

Descarbonización del Sistema Energético
Academ. Ing. Nelson Hernández

Junio 2021

INDICE

	Pagina
<u>Resumen</u>	3
<u>Introducción</u>	4
<u>Definiciones Claves</u>	6
<u>El Reto</u>	7
<u>Como Descarbonizamos?</u>	10
<u>Intensidad de Descarbonización Energética</u>	15
<u>Conclusiones</u>	21

Resumen

El mundo está inmerso en una carrera contra reloj para mitigar el cambio climático, el cual es consecuencia del incremento sostenido, en los últimos 70 años, de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero, especialmente el CO₂, lo cual se asocia al incremento poblacional, de allí su nombre de “misiones antropogénicas”.

Desde el año 1997, la humanidad ha venido estableciendo rutas para reducir las emisiones de CO₂. Sin embargo, no han sido del todo exitosas por lo que en el 2015 se establecieron metas que conllevan a una descarbonización de la matriz energética global, la cual consiste en la sustitución de las fuentes energéticas fósiles por fuentes más amigables al ambiente.

En tal sentido, en el documento se desarrollan conceptos, se presentan esquemas para alcanzar “Emisión Neta Cero”, se crea el índice de Intensidad de Descarbonización Energética (IDE), se compara este índice a nivel regional y por países, y se analiza dentro de este contexto, el caso venezolano.

Del análisis realizado, se desprende lo siguiente:

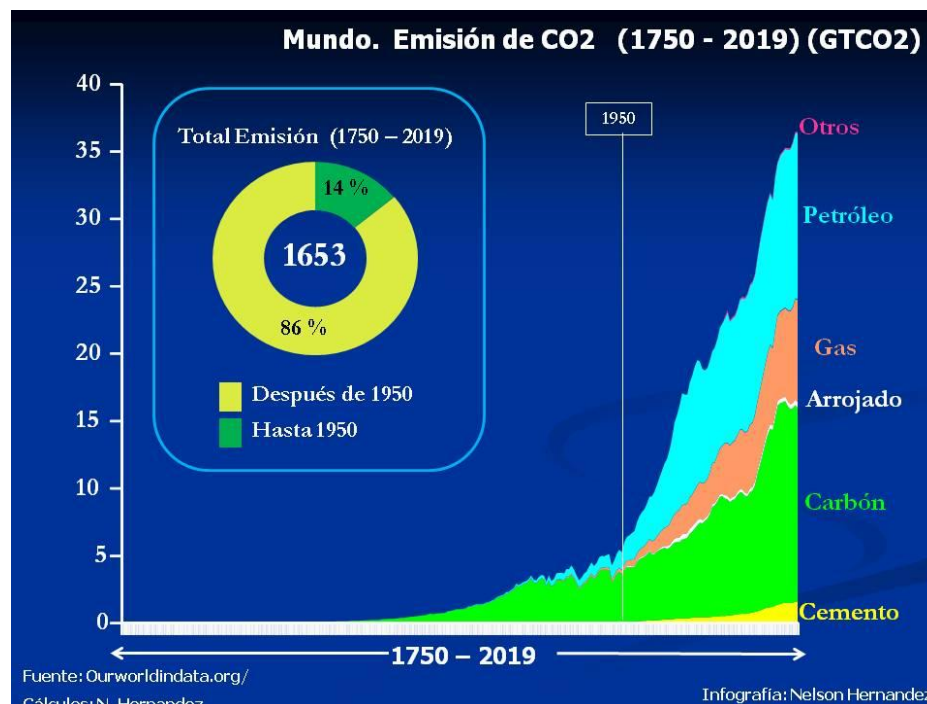
- El principal reto de la humanidad en el presente siglo, es combatir el cambio climático de tal manera que garantice la permanencia en el planeta de todas de las especies vivas. De seguir la tendencia actual, el punto de emisión de no retorno se alcanzaría en el año 2037, cuando se agotaría el presupuesto de CO₂.
- Está en marcha una carrera de alta competitividad entre el carbón, el gas natural y las energías no emisoras de CO₂ para proporcionar energía y calor a la economía mundial. Lo que está claro es que la permanencia de los fósiles está sujeta al desarrollo tecno – económico de la captura y almacenamiento del CO₂.
- La vía para mitigar las emisiones de CO₂ es la descarbonización del sistema energético mundial, lo que origina una transición energética que lleva implícito una menor utilización de los combustibles fósiles. El gas natural se convierte en el energético “bisagra” de la transición energética, siendo este combustible el único que presenta crecimiento en un escenario de emisión neta cero
- De acuerdo al IDE, todos los países han ido descarbonizando su matriz energética, sin embargo, se requiere de un mayor esfuerzo para incorporar fuentes energéticas no emisoras de CO₂. El país mejor ubicado es Suecia y el peor es China.
- Aunque Venezuela poco contribuye al total de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, se debe prestar especial atención a las provenientes de: Transporte, Electricidad, Agricultura y Emisiones fugitivas para minimizarlas, y el gas natural es una vía para lograrlo, sin dejar de lado la incorporación de la eólica y solar en la generación de electricidad.

La transición energética es un hecho. No hay vuelta atrás. Las energías no amigables al ambiente, serán sustituidas paulatinamente por las amigables. Es decir, todo se reduce a la descarbonización del sistema energético mundial.

Introducción

El futuro energético y climático a nivel global depende cada vez más de las decisiones tomadas por los países con el objeto de tener la energía necesaria para su desarrollo y mantenimiento de sus economías, sin dejar a un lado la calidad de vida de sus ciudadanos dentro de un marco que evite las altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente el dióxido de carbono (CO₂).

El objetivo descrito conlleva a un cambio en la conformación futura de la matriz energética global, lo cual se le ha denominado la transición energética, proceso en la cual está inmersa la humanidad para combatir el cambio climático, el mayor reto que esta tiene en el presente siglo.



La grafica anterior (V+G)¹, muestra la evolución de las emisiones de CO₂ en los últimos 270 años, totalizando 1653 GTCO₂ (Giga toneladas de CO₂). En los primeros 200 años hubo una emisión del 16 % y del 86 % en los 70 años restantes. Este crecimiento exponencial de las emisiones tiene alta relación con el crecimiento poblacional, también exponencial, ocurrido a partir de 1950. De allí que se les denomine “emisiones antropogénicas”.

El reto para disminuir las emisiones, consiste en descarbonizar el sistema energético mundial de tal manera que se reduzcan, principalmente, las emisiones de GEI y se logre que el aumento de la temperatura promedio de la tierra sea menor a 1.5 °C a finales del presente siglo, con respecto a la temperatura actual.

¹ Haga click en el enlace, para ver la grafica mas grande

Hay muchas acciones programadas que contribuyen y contribuirán a mitigar las emisiones de carbono, siendo el desarrollo y uso de las energías renovables (eólica y solar), las más representativas, sin dejar a un lado la participación de la energía nuclear. Sin embargo, los resultados no han sido halagadores. El cumplimiento de los compromisos contraídos en el COP21 por la comunidad de países, no se ha materializado, lo que conlleva a acelerar e incrementar las acciones para alcanzar el objetivo global de “**emisión neta cero en el 2050**”

El presente documento tiene como finalidad cuantificar la descarbonización lograda hasta ahora en el sistema energético mundial, mediante la creación del **Índice de Descarbonización Energética (IDE)**

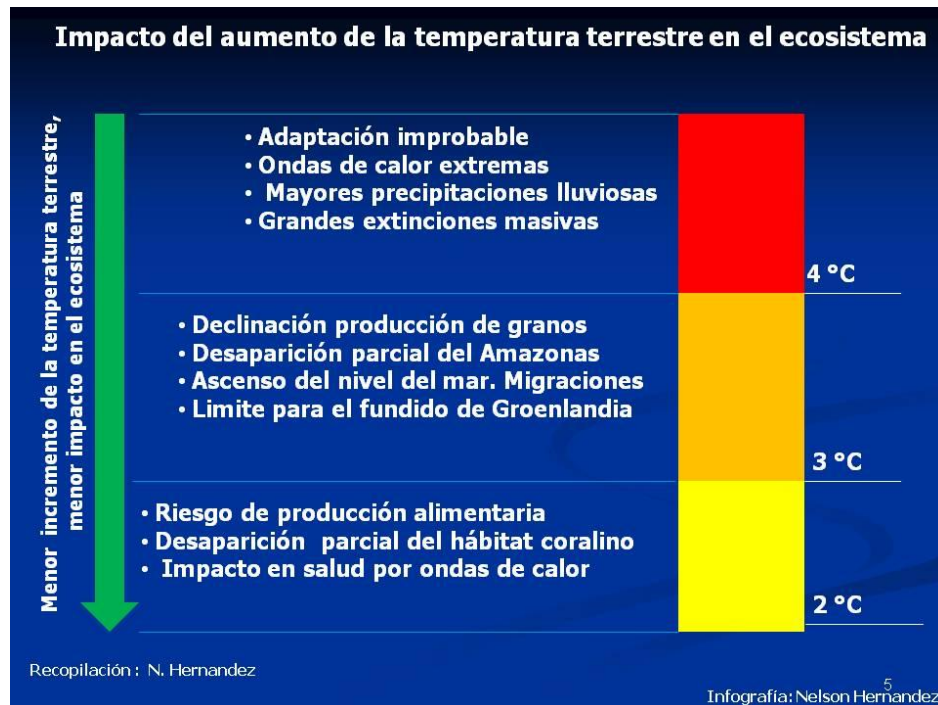
Definiciones Claves

Para simplificar el objetivo del presente documento, es necesario mencionar ciertas definiciones claves. A saber:

- **Agnotología:** Es el estudio de actos deliberados para sembrar la confusión y el engaño, normalmente para vender un producto o ganar un favor ([Iain Boal-1992](#)). [Robert Proctor](#) (2008), desarrolla el concepto y concluye que la Agnotología es la creación deliberada de la ignorancia, la cual se propaga, cuando en 1er lugar, mucha gente no entiende un concepto o hecho y, en 2do lugar, cuando grupos de intereses especiales, trabajan para crear confusión sobre un tema. **Es el Cambio Climático una Agnotología?**
- **Efecto invernadero:** Es un proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones, lo cual resulta en un incremento de la temperatura de la tierra originándose cambios climáticos
- **Cambio climático:** Se define como la variación en el estado del sistema climático terrestre, formado por la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera, que perdura durante periodos suficientemente largos hasta alcanzar un nuevo equilibrio. El cambio climático es el conjunto de grandes y rápidas perturbaciones provocadas en el clima por el aumento de la temperatura del planeta.
- **Descarbonización:** Se refiere al proceso por el cual los países, individuos u otras entidades apuntan a lograr una existencia cero de carbono fósil, esto es, eliminar, principalmente, el consumo de combustible fósil.
- **Emisiones netas Cero de CO₂:** Se refiere al estado en el que las actividades efectuadas dentro de la cadena productiva de un país, empresa, etc. no causen ningún impacto neto en el clima debido a emisiones GEI. Este objetivo se logra mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en dicha cadena, de acuerdo con las trayectorias de 1.5 °C, y al equilibrar el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero restantes con un número apropiado de otras actividades de descarbonización.
- **Presupuesto de CO₂:** Representa una cantidad acumulada de emisiones de CO₂, permitidas a lo largo de un periodo para mantener la temperatura de la Tierra en un cierto rango.
- **Emisión Permitida de CO₂:** Es el máximo volumen permitido que no altera de manera incremental la temperatura de la tierra

El reto

Ya hemos indicado que las emisiones de CO₂, cada vez más creciente, tienen un alto impacto en la alteración del clima en la tierra.



La grafica anterior ([V+G](#)), muestra un resumen de los impactos por aumento de temperatura terrestre, alterando los ecosistemas.

Es de señalar que los impactos no son excluyentes. Es decir, suceden encadenados, bien en serie o en paralelo. Se van presentando, de acuerdo a la grafica, de abajo hacia arriba. Primero deben ocurrir los mencionados en la franja amarilla (2 a 3 °C). Esto no quiere decir, que no se hayan presentado impactos en otras franjas, como es el caso del deshielo parcial de Groenlandia. Lo importante de todo esto es que una vez que sucede el impacto, es difícil de revertir.

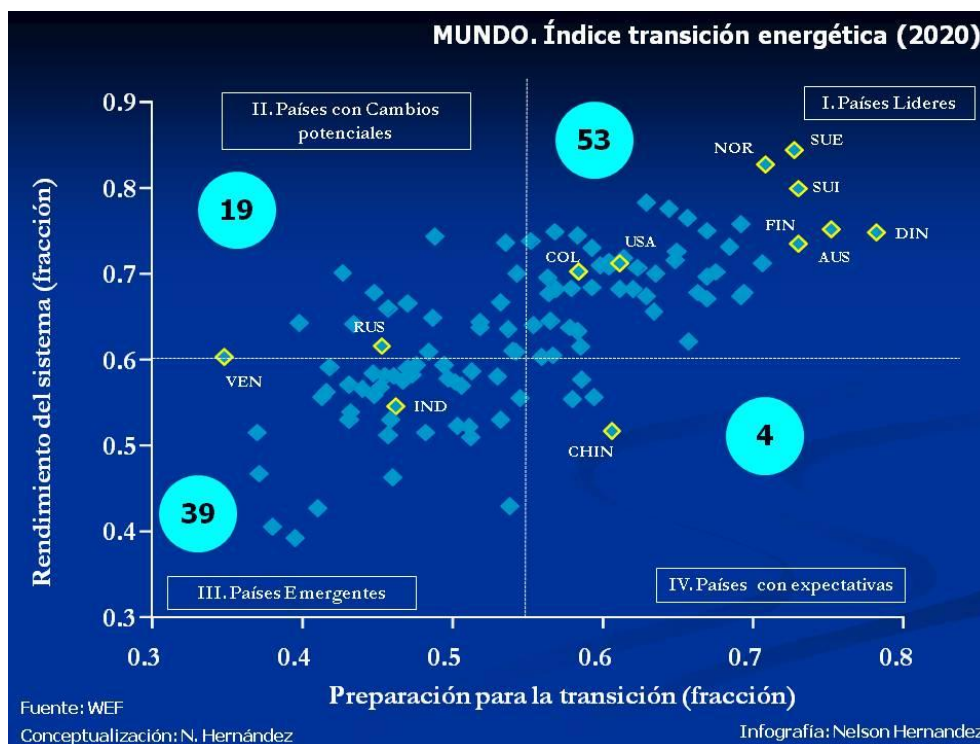
Obsérvese la franja roja, donde se indica que a ese nivel de incremento de temperatura es difícil o improbable la adaptación de los seres vivos que habitan el planeta tierra.

Todo indica que es impostergable actuar para combatir el cambio climático, y cuanto antes mejor, a objeto de garantizar la sustentabilidad de los ecosistemas, y por ende la permanencia de la especie humana en el planeta. Este reto, lleva implícito una transición energética, caracterizada por un menor uso de las energías fósiles.

Con el objeto de medir la evolución de la transición, el Foro Económico Mundial (WEF) ha desarrollado un índice de transición energética (ITE)

La grafica a continuación ([V+G](#)), corresponde al ITE 2020. El estudio evalúa 115 países, teniendo en cuenta factores como la estructura del sistema energético, la

inversión, la regulación, la gobernanza, las infraestructuras y el capital humano Este índice mide la Preparación para la Transición (eje de las abscisas) y Rendimiento del Sistema Energético (eje de las ordenadas) La grafica está dividida en 4 cuadrantes.



- **Cuadrante I.** Donde se ubican los 53 países, hoy, líderes en la transición energética. Destacan: Suecia, Dinamarca, Noruega, Austria, Finlandia. También se encuentra en este cuadrante Estados Unidos, segundo consumidor energético mundial.
- **Cuadrante II.** Están 19 países con cambios potenciales para la transición energética. Se destaca en la grafica Rusia, el cuarto consumidor global de energía.
- **Cuadrante III.** Lo integran 39 países emergentes, donde hay poco preparación para la transición. Se muestra India, tercer consumidor de energía a nivel mundial. También se ubica Venezuela, que es el país que menos está haciendo en materia de transición energética.
- **Cuadrante IV.** Lo integran 4 países con altas expectativas para la transición. En este cuadrante se encuentra China, el primer consumidor energético global.

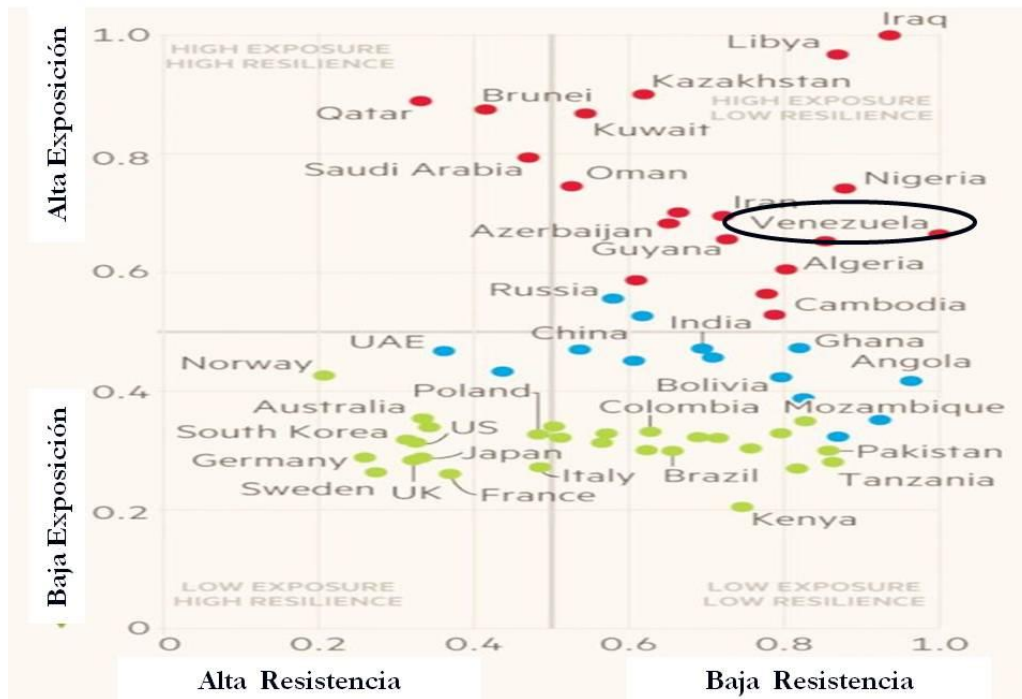
Por otra parte, Financial Times, ha desarrollado una metodología para medir el impacto de la transición energética en países cuyas economías están basadas o soportadas en los combustibles fósiles (carbón + petróleo + gas), y cuyo resultado se muestra en la grafica a continuación ([V+G](#)).

En el eje de las X, esta la resistencia y en eje de la Y la exposición, ambos calificativos referidos a la transición energética. Los países altamente dependientes de la producción de petróleo se ubican en el cuadrante I y II. El resto de los países analizados se ubican en los cuadrantes III y IV, los cuales (los países) tienen una economía más diversificada.

De acuerdo al grafico, el país con mayor impacto es Venezuela (quien tiene las mayores reservas de petróleo). Le siguen Irak, Nigeria, Libia y Argelia.

TRANSICION ENERGETICA. Cuan preparados están los países con economías basadas en combustibles fósiles?

Fuente: Financial Time



Finalmente, tres aspectos importantes deben ser fortalecidos para una transición energética exitosa: **La participación responsable de los políticos en la elaboración de políticas públicas conexas; la electrificación de la demanda energética y la participación abierta del sector privado en los proyectos de descarbonización**

Como descarbonizamos?

No es fácil abandonar un sistema energético que la humanidad ha utilizado por más de 200 años desde la revolución industrial con la maquina a vapor, alimentada con carbón. Sin embargo, hay que ir transformando la matriz energética actual a una más amigable al ambiente.

En tal sentido, la ciencia y la tecnología ha dedicado recursos para lograr la descarbonización y alcanzar para el 2050 una emisión neta cero de CO₂.

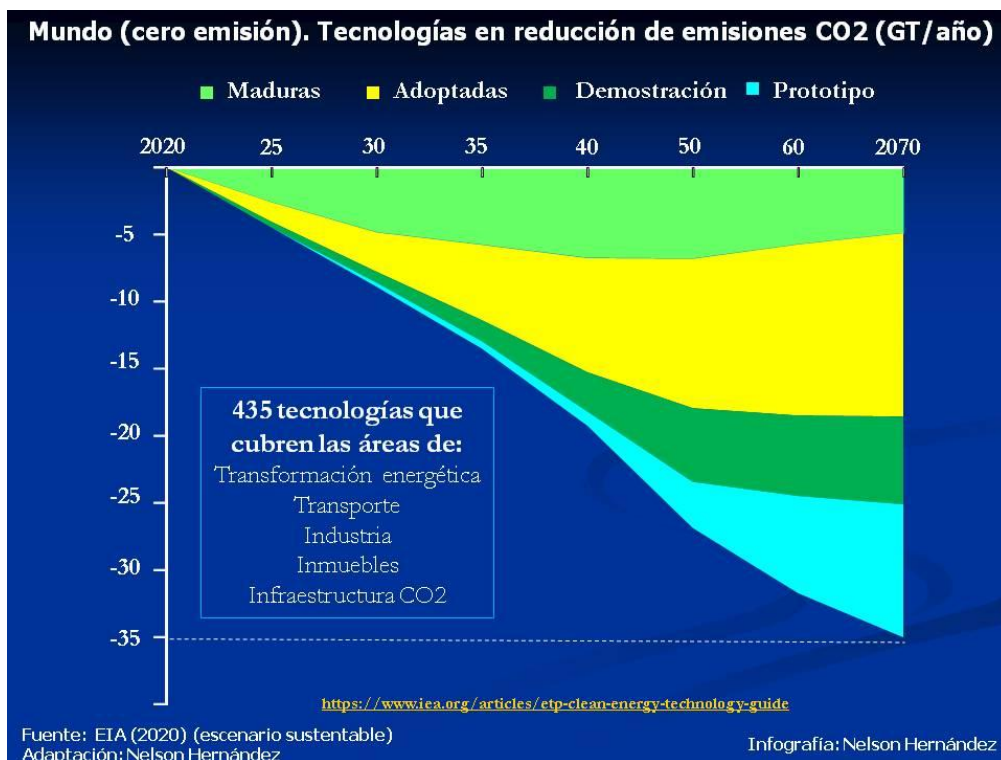
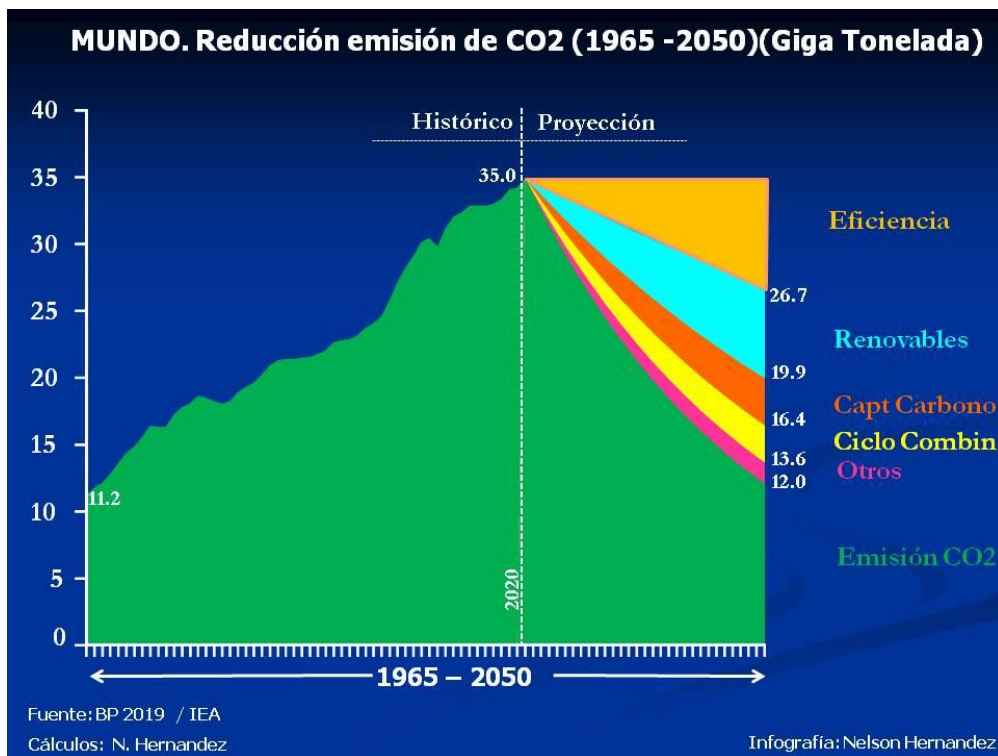
La grafica a continuación ([V+G](#)) resume cinco elementos para obtener una descarbonización profunda del sistema energético.



Así tenemos acciones en: 1. aumento de la eficiencia energética 2. Descarbonizar la generación eléctrica 3. Electrificación masiva de la economía (transporte eléctrico, el internet de las cosas, criptomonedas, entre otras) 4. Uso de combustibles cero emisión de CO₂ en sectores productivos y de servicios no electrificables 5. Remoción, captura y almacenamiento de CO₂ en aquellos procesos que están, hoy, obligados a continuar usando combustibles fósiles.

La grafica a continuación ([V+G](#)), muestra una prospectiva de la reducción de la emisión de CO₂ con base a los cinco elementos indicados anteriormente, tomando como base la emisión de CO₂ del 2020 de 35 GTCO₂ y alcanzando en el 2050 un volumen de 12 GTCO₂, que es el máximo volumen permitido que no altera de manera incremental la temperatura de la tierra.

La contribución de la disminución de las emisiones es como sigue: eficiencia energética 36.2 % (8.3 GTCO₂), 29.5 % renovables (6.8), 15.2 % captura y almacenamiento de carbono (3.5), 12.1 % ciclos combinados de energía + calor (2.8) y 7.0 % otros (1.6).

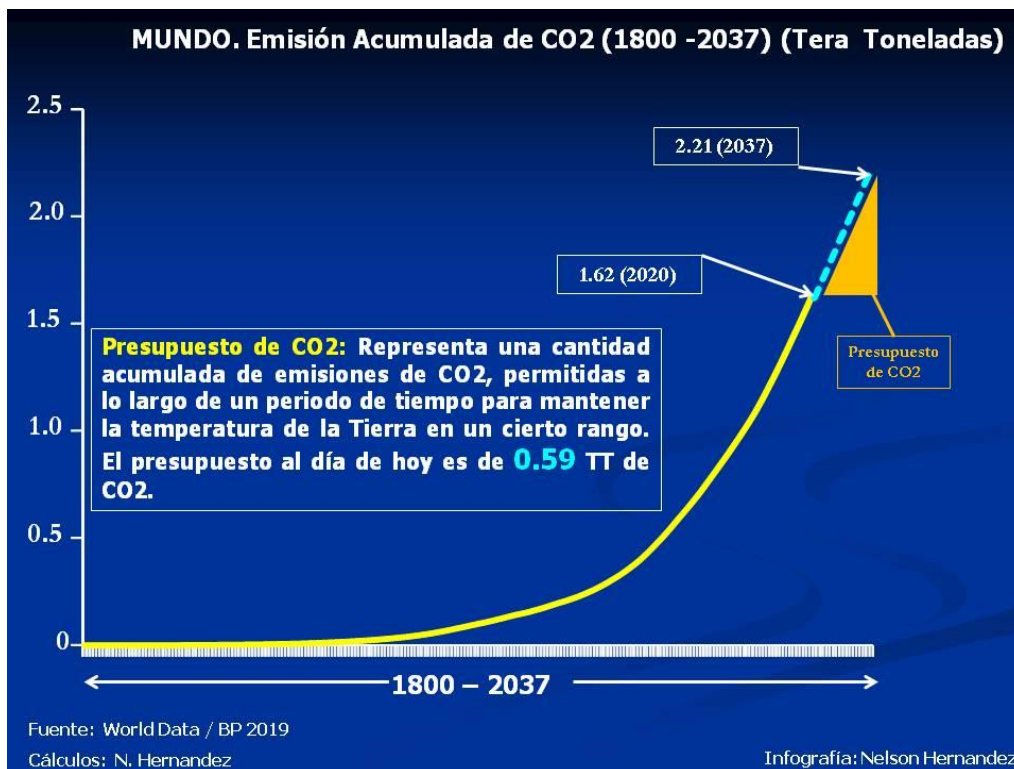


La grafica anterior ([V+G](#)), presenta una prospectiva de la reducción de las emisiones de CO2 en función de la tecnología desarrollada y en desarrollo.

Las mismas se clasifican en: 1. Maduras (tecnologías desarrolladas que se aplican actualmente, y a las cuales se les hacen ciertas mejoras). 2. Adoptadas, son aquellas que inician su aplicación comercial. 3. Demostración, que han alcanzado un prototipo y se aplican fuera del sitio de investigación. 4. Prototipo, donde se hacen diferentes ensayos a nivel de laboratorio para obtener un dispositivo operativo.

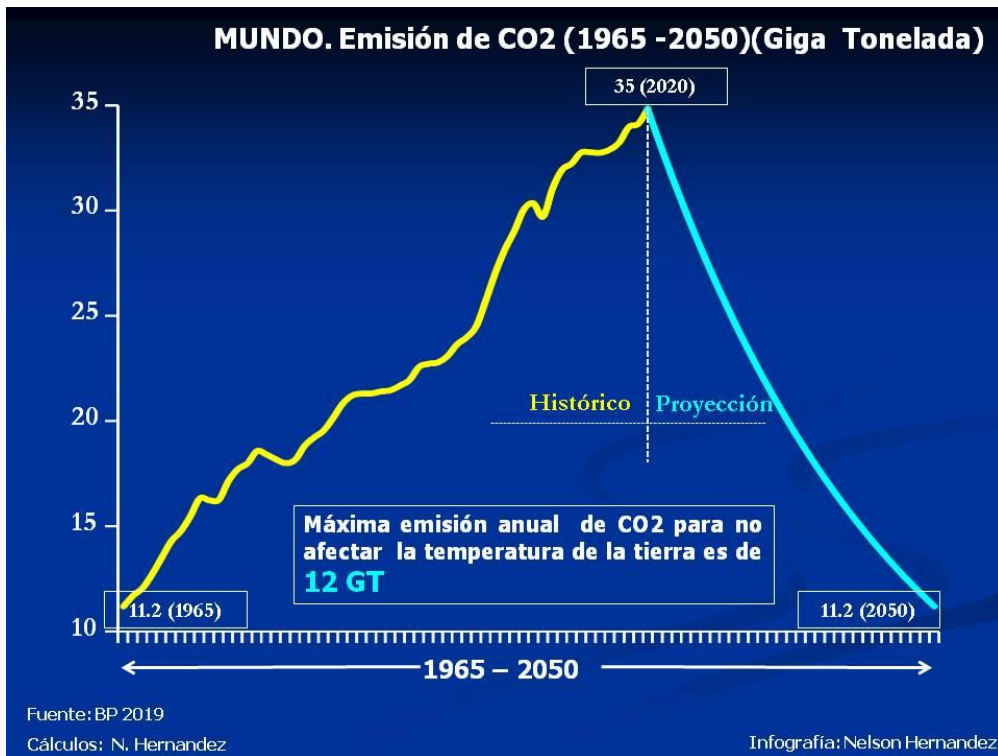
En este ámbito, existen 435 tecnologías que cubren áreas de transformación energética, transporte, inmuebles e infraestructura para manejo del CO2.

Lo indicado anteriormente, en lo atinente a la reducción de las emisiones de CO2 y las tecnologías asociadas tiene como objetivo principal él no consumir el presupuesto de CO2 permitido, el cual está reflejado en la grafica a continuación ([V+G](#)). Es decir, disminuir las emisiones.

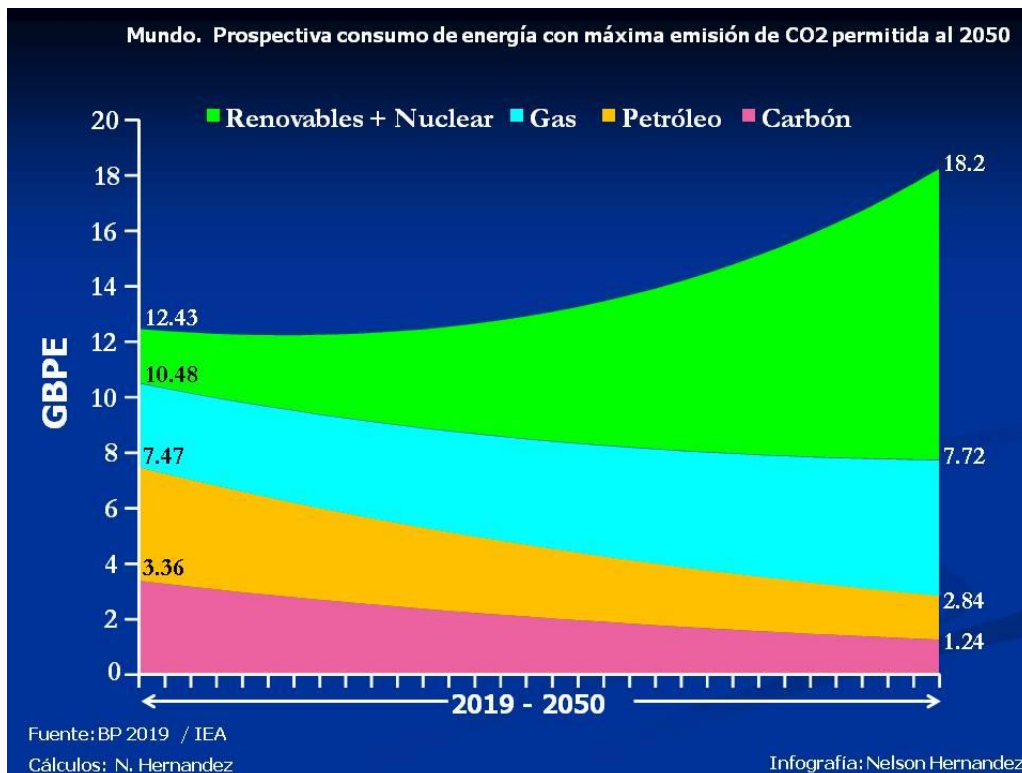


De seguir la tendencia actual, el presupuesto de CO2 (0.59 Tera toneladas de CO2) se acabaría en el año 2037, que de alcanzarse sería el punto de no retorno. Es decir, donde sería imposible que la temperatura terrestre no se incremente en más de 1.5 °C.

La prospectiva de no consumo del presupuesto de CO2, está señalada en la grafica a continuación ([V+G](#)). La cual parte del máximo alcanzado de 35 GTCO2, y se declina hasta un volumen no mayor de 12 GTCO2 en el 2050. Este volumen es el permitido anualmente y que no afecta la temperatura promedio de la tierra. Es decir, sería el volumen de equilibrio.

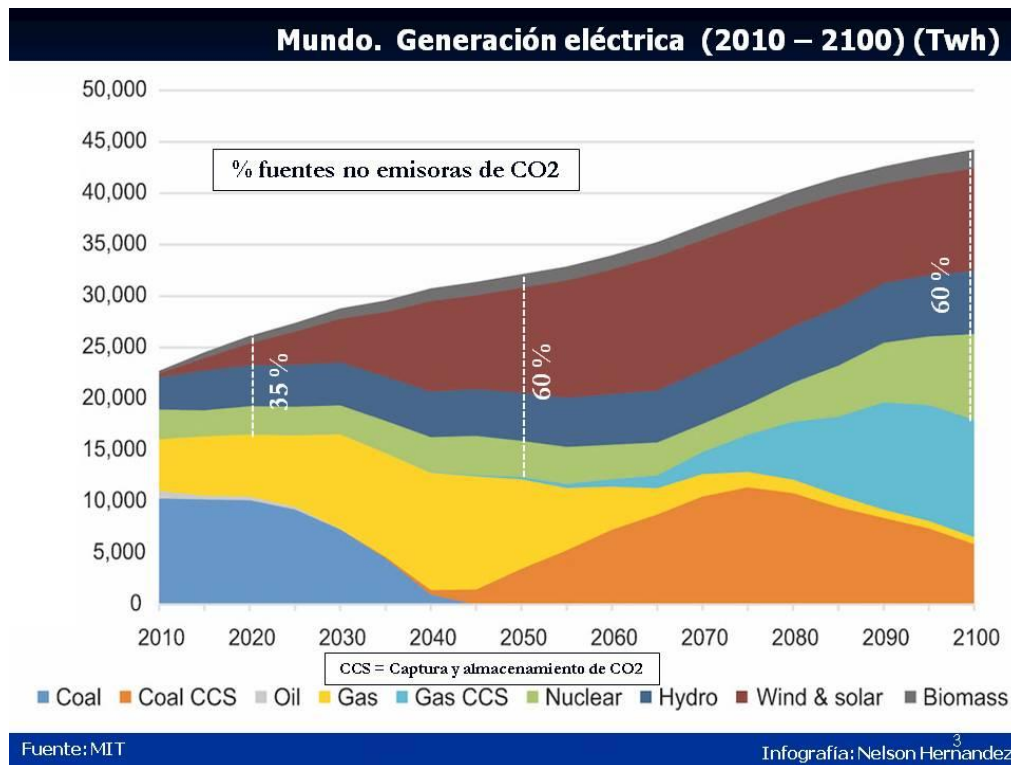


La grafica a continuación (V+G) es el resultado de la declinación de las emisiones de CO2 pero asociado a la prospectiva de consumo mundial de energía hasta el 2050



La demanda energética crece 5.77 GBPE en el periodo 2019 – 2050, equivalente a un incremento interanual del 1.28 %. Este incremento es producto de una disminución en el uso del carbón y petróleo (-4.63 GBPE), un incremento en el gas (+1.87 GBPE) y de un incremento en las renovables y nuclear (+ 8.53 GBPE).

En línea con lo anterior, la grafica a continuación (V+G) muestra una prospectiva de la generación de electricidad a nivel mundial, expresada en Tera vatios hora (Twh).



La demanda eléctrica muestra un crecimiento de 21 Twh en el periodo de análisis, equivalente a un crecimiento interanual del 0.7 %. Por otra parte, para el año 2020, el 35 % de la generación eléctrica provienen de fuentes energéticas no emisoras de CO₂.

Para el año 2050, las energías no emisoras de CO₂ alcanzan una participación del 60 %. El restante 40 % es obtenido de las fuentes fósiles pero con la condición de la captura y almacenamiento del CO₂, factor ya indicado para alcanzar una descarbonización exitosa.

De acuerdo al reto de disminuir las emisiones de CO₂, la presencia de los combustibles fósiles en la matriz energética global requiere el desarrollo técnico – económico de la tecnología de captura y almacenamiento del CO₂ que su uso produce.

Intensidad de Descarbonización Energética (IDE)

El mundo por siglos ha descarbonizado la matriz energética de una manera no planificada o no a conciencia plena del hecho, como ocurre hoy en día. El uso de cada unidad energética que provenga de una fuente no emisora de CO₂, el minimizar el uso de los fósiles por una mayor eficiencia energética, la sustitución de un combustible fósil por uno más amigable al ambiente y el ahorro de la energía por los consumidores finales, son acciones que descarbonizan la matriz energética global.

Para medir la descarbonización y poder visualizar su evolución, he creado el Índice de Intensidad de Descarbonización Energética (IDE)², el cual se define como:

El valor resultante al dividir los volúmenes, expresado en peso, de emisión de CO₂ entre la energía total consumida (fósiles + nuclear + renovables), expresado generalmente como:

$$\text{IDE} = \text{TCO}_2/\text{TPE}$$

También puede obtenerse el índice de la emisión per se de los combustibles fósiles (IEF), que no es más que la emisión de CO₂ dividido entre la energía fósil consumida (carbón + petróleo + gas).

$$\text{IEF} = \text{TCO}_2/\text{TPEF}$$

El diferencial entre el IEF y el IDE, es la incidencia de las energías renovables y no emisoras de CO₂ en el sistema energético, en otras palabras, la cantidad de CO₂ dejada de emitir por el uso de las renovables.

La grafica a continuación ([V+G](#)) y la tabla, muestra la evolución del IDE por regiones mundiales para el periodo 1965 – 2019.

La región Europa presenta la mayor sustitución de energías fósiles en su matriz energética, al disminuir su IDE en 1.31 TCO₂/TPE, al compararlo con el valor de 1965 de 3.62 TCO₂/TPE.

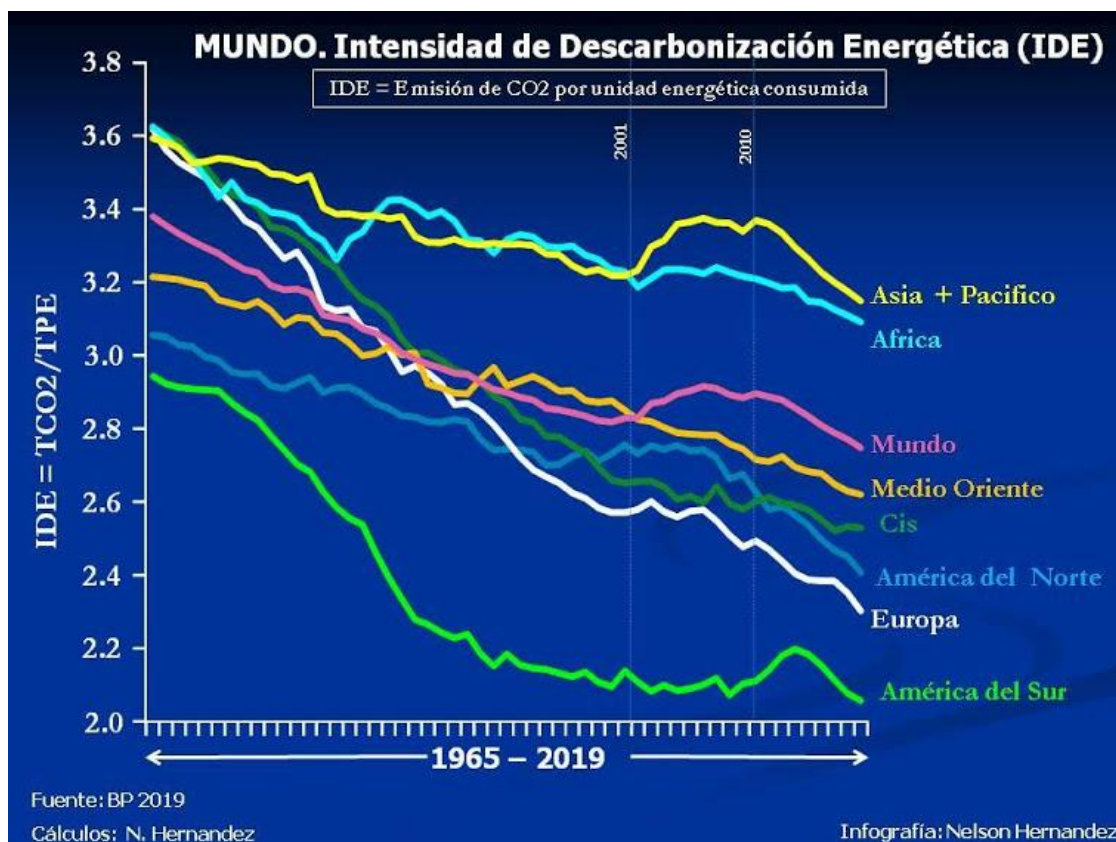
La región que menor sustitución de energías fósiles es Asia + Pacífico, con un valor neto de disminución de 0.45 TCO₂/TPE

² TCO₂ = Toneladas de CO₂

TPE = Toneladas de petróleo equivalente de todas las fuentes energéticas

TPEF = Toneladas de petróleo equivalente de energías fósiles

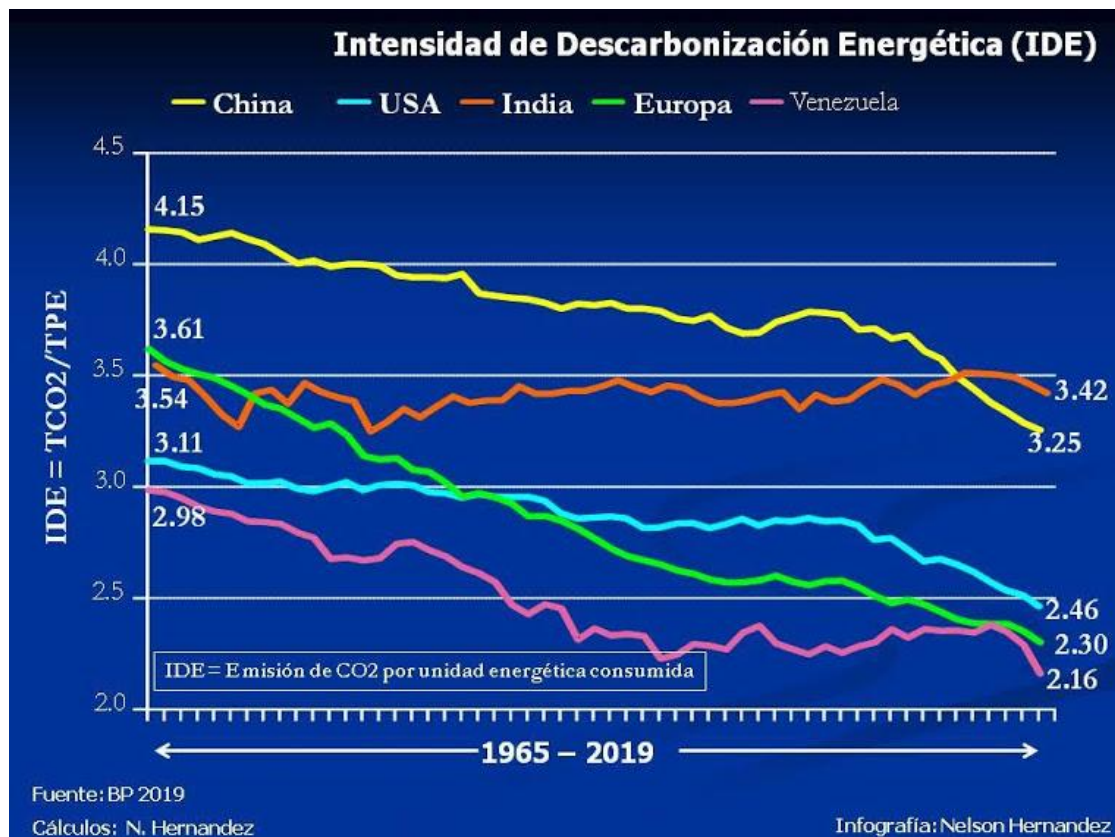
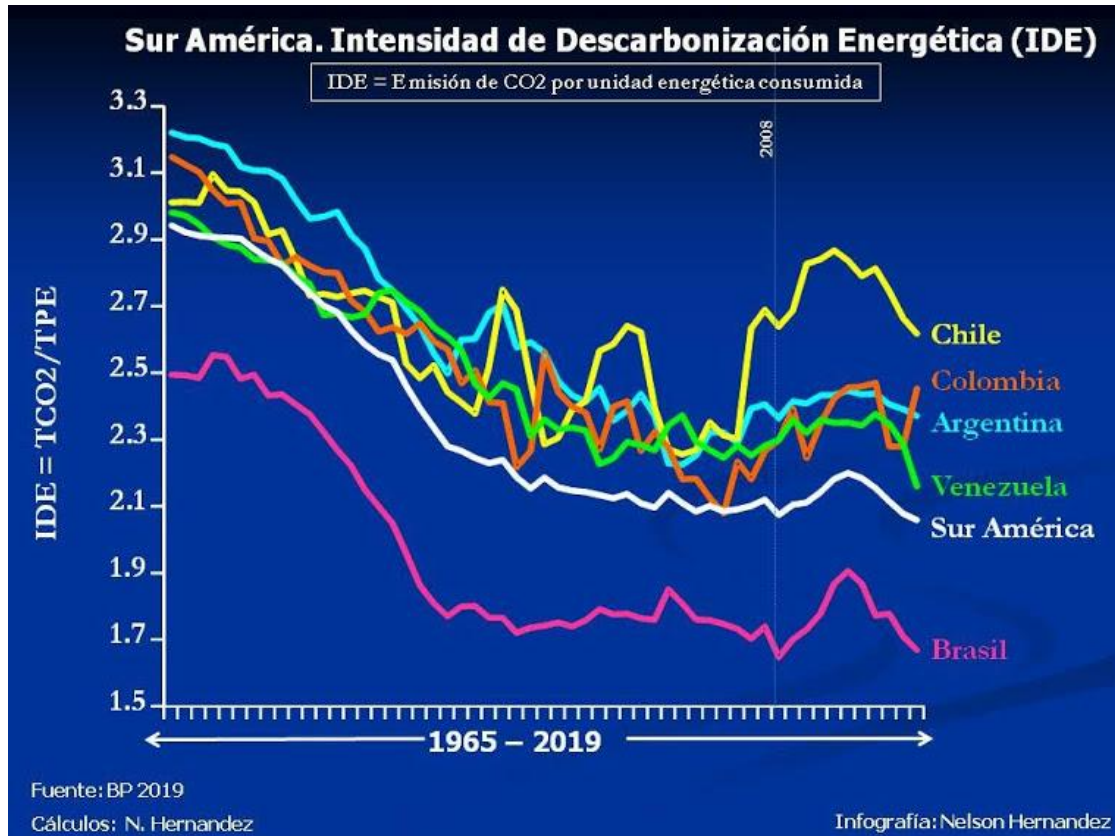
El mundo muestra un avance en la sustitución de las energías fósiles de 0.63 en el IDE, al pasar de 3.38 en 1965 a 2.75 en el 2019.



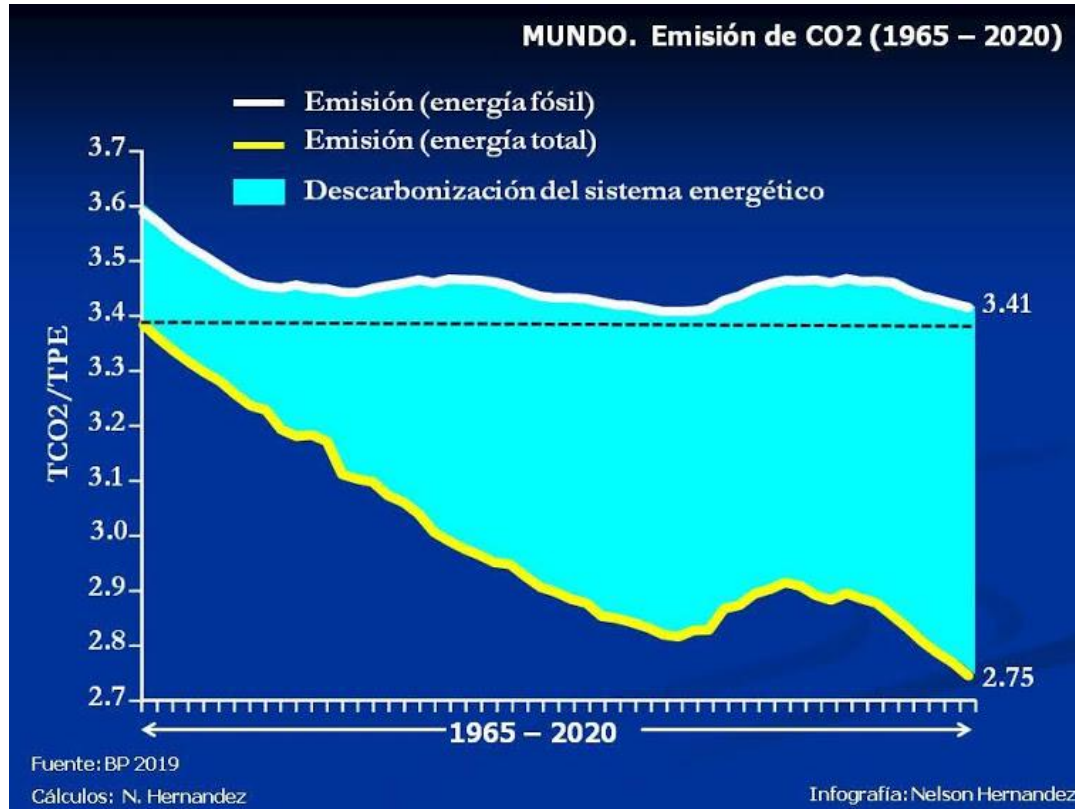
MUNDO. IDE por Regiones

	1965	2019	Diferencia
Europa	3,62	2,30	1,31
CIS	3,63	2,53	1,10
América del Sur	2,94	2,06	0,88
América del Norte	3,06	2,41	0,65
Mundo	3,38	2,75	0,63
Medio Oriente	3,22	2,62	0,60
África	3,63	3,09	0,53
Asia +Pacífico	3,59	3,15	0,45

Las dos graficas a continuación, muestran la evolución del IDE para Sur América (V+G) y para los mayores consumidores de energía (V+G). Se incluye a Venezuela con fines comparativos.



La grafica a continuación (V+G) muestra la evolución del IEF y del IDE a nivel mundial para el periodo 1965 - 2019. El área sombreada de color azul celeste representa la descarbonización del sistema energético global. En otras palabras, mas inconscientes que conscientes, el mundo ha venido incorporando energías amigables al ambiente en su matriz energética, con una mayor premisa o intensidad a partir del año 1997 ([protocolo de Kyoto](#)) y su reafirmación con protocolo de Paris ([COP21](#))

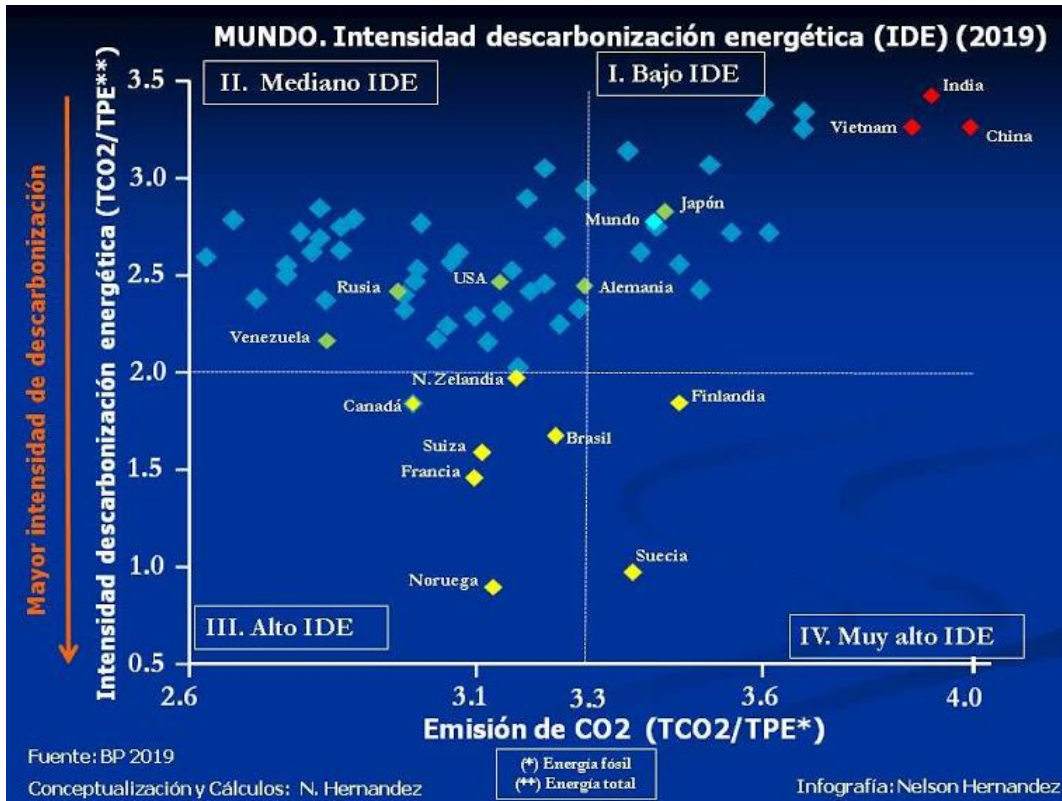


Una visión, al 2019, de la posición que ocupa cada país en cuanto a sus emisiones de CO2 y su logro de incorporación de las fuentes no emisoras de CO2, se muestra en la grafica a continuación (V+G).

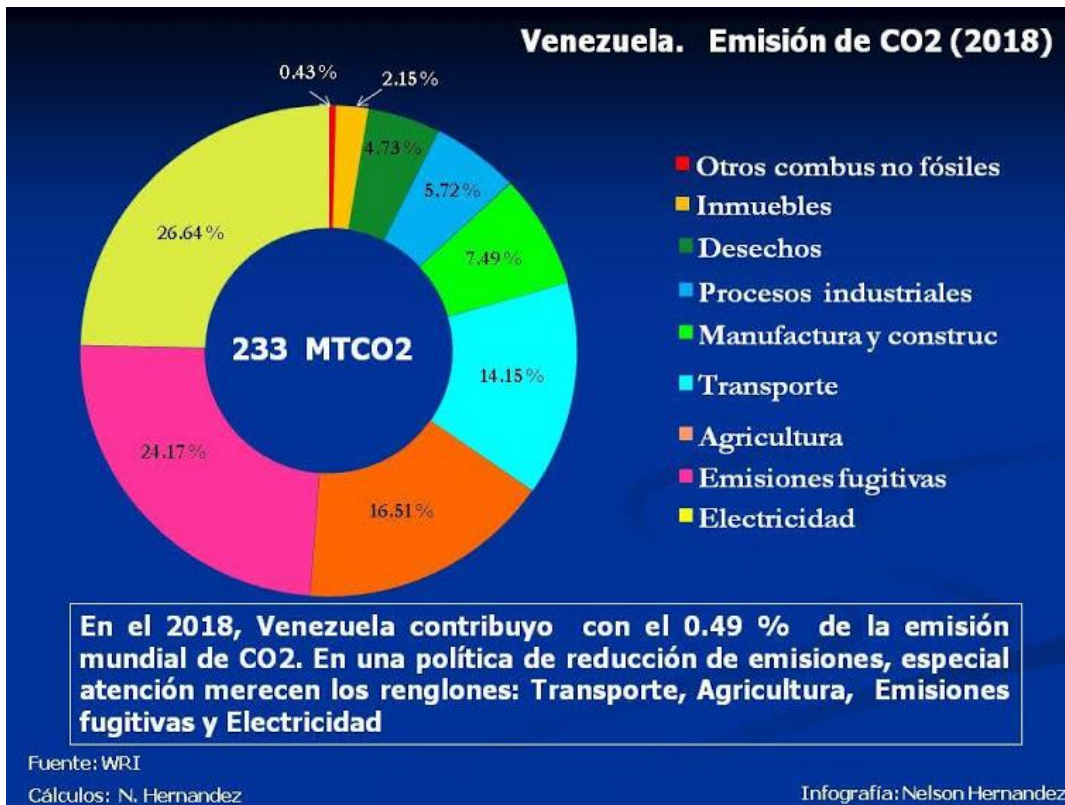
El eje de las abscisas representa la emisión de CO2 per se (IEF) y en el de las ordenadas el IDE. La grafica se ha dividido en los siguientes cuadrantes:

- **Cuadrante I:** Se ubican los países de bajo IDE o poca influencia de las energías no emisoras de CO2 en su matriz energética. Destacan India, China y Vietnam. En este mismo cuadrante se encuentra ubicado el mundo y Japón, ambos con tendencias a pasar al cuadrante II.
- **Cuadrante II:** Son los que poseen un IDE medio. Se destacan: Alemania, Estados Unidos, Rusia y Venezuela.
- **Cuadrante III:** Corresponde a los países que tienen un alto IDE. Se ubican 6 países. A saber: Nueva Zelanda, Canadá, Brasil, Suiza, Francia y Noruega.
- **Cuadrante IV:** Corresponde a los países con muy alto IDE. Finlandia y Suecia. Este último, es el país que tiene un mayor IDE a nivel mundial

La tendencia ideal es que los países se ubiquen en el cuadrante III y IV.



Por otra parte, Venezuela, ubicada en el cuadrante II, emitió 233 MTCO₂ a la atmosfera en el año 2018, tal como lo refleja la grafica a continuación (V+G)

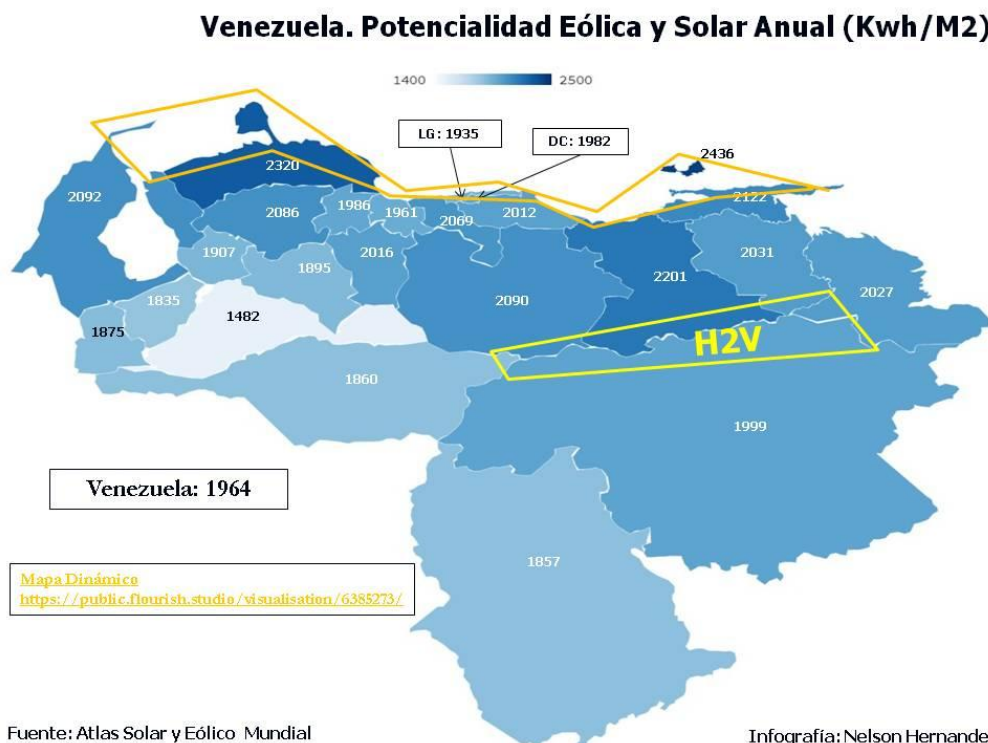


Este volumen emitido, correspondió al 0.49 % del total mundial para ese año. Aunque el porcentaje es bajo, no indica que no se deba hacer nada con respecto a las emisiones de CO₂, más aun cuando Venezuela es un país productor de hidrocarburos.

Con un esfuerzo planificado, Venezuela puede ubicarse en las primeras de cambio en el cuadrante III. Una reducción de las emisiones venezolanas, conlleva a mirar como estrategia viable al gas natural el país. Con un programa de gasificación nacional, se logra:

- El uso del gas natural, como GNV, en el sector transporte como sustituto de la gasolina y el diesel
- Mayor uso del gas en la generación termoeléctrica, sustituyendo al diesel
- Ampliación del suministro de metano a los sectores productivos y de servicios, como sustituto del diesel y el GLP
- Programas y proyectos que minimicen las emisiones fugitivas en la industria de los hidrocarburos, especialmente en lo que concierne al gas arrojado a la atmosfera y a emisiones en las refinerías.

Lógicamente, a lo anterior hay que sumarle la incorporación de las energías no emisoras de CO₂ al sistema de generación de electricidad. Especialmente solar y eólica, donde el país tiene un alto potencial, tal como se muestra en la siguiente grafica ([V+G](#))



Conclusiones

De lo expuesto a través del presente documento, podemos inferir lo siguiente:

- El principal reto de la humanidad en el presente siglo, es combatir el cambio climático de tal manera que garantice la permanencia en el planeta de todas de las especies vivas
- Está en marcha una carrera de alta competitividad entre el carbón, el gas natural y las energías no emisoras de CO₂ para proporcionar energía y calor a la economía mundial.
- La vía para mitigar las emisiones de CO₂ es la descarbonización del sistema energético mundial, lo que origina una transición energética que lleva implícito una menor utilización de los combustibles fósiles. El gas natural se convierte en el energético “bisagra” de la transición energética
- Se deben realizar todos los esfuerzos para no disminuir el Presupuesto de Emisiones de CO₂, que actualmente se encuentra en 0.59 Tera Toneladas de CO₂
- De acuerdo al IDE, todos los países han ido descarbonizando su matriz energética, sin embargo, se requiere de un mayor esfuerzo para incorporar fuentes energéticas no emisoras de CO₂
- Aunque Venezuela poco contribuye al total de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, se debe prestar especial atención a las provenientes de: Transporte, Electricidad, Agricultura y Emisiones fugitivas para minimizar tales emisiones, y el gas natural, es una vía para lograrlo, sin dejar de lado la incorporación de la eólica y solar en la generación de electricidad.

Una matriz energética global más amigable al ambiente está al alcance. Las tecnologías están y se siguen desarrollando para lograr su descarbonización, pero es necesario agilizar planes y proyectos, individuales, locales, regionales y globales, que conlleven a que un aumento de la temperatura terrestre no sea mayor a 1.5 °C para finales del presente siglo. El tiempo de la irreversibilidad del cambio climático se agota, hay que actuar... y cuanto antes mejor.

Finalmente, es de resaltar que reducir las emisiones de GEI no significa reducir el bienestar, sino cambiar la manera en que se logra esa calidad de vida.