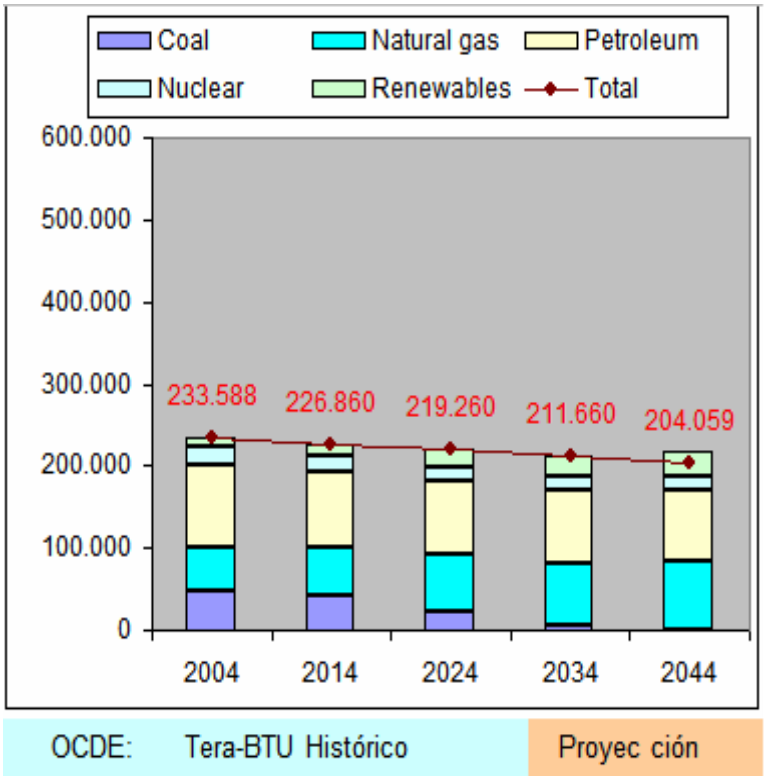
OCDE y no OCDE

Millón-BTU / persona	EIA 2004	años 2014	reales 2024	Proyección 2034	2044
OCDE	189	171	157	144	132
No OCDE	37	52	57	62	66
Relación	consumo	persona	(OCDE)	/ (No	OCDE)
Relación	5,04	3,32	2,73	2,31	2,00

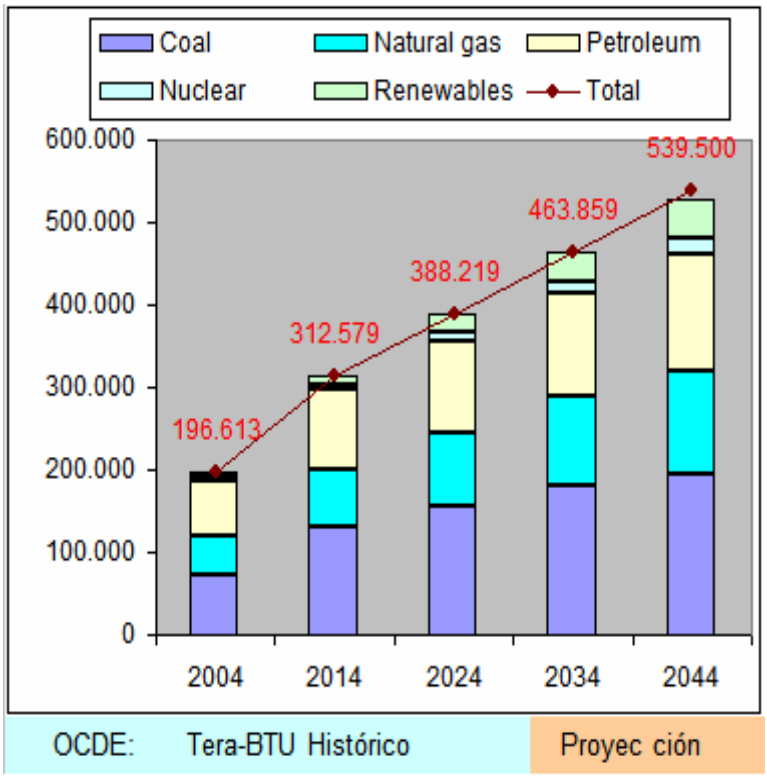
En el año 2004 un habitante de la OCDE consumía de media 5,04 veces más que un habitante de la no OCDE, tanto en la serie histórica como en la proyectada se aprecia una tendencia decreciente, pero aún así en el año 2044, un habitante de la OCDE consumirá de media el doble que otro de la No OCDE.

Sin embargo, debido a la diferencia de la población sobre el consumo global de energía el Grupo de la No OCDE superaría ampliamente al Grupo OCDE. Los datos en Giga BTU 10^9 se pueden apreciar en los siguientes gráficos.

OCDE



No OCDE



En la medida que el grupo No OCDE incrementa su población y la ratio de consumo por habitante, aumenta de forma considerable el consumo de energía global, y de manera creciente al consumo de los combustibles fósiles, lo que está llevando a diferentes naciones a introducir en su *modelo energético* la implementación de fuentes de energía renovable (hidráulica, eólica, solar, etc.). Sin embargo, estas fuentes no tienen perspectivas de ser fuentes de sustitución, pues, aunque algunos países tengan capacidad para desarrollar estas energías, los países poco desarrollados dentro del grupo No OCDE no las tienen.

En los países poco desarrollados, las tecnologías más asequibles para la transformación de la energía en trabajo productivo, son las centrales de generación eléctrica basadas en la combustión del carbón, el gas natural y el petróleo. De hecho, la perspectiva del incremento del carbón como fuente de energía para su conversión en electricidad en los países de la No – OCDE menos desarrollados es una consecuencia de ello.

*

2.5 Reservas probadas de combustibles fósiles

Reservas probadas de combustibles fósiles

BP.Reservas de	petróleo:Miles de	barriles **(A)**
año 2000	año 2010	año 2020
1.300.924.076	1.636.886.664	1.734.810.537
% sobre década anterior	25,8%	6,0%
Reservas	2000-2010	2010-2020
nuevas	335.962.588	97.923.873
Producción	anual Miles de	barriles **(B)**
año 2000	año 2010	año 2024
27.211.762	30.371.966	35.461.778
% sobre década anterior	11,6%	16,8%
Años duración	reservas 2020	(A) / (B) =
		49

BP: Reservas de	Gas Natural	Mil Millones m^3 **(A**
año 2000	año 2010	año 2020
138.023	179.941	190.268
% sobre década anterior	30,4%	5,7%
Reservas	2000-2010	2010-2020
Nuevas	41.918	10.327
Producción	anual	Mil Millones m^3 **(B**
año 2000	año 2010	año 2024
2.401	3.129	4.143
% sobre década anterior	30,3%	32,4%
Años duración	reservas 2020	(A) / (B) =
		46

Reservas	Carbón	Año 2020 **(A)**
Millones de	toneladas	1.074.108
Producción	Millones de	toneladas
año 2004	año 2014	año 2024 **(B)**
5.730	8.182	9.057
% sobre década anterior	42,8%	10,7%
Años duración	reservas 2020	(A) / (B) =
Fuente BP 2026	*Cálculos propios*	**119**

Las reservas demostradas de combustibles fósiles, son las reservas conocidas que han podido ser evaluadas, y son explotables con la actual tecnología y en términos de rentabilidad de mercado.

Los datos de las reservas vienen determinados en distintas unidades de medida, el barril, para el Petróleo (crudo), el metro cúbico, para el Gas Natural y la tonelada métrica, para el Carbón.

Las reservas de estas tres fuentes de energía en el año 2020, son los del informe del 2026 de British Petroleum (BP):

Las reservas demostradas globales de petróleo han ido aumentando entre el año 2000 y el 2020 hasta alcanzar en ese año los 1.734.810.537 miles de barriles, sin embargo, el descubrimiento de nuevas reservas, ha disminuido sensiblemente, entre el año 2000 y 2010 las reservas crecieron un 25,8%, mientras que las reservas nuevas entre el 2010 y el 2024 lo hicieron en un 6%. De manera diferente la producción entre el año 2000 y el 2014 creció en un 11,6% y entre el año 2010 y 2024 lo hicieron en un 16,8%.

En este escenario las reservas probadas de *petróleo* del año 2020, con el consumo del año 2024 tendrían una duración de 49 años; sin embargo pueden ser algunos año más pues seguirán descubriéndose nuevas reservas, aunque como se puede ver en la evolución de los nuevos descubrimientos, éstos serán menores y las mismas serán de una baja TRE para su explotación. Por el contrario la producción demandada tiene un signo ascendente por lo que *en el último cuarto de siglo, se podrán dar por finalizadas.*

El mismo destino parece ser el del *gas natural*, con una tendencia a la baja en el descubrimiento de nuevas reservas que irán correspondiendo a un baja TRE, y una tendencia al alza en su producción con un horizonte final de 46 años, que tal vez también pueda llegar al último cuarto del presente siglo.

El *carbón* es el combustible fósil con mayores reservas, pero también es el combustible fósil más contaminante, pues su combustión, es el que más

toneladas de CO_2 genera en el aire atmosférico. Por esta razón, el carbón es un combustible que algunas naciones están descartando de su matriz energética y, por ello, su producción está descendiendo.

Tal y como se vio, en los países de la OCDE este combustible dejará de usarse totalmente en la década del 2030, sin embargo, en el conjunto de los países No OCDE está previsto su incremento de forma progresiva, que de mantenerse en la producción del 2024 podría durar 119 años.

Para disponer de una única unidad de medida para las tres tipos de combustibles fósiles, se han convertido a la Unidad de medida denominada: Millón de Toneladas Equivalentes de Petróleo (oil) (Mtep), según la tabla de conversión ofrecida por British Petroleum (BP), esta unidad de medida es equiparable en poder calorífico para producir energía y por lo tanto es comparable.

Conversión reservas 2020 a Mtep

A) Reservas combustibles fósiles

BP.Reservas de Petróleo Millones de barriles	BP: Reservas de de Gas Natural Millones m^3 (A	BP.Reservas de Carbón Millones toneladas
año 2020	*año 2020*	*Año 2020*
1.734.811	190.267.877	1.074.108

B) Factor conversión tonelada equivalente de petroleo (tep)

Petróleo	Gas Natural	Carbón
barril	**m3**	**Tonelada**
0,137	0,00094	0,6
Mtep	Mtep	Mtep

A *B) *M.Toneladas equivalentes de petróleo (Mtep)*

Mtep petroleo	**Mtep Gas Natural**	**Mtep Carbón**
237.669	**178.852**	**644.465**

Fuente: BP. Elaboracion propia

La fuente de datos de las reservas probadas mostradas, están evaluadas para el año 2020 por British Petroleum (BP) los cuales los actualiza al final de cada década.

CAPÍTULO III

Los límites del Sistema energético Mundial

*

3.1 Conversión de Metp a Tera BTU

Las reservas de combustibles fósiles tienen fecha de caducidad, principalmente en el petróleo y el gas natural. Como se ha visto anteriormente, las reservas demostradas de estos dos tipos de combustible fósiles contabilizadas por BP al final de cada década desde la década del 2010 tienen una tendencias decreciente, por otra parte, la producción está en aumento.

Con el fin de poder cuantificar las reservas actuales de los combustibles fósiles: petróleo y gas natural, para poder estimar según el consumo medido en BTU, se ha procedido a la conversión de las reservas de petróleo, gas natural y carbón estimadas en Mtep, a Tera BTU según el factor de conversión de una Mtep 10^9 x 39,68 ratio para un Tera BTU 10^9

Conversión Mtep reservas 2020 a Tera BTU

Mtep x	Factor conversión 39,68	= Tera BTU
Reservas 2020	**en Mtep**	**en Tera BTU**
Gas Natural	237.669	9.430.708
Petróleo	178.852	7.096.840
Carbón	644.465	25.572.363
Total fósil	1.060.986	42.099.910

Fuente. BP. Elaboración propia

*

3.2 Proyección de la población Mundial hasta el año 2074

Población Mundial; OCDE y no OCDE

Millones habitantes	2024	2034	2044	2054	2064	2074
OCDE	1.398	1.472	1.547	1.621	1.695	1.770
Sobre Mundo	21%	20%	19%	18%	18%	17%
No OCDE	6.759	7.469	8.179	8.889	9.599	10.309
Sobre Mundo	83%	84%	84%	85%	85%	85%
Mundo	8.157	8.941	9.726	10.510	11.294	12.078

*

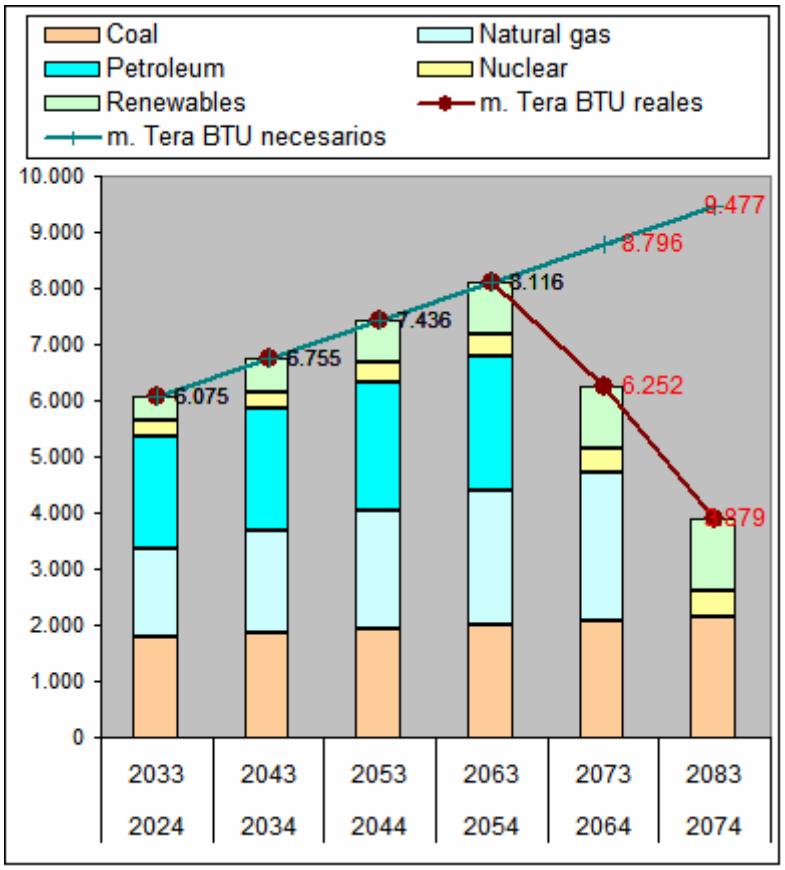
3.3 Consumo energía por década hasta el final del pétroleo y el gas natural

El consumo se ha proyectado (en base a la fuente de datos de EIA de los años 2022; 2023, y 2024), por décadas en miles de Tera BTU, acumulando el consumo hasta que coincide aproximadamente al acumulado consumido con las reservas probadas del 2024 de petróleo y gas natural.

Consumo miles Tera BTU por década						
m. Tera BTU	2024	2034	2044	2054	2064	2074
MUNDO	2033	2043	2053	2063	2073	2083
Coal	1.797	1.867	1.938	2.009	2.080	2.151
Natural gas	1.555	1.828	2.101	2.374	2.647	0
Petroleum	2.013	2.146	2.279	2.412	0	0
Nuclear	284	315	346	377	408	439
Renewables	427	599	772	944	1.117	1.289
m. Tera BTU reales	6.075	6.755	7.436	8.116	6.252	3.879
m. Tera BTU necesarios	6.075	6.755	7.436	8.116	8.796	9.477
Diferencia:	0	0	0	0	-2.545	-5.598

Reservas	**2020**	Consumo	2024	2024	2024
	miles TeraBTU	m. TeraBTU	2063	2083	2083
Carbón	25.572				**11.842**
Petróleo	7.097		**8.850**		
Gas N.	9.431			**10.503**	

Fuente EIA. Elaboración propia.



Fuente EIA. Elaboración propia.

Según la proyección, el acumulado del consumo de energía tendrá su final para el petróleo en la década de 2054-2063; el gas natural lo hará en la década 2073-2084, y esa década, el carbón habrá consumido 11.842 mil Tera BTU de los 25.572 de las reservas probadas del 2020.

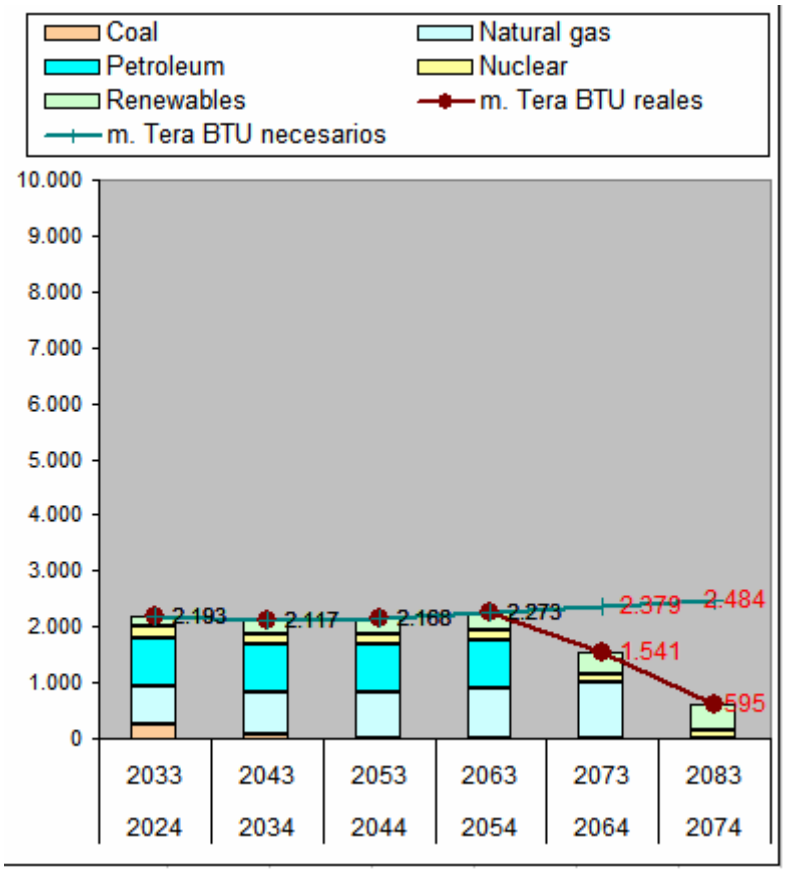
En la década 2064-2073 el déficit de energía sería de -2.545 miles de Tera BTU que en porcentaje supone un déficit de -29%.

En la década 2073-2084, el déficit energético habrá sumado -5.598 mil Tera BTU de los 9.477 necesarios para mantener el consumo histórico, que en porcentaje tendrá un déficit del -59%.

El agotamiento de los dos combustibles que más poder calorífico aportan al Sistema Energético Mundial: petróleo y gas natural, tendrá una repercusión particular tanto en los países de la OCDE como No OCDE.

En los países de la OCDE sería:

Consumo	miles	Tera	BTU	por	década	
m. Tera BTU	2024	2034	2044	2054	2064	2074
OCDE	2033	2043	2053	2063	2073	2083
Coal	236	54	0	0	0	0
Natural gas	679	756	833	911	988	0
Petroleum	894	880	866	852	0	0
Nuclear	186	176	167	157	148	138
Renewables	198	250	302	353	405	457
m. Tera BTU reales	2.193	2.117	2.168	2.273	1.541	595
m. Tera BTU necesarios	2.193	2.117	2.168	2.273	2.379	2.484
Diferencia:	0	0	0	0	-838	-1.889

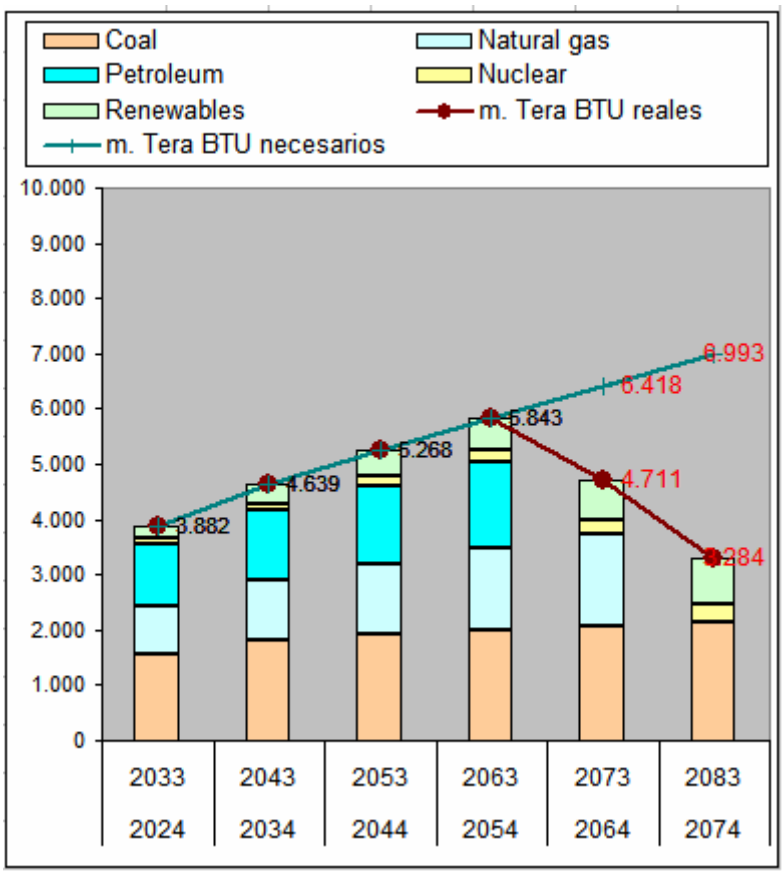


El déficit en la década de 2064-2073, sería de -838 miles de Tera BTU sobre los 2.379 necesarios que en porcentaje supondría el déficit sería del -35%.

En la década de 2074-2083 el déficit sería de -1.899 miles de Tera BTU sobre los 2.484 necesarios que en porcentaje supondría el -76%.

En el grupo No OCDE sería:

Consumo miles Tera BTU por década						
m. Tera BTU	2024	2034	2044	2054	2064	2074
No OCDE	2033	2043	2053	2063	2073	2083
Coal	1.561	1.813	1.938	2.009	2.080	2.151
Natural gas	876	1.071	1.267	1.463	1.659	0
Petroleum	1.119	1.266	1.413	1.560	0	0
Nuclear	98	138	179	220	260	301
Renewables	229	349	470	591	712	833
m. Tera BTU reales	3.882	4.639	5.268	5.843	4.711	3.284
m. Tera BTU necesarios	3.882	4.639	5.268	5.843	6.418	6.993
Diferencia:	0	0	0	0	-1.707	-3.708



El déficit en la década de 2064-2073, sería de -1.707 miles de Tera BTU sobre los 6.418 necesarios que en porcentaje supondría el -26%.

En la década de 2074-2083 el déficit sería de -3.708 miles de Tera BTU sobre los 6.993 necesarios que en porcentaje supondría el -53%.

*

3.4 Reflexión sobre el final del petróleo y gas natural

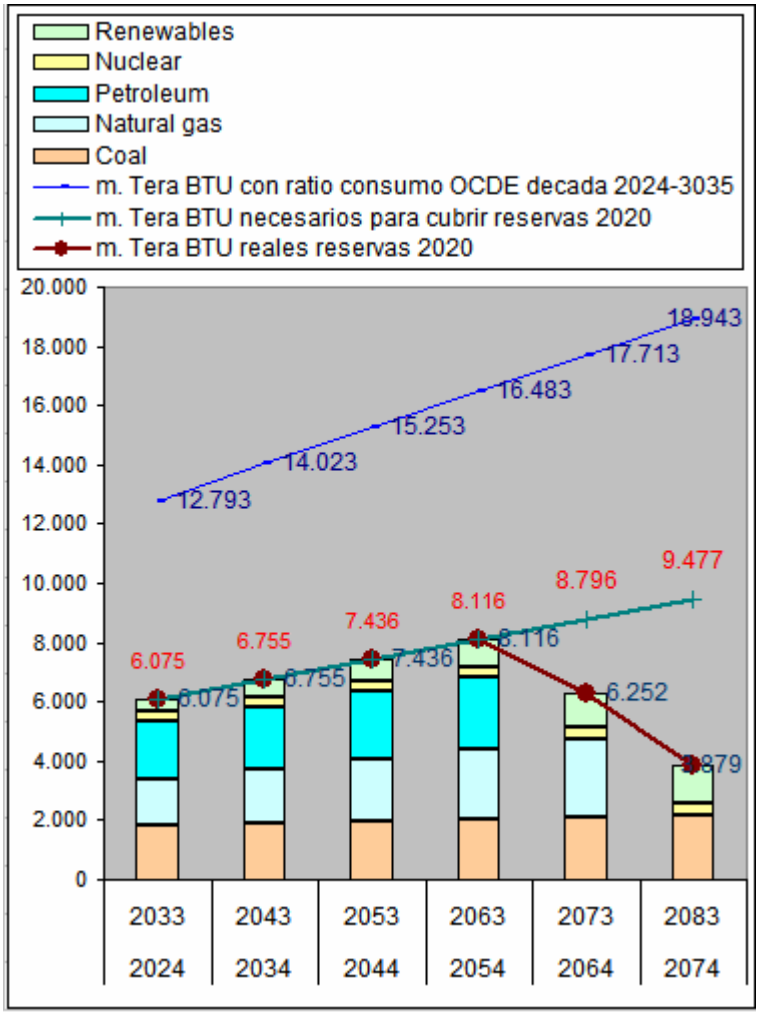
Estos déficit expresados difícilmente van a poder ser sustituidos por otras fuentes de energía. Hasta ahora y en una perspectiva de futuro en el paradigma tecnológico actual no tiene un sustituto real para el *motor de combustión interna* en los pilares de la economía física:

El transporte pesado y de larga distancia: Los barcos cargueros transoceánicos, la aviación comercial y los camiones de gran tonelaje requieren una densidad energética por unidad de peso que las baterías de litio actuales (y previsibles) no pueden proporcionar. Multiplicar el peso de las baterías reduce drásticamente la carga útil del transporte, volviéndolo inviable.

La maquinaria pesada y el sector agrícola: La soberanía alimentaria mundial depende de tractores, cosechadoras y maquinaria minera que funcionan con diésel. Si esa maquinaria se detiene o pierde potencia, la productividad agrícola cae de forma inmediata. Si el motor de combustión interna no encuentra un reemplazo con la misma potencia y autonomía para tractores y cosechadoras, la productividad de la agricultura industrial se desplomará. La agricultura actual es, en esencia, un proceso de transformación de petróleo y gas en calorías alimentarias, y es la base sobre la que se asienta el resto de sectores económicos.

En términos de historia tecnológica y transiciones energéticas 50 años es un suspiro. La escala del sistema: El aparato industrial global —carreteras, puertos, flotas de camiones, barcos transoceánicos, maquinaria agrícola y centrales eléctricas— representa billones de dólares en capital físico diseñado exclusivamente para funcionar con carbono.

Los siguientes datos expresan como el final de las reservas de combustibles fósiles pone en cuestión el mito del desarrollo ilimitado, no solo en el mantenimiento del consumo de energía actual, sino que cuestiona el anhelado desarrollo económico para toda la humanidad basado en los estándares de vida actuales de los países de la OCDE.



m. Tera BTU / millón hab. Reserv 2020						
Décadas /	2024	2034	2044	2054	2064	2074
Ámbito	2033	2043	2053	2063	2073	2083
OCDE real	1,57	1,44	1,40	1,40	0,91	0,34
No OCDE real	0,57	0,62	0,64	0,66	0,49	0,32
Mundo real	0,74	0,76	0,76	0,77	0,55	0,32

m. Tera BTU pro yecta dos Reserv 2020						
m. Tera BTU	2024	2034	2044	2054	2064	2074
MUNDO	2033	2043	2053	2063	2073	2083
Coal	1.797	1.867	1.938	2.009	2.080	2.151
Natural gas	1.555	1.828	2.101	2.374	2.647	0
Petroleum	2.013	2.146	2.279	2.412	0	0
Nuclear	284	315	346	377	408	439
Renewables	427	599	772	944	1.117	1.289
m. Tera BTU reales reservas 2020	6.075	6.755	7.436	8.116	6.252	3.879
m. Tera BTU necesarios para cubrir reservas 2020	6.075	6.755	7.436	8.116	8.796	9.477
m. Tera BTU con ratio consumo OCDE decada 2024-3035	12.793	14.023	15.253	16.483	17.713	18.943

Proyección basada en los datos de consumo de EIA de los años 2015-2024,

Los datos sobre de los contenedores de energía basada en los combustibles fósiles del planeta, visto en las *reservas probadas de combustibles fósiles del 2020*, están vaciándose a un ritmo compatible con un colapso en este siglo.

Por otra parte, los datos de la proyección hacia un nivel de desarrollo global, basada en los estándares de consumo de energía de los países de la OCDE en el año 2024, demuestran que el motor de la demanda global apenas está encendido, puesto que el 80% de la humanidad consume una fracción de lo que exige el modelo de progreso industrializado occidental.

Ambas variables demuestran que la promesa de la modernidad ilustrada e industrializada de la universalización del bienestar a todo el género humano a través del desarrollo en el actual paradigma energético es un cheque sin fondos, y demuestra que el bienestar de la minoría OCDE solo ha sido posible gracias a mantener al resto del planeta en un subconsumo relativo. Universalizar el consumo a los niveles de las sociedades desarrolladas es, matemáticamente, acelerar el fin de la civilización industrial por falta de Energía.

El tiempo de sustitución: Históricamente, sustituir una sola fuente de energía primaria (como pasar de la madera al carbón, o del carbón al petróleo) ha tomado entre 50 y 100 años a nivel global. La tarea actual exige cambiar el 80% de la matriz energética y rediseñar la maquinaria pesada en la mitad de ese tiempo, bajo la presión añadida de que el recurso motor (los fósiles) se encarece y agota simultáneamente.

Para desarrollar e implementar ese nuevo sistema tecnológico que reemplace a los combustibles fósiles se necesita una cantidad astronómica de energía. Aquí radica la trampa termodinámica:

¿De dónde sale la energía para la transición? Construir millones de nuevos dispositivos de captura energética, infraestructuras de transporte pesado alternativas (quizás basadas en vías electrificadas o vectores energéticos

ultra densos) y nuevas tecnologías industriales requiere quemar los últimos cartuchos de combustibles fósiles disponibles.

Si la economía mundial empieza a colapsar antes debido al agotamiento de los recursos fáciles de extraer, la humanidad perderá la capacidad excedente (económica y energética) necesaria para financiar y construir el sistema de reemplazo. Es lo que algunos autores llaman el "atrapamiento energético": gastar la energía que nos queda en mantener el día a día o sacrificar el consumo actual para construir el futuro.

Si la Ilustración y la Revolución Industrial redefinieron el pensamiento y la producción en un entorno de abundancia percibida, la supervivencia en los próximos cincuenta años exigirá una gestión científica, ética y política rigurosa de la escasez y los límites biofísicos.

CAPÍTULO IV

Los impactos medio ambientales por el crecimiento económico

*

4.1 Reservas probadas 2020 en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo (Mtep)

Como ya se vio anteriormente, la diferentes unidades de medida utilizadas para contabilizar las reservas de Carbón (tonelada); petróleo (Barril), y Gas Natural (m^3) se pueden unificar en toneladas con el mismo poder calorífico a través de ratios de conversión. Esta unificación en Tonelada Equivalente de Petróleo (tep) permite saber la energía real que cada fuente de combustible fósil representa, y también permite conocer el CO_2 que cada *Tonelada Equivalente de Petróleo* (tep) emitirá en su combustión, según fuerte de energía fósil.

Reservas probadas 2020 en Mtep

Factor conversión a tonelada equivalente de petróleo (tep)		
Petróleo	Gas Natural	Carbón
barril	**m3**	**Tonelada**
0,137	0,00094	0,6
BP.Reservas de Petróleo Millones de barriles	BP: Reservas de de Gas Natural Millones m^3 (A	BP.Reservas de Carbón Millones toneladas
año 2020	*año 2020*	*Año 2020*
1.734.811	190.267.877	1.074.108
Mtep	**Mtep**	**Mtep**
237.669	**178.852**	**644.465**

Mtep = Millones toneladas equivalentes de petróleo

Todas las reservas demostradas del año 2020 según fuente de BP, expresadas en diferentes unidades de medida: barril para el *petróleo*, m^3 para el *gas natural*, y tonelada para el *carbón*, aplicando las ratios de conversión correspondientes (reconocidos internacionalmente) quedan expresadas en Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo *Mtep*.

*

4.2 Ratios de transformación de combustibles fósiles a CO_2

Por otra parte, conocido el poder calorífico equivalente según fuente de energía fósil se pueden conocer los Millones de toneladas de CO_2 que encierran en la combustión de las mismas, para ello se han calculado las ratios de conversión utilizando los datos de los registros de EIA de CO_2 y Consumo de BTU.

Consumo en Giga BTU

Giga BTU	Año 2022	Año 2023	Año 2024
Carbón	169.965.969	175.102.645	179.654.044
Gas Natural	150.241.006	152.086.262	155.451.010
Petróleo	195.630.294	199.350.783	201.323.436

Consumo	Giga -BTU a	Mtep según	Fórmula
Giga-BTU	x 10^9 /	39.683.051,2	/ 10^6 = Mtep

A) Mtep en Giga BTU	Año 2022	Año 2023	Año 2024
Carbón	4.283,1	4.412,5	4.527,2
Gas Natural	3.786,0	3.832,5	3.917,3
Petróleo	4.929,8	5.023,6	5.073,3

Millones de Toneladas de CO2 según años

B) MTm CO_2	Año 2022	Año 2023	Año 2024
Carbón	16.145	16.651	17.077
Gas Natural	7.948	8.046	8.224
Petróleo	12.211	12.618	12.626

B /A Ratios CO_2 reales basado	**en datos**	**fuente EIA**	
Combustible	Año 2022	Año 2023	Año 2024
Carbón	3,77	3,77	3,77
Gas Natural	2,10	2,10	2,10
Petróleo	2,48	2,51	2,49

Fuente datos:EIA Elaboraciónpropia

Para ello se ha tomado el consumo de los Giga BTU de las fuentes de energía fósil de los años 2022, 2023, 2024 para su conversión a Mtep basada en la ratio equivalente de 39.683.051,2 BTU por (tep); utilizando la fórmula:

-1º se convierte los giga BTU a unidades BTU 10^9;

-2º se divide por el factor de conversión a (tep)

-3º se multiplica por 10^6 para obtener los Mtep.

Conocidas las Mtep, y también los Mtm de las emisiones globales de CO_2, se ha divido los Mtm de CO_2 por los Mtep en BTU de cada fuente de energía obteniendo las ratios reales de CO_2 que cada fuente combustible encierra en su combustión y externalización a la atmósfera terrestre.

Las ratios de conversión obtenidas son equivalentes en todos los años.

A una (tep) de carbón corresponden 3,77 toneladas de CO_2; a una (tep) de Gas Natural 2,10 toneladas de CO_2, y a una (tep) de petróleo 2,49 toneladas de CO_2, (media de 2,48, 2,51 y 2,49) de los años respectivos.

4.3 CO_2 potencial, o reservas pendientes de emisión, de las reservas probadas del 2020, y Partes Por Millón (ppm) equivalentes en el aire atmosférico.

Una vez establecidos los Mtep de cada fuente de energía, y las ratios de conversión a CO_2, se puede proceder a calcular los Mtm de CO_2 potenciales que se emitirán como mínimo en las próximas décadas hasta el agotamiento de las reservas probadas del 2020 de petróleo (49 años) y gas natural (47 años), y la parte correspondiente al carbón hasta el agotamiento de las reservas anteriores de petróleo y gas natural, quedando todavía durante varias décadas más, el resto de las reservas de carbón, sino se vuelve al uso masivo de este combustible fósil.

Variable (A). La emisión de CO_2, de las reservas de 2020 en Mtep, aplicando los factores de conversión para cada uno de los combustibles fósiles, suman 3.397.017 Millones de toneladas métricas (Mtm de CO_2)

= CO_2 pendiente	**de emitir de las**	**resevas del 2020**
Mtep	Mtep	Mtep
Petróleo	**Gas Natural**	**Carbón**
237.669	178.852	644.465
x 2,49 =	x 2,10 =	x 3,77 =
591.796	375.589	2.429.632
A) Total Mtm CO_2	**pendientes emitir**	3.397.017

Por otra parte, la cuestión más relevante de la emisión de CO_2 a la atmósfera es su traducción a **p**artes **p**or **mi**llon de CO_2 en el aire atmosférico (ppm).

Variable (B). Según NOAA las ppm de CO_2 en el aire atmosférico en el año 1980 eran de 338,76 y en el año 2024 de 424,61, siendo la diferencia acumulada de 85,85 ppm.

Variable (C). El CO_2 acumulado en ese periodo (1980-2024) fue de 1.230.082 Mtm.

Las variables (C) / (B) = a la variable (D) que serían los Mtm de CO_2 para el incremento de una ppm: 14.328 Mtm CO_2, tal y como se puede ver en el siguiente cuadro de datos

Millones de toneladas de CO_2 para una ppm

ppm acumuladas	**Año 1980**	**Año 2024**
1980 a 2024	338,76	424,61
B) 424,61 ppm 2024	- 338,76 ppm (1980)	85,85
C) CO_2 acumulado	1980-2024 (Mtm)	1.230.082
D) C / B =	Mtm CO_2 por ppm	**14.328**

A / D = ppm CO_2	**pendientes emitir**	**237**

ppm CO_2 año 2024	(+) ppm pendientes	= ppm año 2070-95
424,61	237,08	**662**

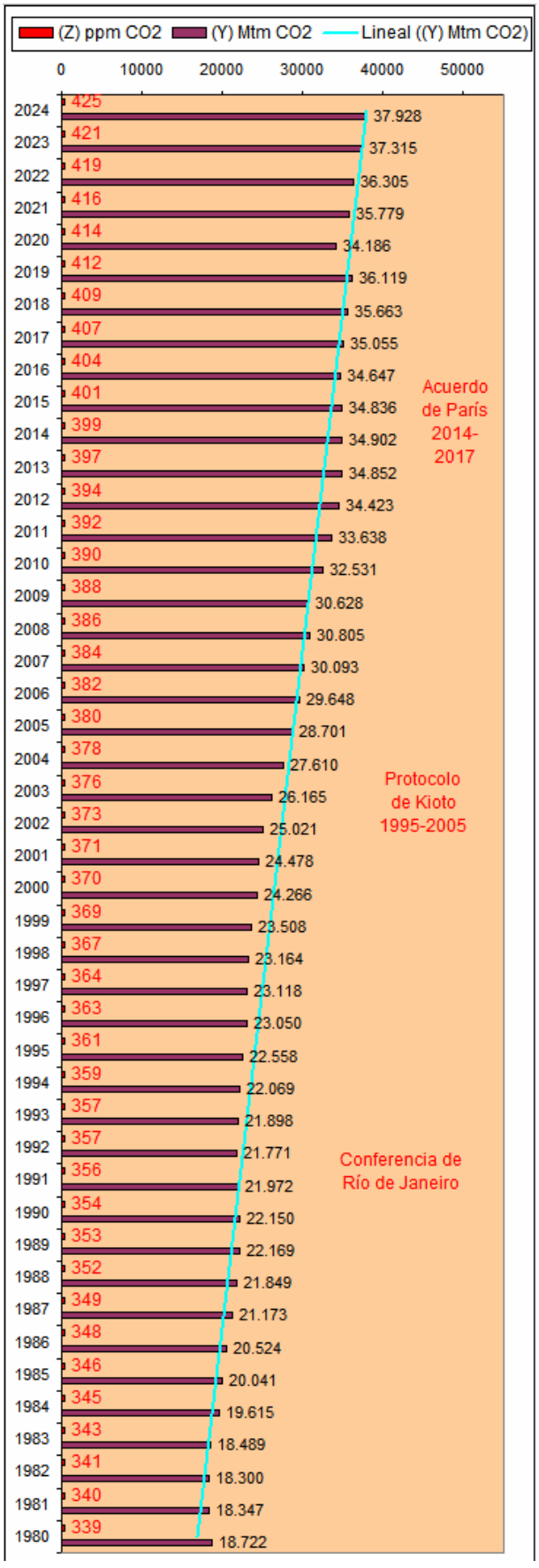
Fuente datos:BP- EIA. Elaboración propia.

(A / D) Ofrece el número de ppm resultantes de las emisiones de las reservas probadas de los combustibles fósiles del 2020 en Mtep (3.397.017 Mtm), siendo igual a: 237,08 ppm de CO_2 pendientes de emitir, que sumadas a las 424,61 del año 2024, supondría unas 662 ppm en el aire atmosférico en las décadas del 2070 al 2090, dependiendo de la utilización de las reservas de carbón que perdurarán después de agotarse las reservas de petróleo y gas natural.

4.4 Evolución de las emisiones de CO2 desde 1750 al 2024

Aunque la preocupación medioambiental ha llevado a intentar establecer acuerdos globales en el *modelo energético*, la mayoría de los países, o grupo de países, van a seguir actuando por libre, y en las perspectivas del desarrollo energético mundial, como se ha podido ver anteriormente, estos cambios van a tener una incidencia muy pequeña.

Evolución de las emisiones de CO_2



ppm de CO_2 en el aire atmosférico en 1750 (280)

Fuente datos: CO_2: BP; ppm: NOA. Elaboración propia.

De 1980 al 2024, las emisiones de CO_2 y las ppm de CO_2 en el aire atmosférico (con la excepción del año 2009 por la crisis económica), han ido creciendo de manera constante.

En el año 1980 se emitieron a la atmósfera 18.772 millones de toneladas de CO_2, y en el año 2024: 37.938.

En cuanto a las ppm de CO_2, en el año 1750 eran (280) y en el año 1980, (339) (según NOAA que tiene registros desde 1959); en 230 años subieron 59 ppm, pero en 2024 eran de (425), ósea, en 44 años subieron 86 ppm, a pesar de los intentos como el acuerdo de Kioto, y de París de reducirlas, por lo que el crecimiento económico tumba todas las buenas intenciones.

La correlación de ambas variables: (Mtm CO_2) y (ppm CO_2) tomando los datos de los 44 años es muy alta (r = 0,98) (% r2 =96%), siendo la variable de las emisiones de CO_2, la determinante en el crecimiento de las ppm de CO_2, responsables del incremento del efecto invernadero en la atmósfera.

Como se verá a continuación el aumento del PIB-PPA (a pesar de las eficiencias de disminución energética por unidad de PIB-PPA), está en estrecha correlación con el aumento de las emisiones de CO_2, al sustentarse el sistema productivo mundial en un 80% en los combustibles fósiles

Entre 1980 y el 2024 el PIB-PPA se multiplica por 5,04; el consumo de energía lo hace por 2,16 y las emisiones de CO_2 por 2,03.

Comparación años 1980-2024

Año	Billón PPA	Tera BTU	Mtm CO_2
1980	29	280.978	18.722
2024	148	606.037	37.928
	Los Billones de PIB PPA se multiplican por:	Los Billones de BTU se multiplican por:	Los Mtm de CO_2 se multiplican por:
	5,04	2,16	2,03

La correlación (r) y ratios de estas tres series de datos de todos los años del periodo 1980-2024 se puede ver en la siguiente tabla de datos:

Coeficiente Pearson				Ratios		
r: A:B	0,991	% r^2	98,16%	C / B	B / A	C / B
r: B:C	0,998	% r^2	99,62%	Mtm	Billón	mil-tm
r: A:C	0,982	% r^2	96,36%	CO_2	BTU	CO_2
Datos	Variables 1980-	2024		por	por	por
Años	Billón	Tera	Mtm	Billón	Billón	Billón
1980	PPA	BTU	CO_2	PPA	PPA	BTU
2024	A	B	C	D	E	F
2024	148	606.037	37.928	257	4.099	63
2023	143	592.033	37.315	261	4.136	63
2022	138	579.316	36.305	262	4.185	63
2021	134	573.039	35.779	268	4.287	62
2020	125	546.501	34.186	273	4.358	63
2019	129	570.548	36.119	280	4.418	63
2018	125	562.240	35.663	284	4.481	63
2017	121	549.297	35.055	289	4.535	64
2016	117	544.104	34.647	297	4.664	64
2015	113	538.505	34.836	308	4.761	65
2014	110	538.278	34.902	319	4.913	65
2013	106	534.433	34.852	329	5.046	65
2012	103	526.097	34.423	336	5.128	65
2011	99	516.638	33.638	338	5.197	65
2010	96	503.194	32.531	341	5.268	65
2009	91	471.821	30.628	337	5.195	65
2008	91	477.595	30.805	337	5.224	64
2007	89	472.037	30.093	339	5.310	64
2006	84	459.051	29.648	351	5.437	65
2005	80	444.813	28.701	358	5.546	65
2004	77	430.959	27.610	360	5.624	64
2003	73	409.653	26.165	359	5.616	64
2002	70	395.305	25.021	355	5.613	63
2001	69	386.592	24.478	357	5.642	63
2000	67	383.709	24.266	363	5.733	63
1999	64	371.310	23.508	368	5.815	63
1998	62	364.525	23.164	375	5.904	64
1997	60	362.347	23.118	384	6.013	64
1996	58	361.298	23.050	398	6.238	64
1995	56	351.824	22.558	404	6.305	64
1994	54	342.752	22.069	408	6.341	64
1993	52	339.147	21.898	417	6.461	65
1992	51	337.146	21.771	424	6.560	65
1991	51	337.883	21.972	435	6.686	65
1990	50	338.000	22.150	446	6.809	66
1989	44	336.690	22.169	502	7.622	66
1988	42	331.047	21.849	518	7.845	66
1987	36	318.608	21.173	583	8.779	66
1986	35	308.088	20.524	588	8.821	67
1985	34	301.649	20.041	593	8.932	66
1984	33	293.629	19.615	602	9.007	67
1983	31	280.391	18.489	594	9.014	66
1982	30	277.132	18.300	603	9.132	66
1981	30	277.202	18.347	606	9.152	66
1980	29	280.978	18.722	638	9.578	67

Existe un diferencial entre el crecimiento del PIB-PPA y los Tera BTU de energía consumidos, ello es debido a la eficiencia energética por billón de PIP-PPA. Sin embargo, el crecimiento económico es superior a las eficiencias energéticas y las emisiones anuales de CO_2 se duplican en ese periodo.

Correlaciones

La correlación entre el PIB-PPA (**A**) y el consumo de energía (**B**), es de $r = 0{,}991$ que expresado en porcentaje en $\% r^2$ equivale a un 98,2% de dependencia de la variable **B** respecto de la variable **A**.

La correlación entre el consumo de energía (**B**) y las emisiones de CO_2 (**C**), es la más alta siendo de $r = 0{,}998$ que expresado en porcentaje en $\% r^2$ equivale a un 99,6% de dependencia de la variable **C** respecto de la variable **B**.

La correlación entre el PIB-PPA (**A**) y las emisiones de CO_2 (**C**), es la más baja siendo de $r = 0{,}991$ que expresado en porcentaje en $\% r^2$ equivale a un 96,5% de dependencia de la variable **C** respecto de la variable **A**. Esta menor correlación, se debe a que: la variable de consumo de energía **(B)** es la que articula las variables (**A**) y (**C**).

Ratios

Las ratios anuales de la variables (A/B), (B/A), (C/B): (CO2 / PPA) (Energía / PPA) y (CO2 / Energía) expresan las particularidades de la evolución del PIB-PPA, el consumo de energía y las emisiones de CO_2, tal y como se vio anteriormente hay una eficiencia constante por unidad de PIB-PPA, pero el crecimiento económico del PIB-PPA hace que entre el año1980 y el 2024, tanto el consumo de energía como las emisiones de CO_2, aumenten significativamente.

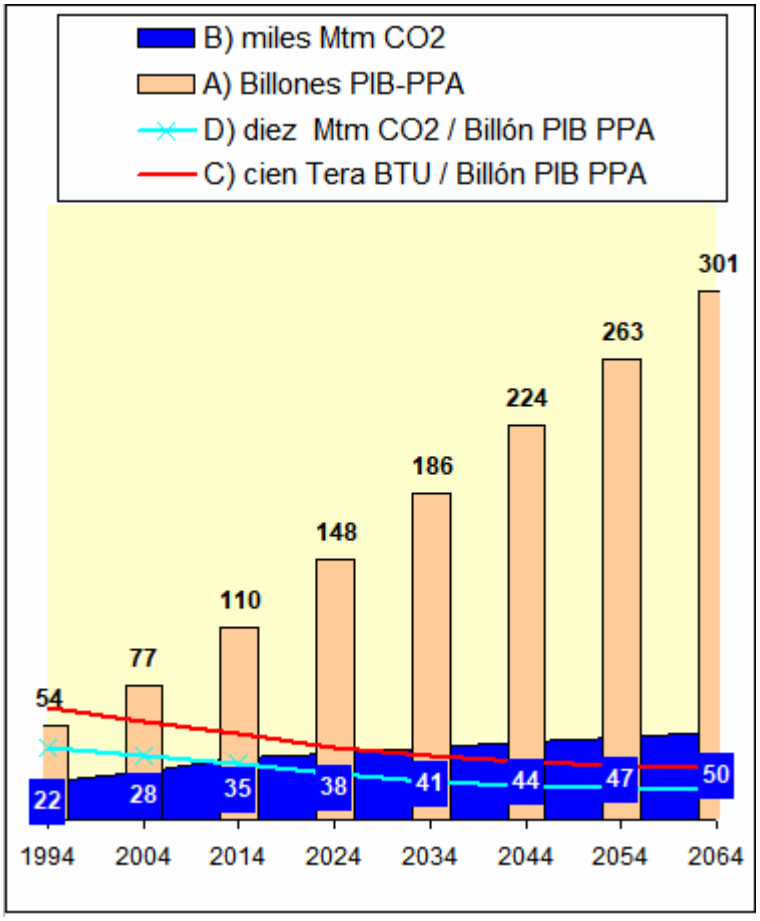
4.5 Evolución histórica y proyecciones del PIB-PPA y de las emisiones de CO_2 desde 1994 al 2064

La evolución de la serie histórica (años: 1994; 2004; 2014; 2024), y la proyectada para los años: (2034; 2044; 2054; 2064) en las variables de:

(A) Billones PIB-PPA) / (B) miles de Mtm de CO_2) / (C) cien Tera BTU / Billón PIB PPA / (D) Diez Mtm CO_2 / Billón BTU. Muestra la inter-actuación entre las mismas.

Evolución de las variables A-B-C

Año	A) Billones PIB-PPA	B) miles Mtm CO_2	C) cien Tera BTU / Billón PIB PPA	D) diez Mtm CO_2 / Billón PIB PPA
1994	54	22	63	41
2004	77	28	56	36
2014	110	35	49	32
2024	148	38	41	26
2034	186	41	36	22
2044	224	44	33	20
2054	263	47	31	18
2064	301	50	29	17
	Variables	A:B	A:C	A:D
	Perason r =	0,97	-0,96	-0,97
	% r^2	95%	92%	93%



En la relación de las variables (A-B-C-D), la variable (A), es la que determina la relación con el resto de variables. La variable (A) Billones PIB-PPA), esta tomada de la fuente de datos de EIA, esta variable (según la fuente) viene expresada en Billones de PIB-PPA constantes del 2015.

Todas las correlaciones tienen un alto grado de correlación superiores al 92% en el coeficiente de determinación (% r^2).

La correlación de las variables:

(A) Billones PIB-PPA) con (D) Diez Mtm CO_2 / Billón BTU); presenta una correlación inversa de: r = -0,97, que indica una disminución de las emisiones de CO_2 por cada unidad de PIB-PPA.

(A) Billones PIB-PPA) con (C) cien Tera BTU / Billón PIB PPA), presenta también una correlación inversa de: r = -0,96, que indica una disminución de la energía utilizada para producir una unidad de PIB-PPA.

(A) Billones PIB-PPA) con (B) miles de Mtm de CO_2), presenta un correlación directa directa de: r = 0,97, que indica que el crecimiento económico total del PIB-PPA, sobrepasa en crecimiento de las emisiones de CO_2, la eficiencia en la disminución de la energía y emisiones de CO_2, por unidad de PIB-PPA, pasando las emisiones anuales de CO_2 de las 22.069 Mtm de CO_2 en 1994, a las 50.032 en los valores proyectados al 2064.

Cifras absolutas históricas y proyectadas

Año	Billones PIB-PPA	Tera BTU	Mtm CO_2
1994	54	342.752	22.069
2004	77	430.959	27.610
2014	110	538.278	34.902
2024	148	606.037	37.928
2034	186	673.796	40.954
2044	224	741.555	43.980
2054	263	809.313	47.006
2064	301	877.072	50.032

CONCLUSIONES

1. El imperativo de la acumulación

El núcleo metabólico del capital es crecer o morir. El sistema económico no está diseñado para satisfacer necesidades estables, sino para reproducir el valor de forma ampliada.

El colapso funcional por estancamiento: Si el PIB deja de crecer, la Tasa Media de Ganancia Absoluta cae. Esto paraliza la inversión, destruye el empleo y desata crisis financieras sistémicas.

La trampa de la eficiencia energética: Aunque el desarrollo científico-técnico logre optimizar la energía necesaria por unidad de PIB, la ley de acumulación continua anula este avance. El ahorro relativo es devorado por el crecimiento absoluto.

2. El comercio internacional como subsidio ecológico y la ventaja competitiva

Esta segunda dinámica expone la raíz del fracaso de los acuerdos climáticos internacionales (como los Protocolos de Kioto o los Acuerdos de París).

La externalización como ventaja: En la arena de la libre competencia global, los costes ambientales no se contabilizan en el precio final de las mercancías. Un país o corporación que decida internalizar el coste de la transición energética (utilizando energías limpias más caras o capturando emisiones) destruye de inmediato su propia competitividad en el mercado internacional frente a competidores que sigan emitiendo libremente a la atmósfera.

El arbitraje ambiental: El comercio internacional actual premia el abaratamiento de costes mediante la externalización de gases. Esto ha provocado que las industrias más contaminantes simplemente se trasladen geográficamente hacia países con regulaciones ambientales más laxas,

perpetuando el impacto medioambiental mundial bajo una falsa apariencia de desmaterialización en los países ricos.

3. La asimetría del poder y la parálisis política internacional

Beneficios concentrados, costes socializados: Las sinergias perversas benefician a las élites financieras e industriales que controlan las estructuras de poder de los Estados, mientras que las consecuencias catastróficas las asume la mayoría de la humanidad (las clases trabajadoras y el Sur Global) y la biosfera.

Incapacidad institucional: Los organismos internacionales carecen de la capacidad coercitiva para alterar la lógica del capital. La política internacional está supeditada a las dinámicas geoeconómicas y de seguridad nacional de las grandes potencias, las cuales priorizan asegurar sus flujos energéticos fósiles restantes para no perder posiciones de poder relativo frente a sus rivales comerciales.

La conjunción de estos factores demuestra que la crisis medioambiental y energética no es una anomalía del sistema; es el sistema funcionando exactamente como está diseñado para funcionar. El conocimiento científico-técnico actual no puede proveer un reemplazo milagroso porque el propio paradigma exige un insumo material y energético que viola los límites biofísicos del planeta.

4. Los límites y la promesa del crecimiento ilimitado

La inmensa mayoría del crecimiento de la población ocurre en los bloques no-OCDE, proyectando de 6.759 millones de habitantes a rozar los 10.000 millones en 2070, frente a unos limitados 1.398 millones en los países de la OCDE en el 2024 con una proyección a los 1.770 millones en el 2070.

Dado que el modo de producción exige el crecimiento continuo del PIB en todo el globo para evitar el colapso funcional económico, la legítima incorporación de miles de millones de personas a la clase consumidora

global pulverizaría instantáneamente cualquier atisbo de transición energética o contención medioambiental.

La promesa de la modernidad ilustrada e industrializada era la universalización del bienestar a través del desarrollo técnico. Los datos prueban que dicha promesa era un cheque sin fondos: el bienestar de la minoría OCDE solo ha sido posible gracias a mantener al resto del planeta en un subconsumo relativo. Universalizar el capitalismo desarrollista es, matemáticamente, acelerar el fin de la civilización.

5. El salto de las condiciones objetivas a las subjetivas: La pedagogía de la catástrofe

El salto de las condiciones objetivas (los límites reales de la biosfera, el agotamiento energético, la desigualdad extrema) a las condiciones subjetivas (la percepción social de que esos límites existen y amenazan la vida) no ocurrirá por una iluminación intelectual, sino por el choque frontal contra el límite. No es un problema de ignorancia, sino de fuerzas estructurales e inexorables del modo de producción capitalista que operan como "fuerzas ciegas dominantes"..

La historia demuestra que las mentalidades colectivas son profundamente conservadoras; tienden a estirarse y aguantar el paradigma vigente hasta que este se rompe físicamente.

La humanidad se enfrenta a una pinza existencial acotada en un horizonte temporal de cincuenta años. Si el modo de producción actual mantiene su imperativo de crecimiento continuo para evitar su colapso funcional económico interno, vaciará las reservas energéticas fósiles que sostienen su infraestructura mecánica y agrícola indispensable. La supervivencia civilizatoria exige, por tanto, una mutación radical en la racionalidad económica y política global ante los límites objetivos de la Tierra.

Sin embargo, sí hay una alternativa, y esta es la energía de fusión nuclear controlada, con la minería del Helio-3, abundante en la Luna.

6. La alternativa termodinámica: Fusión nuclear y la minería de Helio-3

Frente al agotamiento de los combustibles fósiles y la inviabilidad de las alternativas convencionales para sustituir la potencia bruta *del motor de combustión interna*, la física teórica ofrece una solución sólida: la energía de fusión nuclear controlada.

El combustible extraterrestre: Mientras que la fusión convencional (deuterio-tritio) genera neutrones energéticos que degradan los materiales de los reactores, la fusión basada en el Helio-3 abre la puerta a una energía limpia, masiva y libre de residuos radiactivos milenarios.

El salto a la Luna: Dado que el Helio-3 es extremadamente escaso en la Tierra pero abundante en la superficie lunar debido al impacto del viento solar durante miles de millones de años, la viabilidad de este nuevo paradigma energético exige el desarrollo de la minería espacial coordinada. Esta tecnología permitiría proveer al planeta de una fuente ilimitada de generación masiva de energía y trabajo productivo sin costes medioambientales por externalización de carbono.

7. La insuficiencia de la técnica y el salto a la Tercera Civilización

La tecnología por sí sola resulta insuficiente si se implementa bajo la competencia geopolítica y la acumulación de capital, lo que podría derivar en la militarización espacial o el acaparamiento monopólico. Por ello, se requiere transitar hacia una Tercera Civilización Mundial sustentada en la fraternidad universal y la gestión colectiva, superando la confrontación de intereses particulares y organizando la gobernanza global bajo principios de igualdad y colaboración mutua sustentadas principalmente en los siguientes postulados.

1. El consenso como mínimo de las principales potencias: Rusia, China y EEUU en favor del respeto entre naciones, la integración económica mundial y la armonía con el medioambiente.

2. La colaboración de estas tres potencias para la minería del helio 3 en la luna con el fin de destinarlo a la implementación de la energía de fusión nuclear a escala planetaria, creando generadores de electricidad que permitan no solo la electrificación global de todos los países, sino la creación mediante la electrolisis de reservorios de hidrógeno para sustituir el motor de combustión interna en la transformación de la energía en trabajo productivo con el que funcionan los grandes transportes terrestres marítimos y aéreos; la maquinaria pesada móvil para la construcción de infraestructuras, y la destinada al sector agrario que permite liberar del trabajo manual agrícola a la mayoría de la población activa para emplearse en otros sectores económicos.

3. La implementación a escala global de tecnología de captura y sumideros de CO_2, con el fin de disminuir las probables 620 ppm de CO_2 previstas en el aire atmosférico cuando se acerque en el último cuarto de siglo el agotamiento de los combustibles fósiles de petróleo y gas natural, hasta las 334 ppm correspondientes al año 1980, a fin de estabilizar la atmósfera.

La antítesis de esta realidad es la persistencia por parte de EEUU en revivir un mundo unipolar, intentando acaparar los últimos restos de los combustibles fósiles, que podría llevar una guerra global sin solución, o al propio cuestionamiento de la especie humana.

Solamente si prospera la política de colaboración entre las grandes potencias se podría acometer una profunda reforma política y económica mundial donde los destinos de la humanidad sean gestionados globalmente en favor de un destino compartido.

ANEXO

ENERGÍA2026.xlsx