



# Energía y Cambios Climáticos: *Dilemas Mundiales*

José Luis Pinedo Vega



*Energía, Cambios Climáticos y Dilemas Mundiales* es una edición dedicada al análisis sobre el papel de la energía en la civilización y las consecuencias sobre el Planeta. A través de 21 temas interrelacionados, se aportan elementos de análisis y una visión actualizada e integral sobre las dimensiones del mundo de la energía: su papel en la civilización, en el crecimiento demográfico y en la economía mundial; el impacto y responsabilidades de la sociedad moderna en el deterioro de la atmósfera y los cambios climáticos; las relaciones entre crecimiento económico, consumo de energía, deterioro de la atmósfera y cambios climáticos. Se exhiben varias falacias y se presentan los dilemas de la humanidad frente a las consecuencias del uso de la energía. El análisis y desmitificación de las “alternativas”, demuestra que será imposible en lo que resta del siglo, sustituir el enorme consumo de energía que aportan los combustibles fósiles. Se concluye que es imperativo tratar de modificar el pensamiento y comportamiento humano si se quiere dar viabilidad a nuestra forma de vida y demostrar que somos la especie más inteligente y responsable que existe en el planeta.



ISBN: 978-607-555-196-8



9 786075 155196 8

Energía y Cambios Climáticos:  
Dilemas Mundiales

Primera edición: 2024

Energía y Cambios Climáticos: Dilemas Mundiales

D.R. © José Luis Pinedo Vega  
D.R. © Fernando Mireles García  
D.R. © Fernando de la Torre Aguilar  
D.R. © Irma Yolanda Cisneros Garza  
D.R. © Jesús Iván Santamaría Nájera  
D.R. © I. Ignacio Dávila Rangel  
D.R. © Carlos Ríos Martínez

Diseño Editorial: Antonio Perales  
Portada: Antonio Perales  
Corrección de estilo: Evelyn del Río Ortiz

D.R. © Universidad Autónoma de Zacatecas  
"Francisco García Salinas"  
Torre de Rectoría 3er Piso Campus UAZ  
Siglo XXI Carretera Zacatecas-Guadalajara  
km 6, Col. Ejido la Escondida  
C.P. 98000 Zacatecas, Zac.  
investigaciónyposgrado@uaz.edu.mx

ISBN: 978-607-55-5196-8 UAZ

La presente publicación pasó por el proceso de revisión de pares ciegos, bajo los criterios editoriales establecidos por parte del Programa Editorial de la Universidad Autónoma de Zacatecas.

Esta publicación no puede ser reproducida, ni en todo ni en parte, ni registrada o transmitida, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma y por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo y por escrito de los editores.

José Luis Pinedo Vega

Energía y Cambios Climáticos:  
Dilemas Mundiales





# INDICE

PRÓLOGO	9
INTRODUCCIÓN	15
1. TRANSFORMAR: EL PAPEL FUNDAMENTAL DE LA ENERGÍA	17
2. LA DUALIDAD ENTRE DESARROLLO Y CRECIMIENTO	22
3. CAMBIOS CLIMÁTICOS	26
4. EL NIÑO	33
5. LAS CONFERENCIAS DE PARTES (COP's) DE LA ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS	38
6. CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA	44
7. HUELLA DE CARBONO EN TÉRMINOS DEL CO <sub>2</sub>	47
8. PRECISIONES IMPORTANTES SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)	53
9. EL CARBÓN, LA PIEDRA ANGULAR DE LA MODERNIDAD	60
10. EL GAS NATURAL, EN EL EPICENTRO DE LA INFLACIÓN Y LA CRISIS ENERGÉTICA MUNDIAL	64
11. MUTACIONES DEL MERCADO MUNDIAL DEL GAS EN EL 2022	68
12. IMPACTO ACTUAL DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA	73
13. ESTATUS DE LA ENERGÍA NUCLEAR	78
14. FUSIÓN NUCLEAR, 70 AÑOS DE UTOPIA	96
15. EL HIDRÓGENO ¿EL ENERGÉTICO DEL FUTURO?	101
16. LA NEUTRALIDAD CARBÓN Y LA UTOPIA ELÉCTRICA	106
17. EL ESPEJISMO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA	110
18. CARÁCTER ESTRATÉGICO DE LA ENERGÍA	112
19. CHINA, Y EL PRECIO DE SU MODELO DE NUEVO ORDEN ECONÓMICO	117
20. LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO Y LA TEORÍA DEL DECRECIMIENTO ECONÓMICO	122
21. DILEMAS ENTRE ECONOMÍA Y CAMBIOS CLIMÁTICOS	126
22. LA NECESIDAD DE UNA NUEVA REGULACIÓN ECONÓMICA MUNDIAL	129

CRÉDITOS  
REFERENCIAS

135  
137



*Agradecimientos*

*Un agradecimiento muy especial al Dr. Rafael Herrera Esparza, quien nos honra con suscribir el Prólogo de esta edición. Un especial reconocimiento a los revisores de la edición: el Dr. José Alejandro Castillo Méndez y el Dr. Alejandro Virgilio Gutiérrez Rodríguez, quienes han aportado opiniones relevantes para la elaboración de esta edición. Y un reconocimiento adicional a los primeros lectores M. C. Valeria Arteaga Neri, Dra. Argelia López Luna y Dra. Celia Torres Muhech.*

*José Luis Pinedo Vega*



## PRÓLOGO

**E**n 1798 *Thomas Robert Malthus* propuso el “Ensayo sobre el principio de la población”, donde aborda los problemas de la sobrepoblación y el manejo de recursos para la supervivencia, estas ideas han sufrido críticas por científicos y pensadores, algunos a favor y otros en contra. Por ejemplo, Karl Marx postuló en su libro “El Capital” que el progreso de la ciencia podría permitir el crecimiento indefinido y exponencial de la población. Este dilema es cíclico y el Doctor José Luis Pinedo Vega aborda esta cuestión en su ensayo “Energía y Dilemas Mundiales”, y actualiza un viejo y gran problema que ha llamado la atención desde hace décadas.

En 1973 Richard Fleicher dirigió la película “Soylent Green” que reflejaba un mundo postapocalíptico del siglo XXI donde la industrialización y el calentamiento global causaron un desastre ecológico del planeta con limitación en la producción de alimentos, este film fue ubicado en el 2022, donde la población de Nueva York sólo disponía de Soylent rojo y amarillo para la alimentación, el Soylent era fabricado a partir de cadáveres humanos, esta película de ficción en algunos aspectos comienza a hacerse realidad y se puede afirmar que “el destino nos alcanzó con el cambio climático”.

A partir de la Revolución Industrial, los combustibles fósiles han jugado un papel primordial en el desarrollo de la humanidad y han causado el deterioro del planeta. La asociación entre “máquina-energía”, responsable de la modernidad y confort humano, está ligada al calentamiento global, como bien lo comenta en su texto José Luis, también menciona varias teorías sobre el desarrollo desde la visión liberal y reduccionista, pasando por la Keynesiana, hasta la visión del desarrollo humano con menor costo ambiental.

La realidad es que, en cualquier sistema capitalista o socialista, el desarrollo ha estado ligado a la quema de combustibles fósiles, como el aceite, el gas natural o el carbón, para generar energía;

actualmente quemamos 4,000 veces más combustibles fósiles que en 1776 y su efecto es la producción de bióxido de carbono, óxido nitroso y dióxido de azufre, con un efecto invernadero por decenas o cientos de años. Los contaminantes atmosféricos reducen la calidad del aire, aumentan la reflectividad en la atmósfera y ponen en peligro la vida. A propósito, en el verano de 1983 yo trabajaba en un laboratorio en *Johns Hopkins*, cuando apareció mi profesor Tom Provost y me dijo: *asómate a la ventana*, y vi un sol rojo oscuro, y él dijo *dark sun in the sky, pollution in the air* refiriéndose a la polución de Baltimore en aquel día; entonces no imaginé lo que el clima iba a cambiar, hoy en el 2023 el 74% de jóvenes tiene miedo al futuro, entre otras razones, por el cambio climático, como lo afirma José Luis en su libro.

El cambio climático es producto de las actividades antropogénicas y uno de sus efectos es el calentamiento global; el cual se refleja con: sequías extremas, olas de calor, incendios forestales, o bien: destructivos huracanes e inundaciones en ciertas áreas del planeta, con la reducción significativa de los casquetes polares, el deshielo de glaciales, la reducción del permafrost que en su conjunto causan elevación del nivel del mar.

El efecto invernadero modifica el ciclo del carbón, altera a los organismos fotosintéticos, incluyendo las plantas y el plancton y los contaminantes atmosféricos se disuelven en el agua y producen la acidificación en los océanos, estos patrones de cambio afectan el ciclo de nieve y hielo y la disponibilidad de agua dulce. Si a lo anterior agregamos la deforestación masiva, causada por el hombre y por el efecto de incendios forestales, el resultado es la erosión del suelo con reducción de los niveles de nutrientes en los ecosistemas terrestres.

En este libro el autor habla de las catástrofes inducidas por el cambio climático y de los esfuerzos mundiales de remediación (COP's), esfuerzos que aún son insuficientes, llámense protocolo de Kioto, tratado de París u otros; además, señala como un factor causante del problema: la compulsiva economía de mercado. En la parte medular del libro, analiza el consumo de energía primaria y su secuela, "la huella de carbono", examina las reservas de combustibles fósiles y la producción de contaminantes y el efecto invernadero causado por los principales países indus-

trializados. En la parte técnica del libro, discute las alternativas energéticas como la energía nuclear, sus beneficios, inconvenientes y accidentes (Chernóbil, Fukushima), y otras opciones energéticas como la fusión nuclear, etcétera, todas ligadas al aspecto económico y ecológico. Termina haciendo una reflexión sobre el dilema del costo para frenar la catástrofe ecológica.

El Dr. José Luis Pinedo Vega presenta el libro *Energía y Dilemas Mundiales*, lectura obligada para universitarios y para el público en general, pues contiene información actual y relevante sobre este tema que nos atañe a todos. Nuestro ilustre autor es un destacado intelectual universitario, dedicado a la Mecánica de Medios Geofísicos y Ambientales, inicialmente Ingeniero Químico por la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) y Doctor en Ciencias por la Universidad Joseph Fourier de Grenoble, Francia, es diplomado en Física de la Energía por el Instituto Politécnico Nacional de Grenoble y, para fortuna nuestra, es profesor de la UAZ y además amigo entrañable.

*Rafael Herrera Esparza*



“El foco eléctrico no se inventó tratando de mejorar las velas”

*Jean Marc Jancovici*





## INTRODUCCIÓN

Nuestra forma de vida es artificial. Gracias al conocimiento, a la ciencia, la tecnología y a la energía la sociedad moderna se mueve a una velocidad impresionante y sin precedente en la historia de la civilización.

En el año 1650, la población mundial ascendía apenas a 500 millones de habitantes. La población se duplicó alrededor del año 1800, siglo y medio después. Alcanzó los 2 mil millones de personas en 1930, 130 años después. Llegó a 3 mil millones en 1960, en tan sólo 30 años. Alcanzó los 4 mil millones en 1974, 14 años después; los 5 mil millones en 1987, 13 años después; los 6 mil millones en 1999, 12 años después; 7 mil millones en octubre de 2011, 11 años después; y llegó a 8 mil millones en el 2022.

Gracias a la alimentación, la medicina, las vacunas, la producción industrial de alimentos, la organización social... en poco más de medio siglo la esperanza de vida a nivel mundial pasó de 55 a 80 años.

La Tierra por sí sola ya no es capaz de dotar de alimentos a la población actual. El abasto de alimentos depende fuertemente de la industria agrícola –altamente tecnificada, dotada de maquinaria, riego, fertilizantes, insecticidas, semillas mejoradas y transgénicas, invernaderos–. Sin ciencia y tecnología la Tierra ya no tendría suficiencia para albergarnos en forma natural y la población mundial no hubiera llegado al nivel actual.

Si la superficie habitable de nuestro planeta está limitada a 510 millones de Km<sup>2</sup> es lógico concluir que: el crecimiento de la población mundial sea finito, que la capacidad de producción de alimentos, por más fertilizantes e insecticidas que se usen, llegará a un límite y no será suficiente para alimentar a la población futura; que los recursos no renovables se agotarán, y que el aumento en la producción de desechos será tal que no habrá lugar para depositar más desechos y materiales contaminantes.

El agua, el aire y el suelo se degradan debido a la contaminación química. Los cambios climáticos se acentúan año con año. Los suelos pierden paulatinamente su fertilidad. El consumo de petróleo, gas natural y carbón, imprescindibles en el mundo, se irá agotando.

Pero, la sociedad moderna ha sido adoctrinada para ignorar todo eso. No se cultiva la capacidad de asombro; por tanto, los grandes problemas son imperceptibles para la mayoría absoluta de la población mundial.

El crecimiento ilimitado se ha metido en la médula de la sociedad como precepto fundamental de la economía y la política, tanto, que es extremadamente raro encontrar quien se atreva a ponerlo en duda o a cuestionarlo. El crecimiento ilimitado se ha convertido en el principio, el medio y fin de las actividades económicas y sociales.

Durante mucho tiempo, la idea de crecimiento económico no existía ni tenía sentido. Crecimiento se usaba en biología para describir el aumento de tamaño de los seres vivos. Hasta el siglo XIX, las sociedades vivían en un mundo relativamente estable, lidiando con la escasez y la limitación de recursos. Desde el comienzo del auge industrial, se expresaron muchas dudas con respecto al proyecto de expansión continua de la producción, y se formularon muchas advertencias contra el proyecto moderno de artificialización del mundo.

Pero, a pesar de que comenzó como un concepto ambiguo, el crecimiento se fue acuñando y de repente se adoptó como dogma ineludible de la economía. Sin embargo, crecimiento económico implica cada día mayor actividad económica, cosa que parece muy seductora. Pero mayor actividad económica implica mayor producción y mayor industrialización, cosa que también se escucha bien. Pero, como no hay proceso cien por ciento eficiente, mayor producción requiere mayor consumo y despilfarro de materias primas, mayor producción de desecho y mayor consumo de energía.

Dado que el 83.15% de la energía que se consume proviene de quemar combustibles –petróleo, carbón, gas natural, biocombustibles y biomasa–, y que quemar implica convertir materia orgánica o combustibles en bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el creci-

miento económico implica mayor liberación de emisiones a la atmósfera. Lo peor del caso es que no sólo se libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Hay otros *Gases de Efecto Invernadero (GEI)* que se liberan en enormes cantidades y que incluso tienen mayor poder de recalentamiento. Los GEI son responsables de los *cambios climáticos* –sequías, altas temperaturas e incendios forestales en algunos lugares, lluvias torrenciales e inundaciones en otros, el deshielo de los polos, el deshielo en los volcanes y, por tanto, la multiplicación de las erupciones–.

Así que: crecimiento económico, consumo de energía, deterioro de la atmósfera y cambios climáticos tienen relaciones directas.

Este compendio trata de esclarecer cuáles son los obstáculos que impiden que la lucha contra los cambios climáticos prospere. Se concluirá que los problemas de fondo no han sido correctamente visualizados, y no existen mecanismos legales para imponer soluciones. Entre otros factores, los gobiernos no tienen la visión, el poder o la voluntad de inducir una reducción tanto en el consumo de combustibles fósiles como en las emisiones de GEI.

La sociedad moderna se debe y depende de la ciencia y la tecnología. La humanidad vive o sobrevive gracias a un mundo artificial. El reto es redirigir la ciencia y la tecnología para salvar el Planeta.

¡Alguien tiene que pensar! La intención de esta compilación es reunir información y elementos de análisis que permitan reflexionar.

## **1. Transformar: el papel fundamental de la Energía**

En los inicios de la historia de la civilización la humanidad, como una especie animal más, no tenía otro recurso que utilizar su propia energía para subsistir, su energía muscular. El descubrimiento del fuego, como fuente de energía para procesar alimentos, aceleró el proceso de civilización. Se comenzaron a esculpir y utilizar los primeros instrumentos de trabajo. Se comenzó también a utilizar la energía de los animales.

Desde los romanos y los griegos hasta hace dos siglos la capacidad de transformación de la humanidad era sumamente limitada y seguía siendo prácticamente la misma. Se seguía disponiendo de la fuerza muscular de las personas, auxiliada por herramientas y por animales. Paulatinamente se incorporaron las primeras máquinas, carretas y grúas. El transporte marítimo, lo más evolucionado de la antigüedad, utilizaba remeros y el viento. En la Edad Media los vientos encontraron una nueva aplicación: los molinos de viento. Y para preparar alimentos se utilizaba la leña. Es decir, se vivía con fuentes renovables.

Las limitantes de la producción eran el número de trabajadores y territorio. Se necesitaba mucho territorio y mucha gente para producir. En esa época, la guerra era fundamental para conquistar territorios para cultivar, y esclavos para obligarlos a trabajar. De esta manera, un puñado de gentes —la nobleza, la clase política y los ejércitos— vivían a costa de miles de esclavos o súbditos. No, no había democracia —ni en Roma— había una enorme diferenciación y estratificación social.

A costa de los esclavos se construían diversos tipos de edificaciones, muchas de ellas admirables hoy en día, que tardaban decenas y hasta centenas de años en ser construidas. Y a costa de esclavos, se comercializaba, y se acaparaba producción y riqueza.

Y así, la historia se repitió durante siglos.

En el siglo XVIII se inventó la máquina de vapor, que requería leña para moverse y rieles, y para construirlos necesitaba mucha más leña. De tal forma que la depredación de los bosques acompañaba el progreso técnico.

Afortunadamente el carbón, que se extrajo del subsuelo, sustituyó a la leña y se interrumpió la depredación de los bosques y se detuvo la deforestación. Poco después, ya en el siglo XX, el *petróleo* —que también se extrae del subsuelo— relevó al carbón, por contener mayor poder energético, ser más fácil de transportar y porque, aunque producía humo, no producía hollín. Y ambos, carbón y petróleo, cambiaron el curso de la historia y pusieron a salvo los bosques.

Las máquinas demostraban que podían realizar muchas veces más trabajo que los humanos y que eran mucho más eficientes. Y ya no se necesitaron más los esclavos. Así que, el carbón y el

petróleo también salvaron a los esclavos. También a las ballenas, cuya cacería era despiadada porque su grasa era usada como combustible.

Con la multiplicación y el desarrollo de las máquinas y el uso de carbón y de petróleo la capacidad de producción aumentó y con ello se generó más riqueza, el comercio se intensificó y comenzó a haber ya no sólo riqueza acaparada, sino riqueza en excedente y comenzó a haber crecimiento económico.

Hasta mediados del siglo XVIII no había crecimiento, la capacidad de producción era constante porque dependía de la fuerza muscular y un uso limitado de energías renovables. Salvo de los nobles, la gente pasaba los días enteros en actividades para poder nutrirse, incluidos fines de semana. No, no había vacaciones, ni jubilación.

El crecimiento económico apareció con la industrialización y ésta no hubiera sido posible sin el dominio de la energía y la conjunción de tres factores: capital, trabajo y productividad global de factores –que se puede traducir como la capacidad que las economías tienen de producir bienes de consumo y servicios, a partir de los stocks de infraestructura, capital y trabajo–.

Gracias a la energía y a las máquinas podemos vivir en ciudades y aprovechar los productos del campo. La energía y las máquinas se encargan de traer todo lo que consumimos desde lugares, algunas veces, muy lejanos. Y con ello podemos tener tiempo libre, fines de semana, vacaciones pagadas, jubilaciones. Quienes hemos estudiado hemos pasado hasta 20 o más años de nuestra vida estudiando, es decir sin aportar nada para nuestra subsistencia.

Y, ciertamente, este sistema no es justo. La gente que produce lo que consumimos prácticamente no tiene tiempo libre, ni las remuneraciones que se dan en las ciudades por hacer cosas que, por lo general, son improductivas.

La modernidad tiene siglo y medio. De esto casi no se habla. En las nuevas generaciones una gran proporción piensa que siempre ha habido, celulares, internet... y que todo es desechable. Porque es raro que a la sociedad actual se le inculque la capacidad de asombro. ¿Cuánto hace que hay estufas, refrigeradores?, o simplemente ¿cuánto hace que existen los WC y regaderas

en la propia casa? ¿Cuánto hace que no había televisión y sólo había radio? ¿Quién sabe qué tecnología contiene un celular, y qué hace posible que podamos estar conectados todo el día con el mundo? Son preguntas que casi nadie se hace. Simplemente somos usuarios y somos muy exigentes cuando algo no funciona. Porque asumimos que todo lo merecemos.

Quien tiene carro obvio es incapaz de construir un carro, sin embargo, piensa que, por el trabajo que hace, se lo merece. Cosa que es completamente absurda. Y este ejemplo se puede extender a todos los bienes tecnológicos que disponemos. Pensamos que merecemos lo que tenemos, que lo hemos ganado con el sudor de nuestra frente. ¡Por favor!

Pero, cómo hacer entender a toda una sociedad que lo que hoy tenemos tiene toda una historia. El confort y la modernidad que nos abriga se debe a un cúmulo de experiencias transmitidas, a infraestructura acumulada a costa del trabajo y de la inteligencia de gente que nos antecedió, y sobre todo se tiene a costa del deterioro del medio ambiente.

Ser reconocedores, reflexivos y analíticos o críticos es cuestión de educación. Pero la educación se nos está yendo de las manos. Porque se ha perdido de vista qué y para qué es la educación y a quién corresponde cultivarla.

Tratemos de ilustrar lo que significa la asociación máquina-energía. La gasolina tiene un procesamiento enorme, —desde la prospección del petróleo, la perforación de los pozos, la extracción, la refinería, el transporte y hasta la bomba—. Con 10 litros de gasolina se puede viajar de Zacatecas a Aguascalientes en una hora, a una velocidad de 120 km/h. Esos diez litros cuestan 220 pesos, igual que un kg de carne. La carne nos da energía, pero no para cubrir esa distancia y menos a una gran velocidad.

Esto habla del poder de la combinación energía-máquina.

¡Pero, la gente lo único que ve es que la gasolina es muy cara! Lo que pasa es que se ha metido hasta la médula que todo debe ser gratis. Y uno de los grandes problemas es justamente la falta de educación de la sociedad moderna. Debiera cultivarse la capacidad de asombro para entender el valor de las cosas. Debieran cultivarse más los valores.

Y toda esa inconsciencia demuestra un gran vacío en la política. Ésta está dedicada a complacer a la sociedad, no a adaptarla a las circunstancias del momento ni a respetar a la naturaleza. No siempre son posibles las complacencias. Tal es el caso de la energía, en este momento, porque los recursos energéticos se están agotando y el consumo de energía está asfixiando al planeta, se está produciendo la mayor catástrofe del planeta.

El consumo mundial de petróleo representa el 3% de la economía mundial. Sin embargo, mueve más de la tercera parte de la tecnología mundial. Y la tecnología está presente en todas las actividades productivas y sociales. Esto denota el papel imprescindible de la energía en la sociedad moderna.

En los hechos, el petróleo –y todos los recursos naturales del subsuelo– no tiene un precio real. Lo que se paga es la extracción, el transporte, la purificación, la refinación, la comercialización... en ninguna parte se paga, ni siquiera se piensa pagar, el agotamiento de los recursos naturales, mucho menos los efectos de la contaminación generada.

Y ése es el problema fundamental del deterioro ambiental. Ha penetrado en la mentalidad social una actitud utilitaria y consumista.

No porque las cosas sean baratas tienen porque despilfarrarse. Si reflexionamos, y sobre todo si actuamos, podemos llegar a muchas conclusiones. Entre otras, es necesario que la especie humana actúe como la especie más inteligente y más racional del planeta. Porque actualmente somos la especie más depredadora, utilitaria y egoísta.

La energía ha transformado todo, pero lo lamentable es que la transformación que se ha quedado muy atrás es la del pensamiento humano. Y los políticos, en lugar de dirigir a la sociedad, prometen más y más crecimiento. Como si sólo se tratara de prometer y conceder deseos.

A pesar de lo nefasto que puedan parecer los combustibles fósiles, a ellos se debe la modernidad, el confort de la sociedad moderna y la riqueza en el mundo. Sin embargo, son la causa de la catástrofe atmosférica y su uso se tiene que racionalizar.

## 2. La Dualidad entre Desarrollo y Crecimiento

El concepto *desarrollo*, en la mayor parte de las teorías o visiones que existen, está asociado al estatus económico. En el mundo entero rige la economía de mercado y nada más que la economía de mercado. Y, como el precepto fundamental de la economía de mercado es el *crecimiento* económico, predomina la idea de que crecimiento económico es sinónimo de desarrollo; cosa que, se sobreentiende, de ninguna manera es lo mismo.

Ni crecimiento es lo mismo que desarrollo, ni la economía de mercado es la panacea. Si lo fuera, el desarrollo ya hubiera llegado a todo el mundo. Sin embargo, existe una enorme estratificación de la riqueza a nivel mundial.

Sólo en 23 países el Producto Interno Bruto por habitante, o per cápita (PIB pc), es superior a 40 mil dólares por año. En el conjunto de este primer grupo de países viven tan sólo 582 millones de personas, —el 7.4% de la población mundial—. Y la estratificación de ese grupo de países es abismal. El Primero de ellos, Luxemburgo, tiene un PIB pc 3 veces superior al de Canadá, el número 23.

Un segundo grupo es un poco más compacto, con un PIB pc de entre 20 y 40 mil dólares por año por habitante. En conjunto, de ese nivel de vida, se benefician 474 millones de personas —6.1% de la población mundial—.

México aparece en un tercer grupo; el de los países que tienen un PIB pc de entre 10 mil y 20 mil dólares. Este grupo es muy heterogéneo, lo compone una diversidad de países, entre otros China con sus 1,440 millones de habitantes. En conjunto, en estos países, viven del orden de 2,330 millones de habitantes, el 30.3% de la población mundial; aunque hay que tomar en cuenta que sólo China representa el 18.6% de la población mundial. Este grupo tiene un PIB pc entre 5 y 10 veces más pequeño que el llamado primer mundo.

México aparece en el lugar número 52 de la estratificación mundial, con un PIB pc un poco mayor a 10 mil dólares, entre los últimos países del tercer grupo. Con un nivel de vida similar o superior al de México vive el 44% de la población mundial; mientras que el 56% de la población mundial, distribuido en



alrededor de 150 países, tiene un nivel de vida muy por debajo del nuestro.

Si en México la pobreza es generalizada, imaginemos lo que sucede en los 150 países restantes. En tales circunstancias ¿será justificable el modelo económico actual?

Mucha gente vive en la utopía de que los países pobres podrán llegar a ser ricos y que, dentro de cada país, se puede ascender de clase social. Pero, la realidad es que bajo este sistema económico las diferencias sólo se profundizan y no se puede cambiar de clase social, ni, aunque nos sacáramos la lotería. Y esto puede proyectarse a nivel mundial. Es imposible modificar la estratificación económica mundial. Un siglo de historia y la estratificación económica mundial lo demuestra. Aun así, tenemos en la médula de la sociedad la idea de que sí se puede, y en el mundo sigue rigiendo una sola teoría económica del desarrollo, con algunas variantes, según la literatura.

En la literatura se dice que existen al menos cinco “teorías” diferentes sobre el desarrollo.

La visión *neoclásica* o *liberal* del desarrollo tiene una connotación estrictamente económica y se mide en términos de crecimiento económico y en particular del PIB. Considera que los actuales países ricos han alcanzado el desarrollo gracias a la acumulación de riqueza, el aumento de la producción y a su desarrollo tecnológico. Y esta receta, el crecimiento económico, se promueve en todo el mundo. Sin embargo, después de décadas de profundización de la desigualdad entre países ricos y pobres esta visión –denominada conservadora–, evidentemente, debiera ser considerada como reduccionista.

Una segunda visión –llamada *reformista*– es la versión *keynesiana*. Al ver que la visión liberal tenía fallas, puesto que países con buen crecimiento de producción no se desarrollaban, los keynesianos establecieron que el desarrollo se logra mediante el capitalismo usado por países ricos, pero, procurando tener un mercado interno poderoso y saneado, un flujo económico estable y poca dependencia del exterior. En esencia es una teoría similar a la liberal, puesto que se sustenta en el aumento en la producción, promoviendo mayor circulación interna del mercado.

Una tercera visión es la *marxista*. Bajo esta versión los países subdesarrollados, aunque realicen reformas tanto internas como en el comercio mundial, jamás llegarán al desarrollo, ya que los países pobres están marginados en el mercado; puesto que participan en las tareas más baratas de la cadena: el mercado –la extracción de recursos naturales y del uso de mano de obra barata– Según la versión marxista para que el mundo se desarrolle debería aplicarse un modelo económico alternativo, el socialismo. Pero este sistema quedó proscrito después de la caída del bloque socialista.

La cuarta visión predica un *desarrollo humano*, aquí coinciden altero-globalistas, ecologistas y feministas. Consideran que el desarrollo tradicional, seguido por los países ricos –basado en la industrialización y la producción intensiva– tiene un elevado costo ambiental, social y ecológico, por lo que se debe buscar un sistema económico alterno basado en el desarrollo humano y en el aumento de las oportunidades socioeconómicas o de las capacidades humanas.

La quinta visión se ha llamado la *revolucionaria personal*. Está representada por un heterogéneo conjunto de economistas de países no de primer mundo, que enarbolan postulados filosóficos que relacionan las tradiciones culturales no occidentales –como la filosofía perenne– que llevan al desarrollo a centrarse en el crecimiento personal y en la auto-realización y el progreso interior; consideran al individuo como base de la sociedad.

Las críticas a los promotores del desarrollo humano, e incluso de la llamada visión revolucionaria personal, tienen sentido; entre otras cosas, porque desarrollo es un concepto que permite crear ilusiones, pero que en los hechos es parte de la estrategia que mantiene el “orden económico mundial”. Además, en todo rigor, ambas teorías no son otra cosa que la promoción pasiva del conformismo.

Sin embargo, independientemente de las teorías, el precepto fundamental que impera en la economía de mercado no es el desarrollo, sino el *crecimiento económico*. Precepto, engañosamente imprescindible, que ha dominado los medios de comunicación y los espacios políticos, como una categoría económica, sin la cual los políticos no pueden salir a la luz pública.

Crecimiento es un concepto reduccionista, no implica bienestar social general, implica simplemente un aumento en el PIB; para ello debe aumentar la producción de bienes y servicios y debe haber una creciente circulación de las mercancías y del dinero.

Un pobre crecimiento económico se califica como un fracaso político y se exhibe como una catástrofe económica.

La economía de mercado funciona aparentemente bien, pero en forma artificial. Casi sin excepción, las grandes potencias registran crecimiento económico continuo. Pero el motor de la economía mundial es la *deuda*. Y las deudas tienen un sistema de excepción para las primeras potencias. Curiosamente las deudas de las grandes potencias económicas no disminuyen ni desaparecen. En los hechos las primeras potencias no tienen capacidad de pago de su deuda y tal vez ni el interés. Y como, por lo general, la deuda se pondera respecto al PIB de cada país, aunque la deuda aumente, porcentualmente siempre está disfrazada.

El carácter de dogma de fe del crecimiento económico debiera considerarse controversial, entre otras cosas, porque el crecimiento no resuelve ni el desempleo, ni la inflación, mucho menos las desigualdades y ni siquiera la deuda. A la luz de que la sobreproducción es la causa de despilfarro de recursos naturales, de contaminación y de sobreacumulación de GEI (§ 6), debiera modificarse la idea sobre el crecimiento y las pretensiones de las economías.

Según un estudio, financiado por la ONG Avaaz, basado en una encuesta realizada entre mayo y junio de 2021 por el Instituto Kantar, de 10,000 jóvenes, de entre 16 y 25 años en diez países, el 74% considera que el futuro “da miedo “. Debido al cambio climático “el 39% duda en tener hijos”.

Los jóvenes tienen razón en estar preocupados, pero la clase política ignora el sentir de la sociedad; parece estar convencida de que hay soluciones, lo peor del caso es que desconocen absolutamente cuáles podrían ser esas soluciones. Las propuestas de la clase política, en general, no tienen completo sustento científico y se pueden calificar como meras corazonadas.

En la literatura puede haber muchas versiones de la teoría del desarrollo, pero en la práctica sólo rige una: la que sigue negan-

do el desarrollo al mundo en forma integral y no le importa la degradación del planeta. El desarrollo está sumamente estratificado. Se pueden encontrar pinceladas de modernidad en el tercer mundo, pero está clara la enorme diferencia.

Por tanto, no es racional, ni humano, seguir predicando la misma visión y versión de la economía al mundo entero. Cada día es más urgente e importante revisar el orden económico mundial, las relaciones internacionales, las relaciones sociales, el papel de la clase política. Tarde que temprano será imperativo el tener que construir un nuevo orden económico mundial más racional, acompañado de una nueva mentalidad.

### **3. Cambios Climáticos**

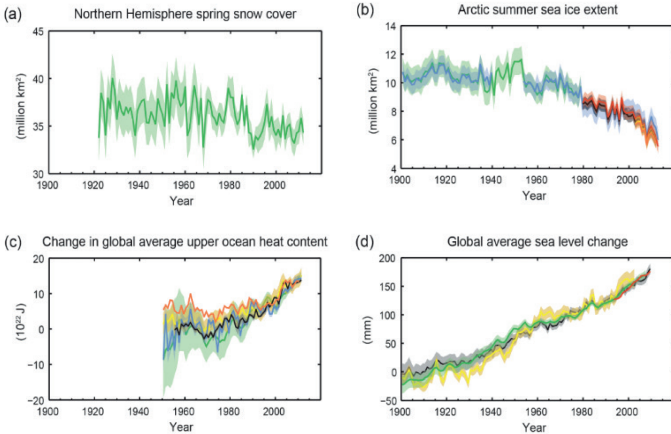
Hasta hace dos décadas se entendía que los cambios climáticos eran problemas potenciales y que sus eventuales efectos se verían a largo plazo.

Sin embargo, las manifestaciones de los cambios climáticos son cada día más frecuentes e inequívocas: i) el aumento en el número e intensidad de los huracanes, con inundaciones cada vez más frecuentes y devastadoras, con pérdidas de vidas humanas, de especies biológicas y de enormes cantidades de recursos materiales y económicos; ii) la sucesión de sequías extremas y olas de calor que provocan incendios forestales, deforestación, pérdidas de vidas humanas, especies biológicas y en la agricultura y ganadería; iii) la reducción de la superficie cubierta por nieve en los casquetes polares (Mudryk, 2022) y iv) el derretimiento de los glaciares, volcanes y montañas y la elevación paulatina del nivel de los océanos, que da lugar al incremento en las erupciones volcánicas. Todos estos eventos son evidencias innegables de la transformación y degradación del planeta.

En la *Figura 1* se muestra la evolución de cuatro indicadores de los efectos de los cambios climáticos: la reducción de superficie cubierta por nieve en el Ártico, a) en primavera y b) en el verano; c) el aumento de la cantidad de energía acumulada en los océanos, y d) la elevación en el nivel de agua de los océanos, producto del deshielo de los casquetes polares.

En la *Figura 2* se muestran los cambios en la temperatura de la superficie de la Tierra, respecto a la temperatura promedio en el periodo entre 1880 y 2020.

En la *Figura 3* se presentan los cambios en la temperatura, desde la época preindustrial, tanto de los océanos como de la superficie de la Tierra. Se observa un mayor cambio en la temperatura sobre la superficie de la Tierra respecto a la de los océanos. Esto resulta paradójico porque, aunque abarcan una extensión del 75% de la superficie del planeta, los océanos tienen una capacidad de absorción del exceso de calor producido por el efecto invernadero del 90%. Pero, la elevación en la temperatura es menor debido a que el agua tiene una mayor capacidad calorífica que la Tierra y a que los océanos tienen una mayor capacidad de disipación de ese calor. Los océanos disipan el calor mediante la evaporación de agua. Justamente, esta capacidad de evaporación es la que da lugar a la formación de nubes cada vez más gigantes, que son el origen de la formación de ciclones con un poder de destrucción cada vez mayor.



*Figura 1. Indicadores que dan cuenta del deshielo de los casquetes polares.  
Fuente: IPCC 2013.*

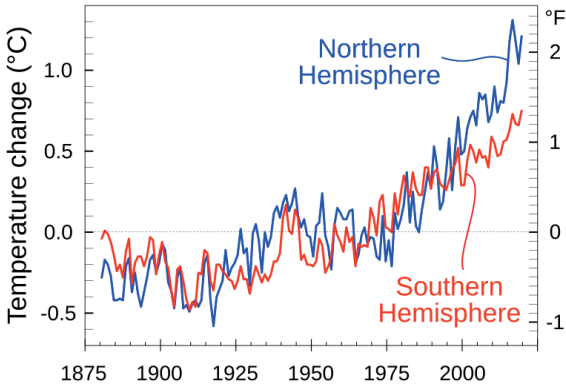


Figura 2. Cambios en la temperatura de la superficie de la Tierra entre 1880 y el 2020. Fuente: NOAA Climate.gov.

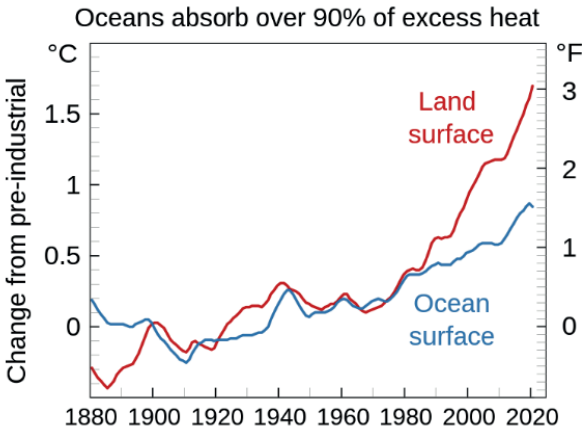


Figura 3. Cambios en la temperatura de los océanos y la superficie de la Tierra, desde la época preindustrial. Fuente: Efbrazil CC BY-SA 4.0, con datos de la NASA.

Cada año se forman del orden 80 tormentas y ciclones tropicales alrededor del mundo. El número de ellos, de categoría 4 y 5, se multiplicaron por dos entre 1970 y el 2000 (McLendon, Schweitzer, 2014).

Tifones en Asia, huracanes en el Atlántico Norte y el Pacífico y ciclones en cualquier otra parte designan el mismo tipo de

fenómeno meteorológico –una enorme zona de nubes con diámetros entre 500 y 1000 km, en rotación, acompañadas de vientos violentos–. Son capaces de liberar una potencia diez veces superior a la de una bomba nuclear como la de Hiroshima. Todos se forman de la misma manera, cuando la temperatura del mar sobrepasa los 26°C en los primeros 60 metros de profundidad del océano.

Las tormentas y huracanes se clasifican de acuerdo a la velocidad de los vientos: Tormenta (velocidad < 118 km/h), Ciclón categoría **1** (119 a 153 km/h), Ciclón categoría **2** (154 a 177 km/h), Categoría **3** (178 a 210 km/h), Categoría **4** (211 a 251 km/h), Categoría **5** (251 a 300 km/h), Categoría **6** (>300 km/h).

Los ciclones más devastadores son los que han azotado el Este de Asia. Entre ellos, el más mortífero en la historia, sin duda, ha sido el tifón *Haiyan* (Cat. **6**), que azotó Filipinas en el 2013, con vientos con velocidades hasta de 315 km/h, causando la muerte de 13,000 personas y la destrucción de ciudades enteras. Le sigue el tifón *Maemi* (Cat. **5**), que azotó Corea del Sur en el 2003 con vientos con velocidades hasta de 278 km/h, causando 130 muertes y destrucciones por 4,500 millones de dólares (M US \$). *Bopha* (Cat. **5**), en el 2012, con vientos con velocidades hasta de 260 km/h que causó en Filipinas 1,901 muertes y daños por 1,700 M US \$. *Durlan* (Cat. **5**) en el 2006 con vientos con velocidades de 250 km/h causando 1,399 muertes en Camboya y Vietnam y daños por 66,400 M US \$.

En el Atlántico y el Caribe entre los ciclones más mortíferos figuran: *Matthew* (cat. **5**) que, en septiembre y octubre de 2016, causó la muerte de 600 personas en Haití y dejó daños por 2700 M US \$ y un millón y medio de damnificados. *Katrina* (cat. **5**) que asoló Nueva Orleans en agosto de 2005 causando 1,836 muertes. *Sandy* (cat. **3**) que causó 210 muertes en octubre de 2012. *Ike* (cat. **4**) con un saldo de 195 víctimas y 26 desaparecidos en septiembre de 2008. *Irene* (cat. **3**) que provocó la muerte de 55 personas en agosto de 2011. Y *Allison* (tormenta tropical) que cobró 41 vidas en junio de 2001.

El 2010 parece ser el año récord de catástrofes naturales. Se registraron 950 catástrofes. La más devastadora, seguramente, fue la *sequía* sucedida en *Etiopía* que mató a 300 mil personas. Se

suman: el *Mousson*, que produjo inundaciones en Paquistán el 11 de agosto, causando 1,760 muertes, y dejando sin abrigo a decenas de miles de personas y causando daños por 9,570 millones de dólares (M US \$). El 7 de agosto las fuertes lluvias en la región de *Gansu*, en China, provocaron el deslizamiento de tierra, lo que causó la muerte de 1,200 personas y de 500 desaparecidos. El 8 de diciembre fuertes caídas de nieve sorprendieron y paralizan la región parisina.

El paso del ciclón *Tasha* en el Este de Australia, entre noviembre de 2010 y enero de 2011, provocó inundaciones que cubrieron una región del tamaño de Alemania y Francia juntas. En México, en octubre de 2011, inundaciones en Tabasco dejaron 200 mil siniestrados. En marzo de 2010 el volcán *Eyjafjoll*, en Islandia, hizo erupción, produciendo una nube de cenizas que paralizó el tráfico aéreo en Europa a mitad de abril. En Estados Unidos, los tornados causaron daños por 4,700 M US \$. Y mientras que en algunas regiones del mundo había inundaciones, Rusia fue marcada por una intensa ola de calor o canícula, que causó inmensos incendios forestales. En agosto 2010, Moscú quedó sofocado en humo, habiendo producido 56 mil muertes por problemas respiratorios.

El 2012 se puede considerar año de catástrofes climáticas en Estados Unidos. En el Atlántico Norte se registraron 19 tormentas, 10 clasificadas como huracanes –la media del Siglo XX fue de 10 tormentas y 6 huracanes–. El huracán *Sandy* inundó parte de New York, con un nuevo récord de nivel del mar, 4.23 m por encima de la media. Los cortes de electricidad afectaron a 8 millones de habitantes. De acuerdo a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) la temperatura media del año 2012 fue de 1.78 °C, más alta que la media del siglo XX; 99.1 millones de personas pasaron 10 días, o más, a temperaturas superiores a 100°F (37.7 °C). El 11 de julio en Beaver Dam (Arizona), la temperatura récord fue de 49.4 °C (121 °F). La sequía en la región del Misisipi, arteria de la economía, fue la más extrema registrada desde 1895; como resultado se incendiaron 5.7 millones de hectáreas.

En el 2013 lo más devastador del año, sin duda, fue el tifón *Haiyan* que azotó Filipinas en el mes de noviembre, causando



7,300 muertes y la destrucción de ciudades enteras, como *Tlacoban*. El 2013 fue también el año de Inundaciones en Europa y México. En Europa los países más afectados por las inundaciones y el desbordamiento del río Danubio fueron: Checoslovaquia, Hungría, Alemania, Austria y Eslovaquia. En México, en el 2013, sucedió el Ciclón *Manuel* en el Pacífico y el Huracán *Ingrid* en el Golfo de México, provocando lluvias diluvianas en 26 de los 32 estados de la República. Se reportaron 150 muertes, 58,000 siniestrados, 120 mil de casas dañadas y entre 72 y 120 carreteras federales bloqueadas.

El 2014 fue año de inundaciones en la India. Además, se hizo evidente una de las consecuencias hasta entonces imprevisibles: el efecto invernadero ya no era el único problema. La contaminación atmosférica fue responsable de cerca de 2 millones de muertes prematuras, por año, en el mundo, debido a problemas respiratorios causados por partículas PM 2.5 y gases de combustión (Walther 2014; Garric, 2015). Las mayores proporciones de GEI y partículas finas a la atmósfera provienen del uso del carbón.

Esta advertencia aceleró el desarrollo de fuentes de energía limpia, particularmente en China, el país con la más alta tasa de emisión de GEI.

El año 2022 fue denominado el año de todos los récords. Las sequías afectaron Europa, la India, China, el Este de África y el Oeste de los Estados Unidos, con una temperatura récord de 53°C en el Valle de la Muerte en California. Europa fue afectada por la peor sequía de los últimos 500 años. Los episodios de olas de altas temperaturas –canículas– causaron la muerte del orden de 15 mil personas. Simultáneamente, las inundaciones afectaron en forma severa Pakistán, Australia, y África Austral.

Pakistán –un país pobre con 225.2 Mhab y 796 mil km<sup>2</sup> de territorio– sufrió la peor de las inundaciones, afectando a 32 millones de personas, y 9.8% de la superficie total del país –de las cuales dos terceras partes son tierras agrícolas–, 6 mil kilómetros de carreteras y 246 puentes destruidos.

El Secretario de la ONU, António Guterres, declaró el 27 de julio 2023, que “...ya pasó la *era del calentamiento global* y se entró a la *era de la ebullición...*” dando cuenta de la preocupación de que en muchas regiones del mundo la temperatura ambiente

haya sobrepasado los 50°C el mes de julio del 2023. El sentido del anuncio fue propiamente de resignación, porque de aquí en adelante se repetirán temperaturas de ese orden de magnitud en muchas regiones del mundo, y ahora, por lo que hay que luchar es por evitar que sigan aumentando. Así, la alerta sobre los cambios climáticos de la Cumbre de Rio de Janeiro en 1992, y luego las medidas promovidas por el protocolo de Kioto -que entró en vigor en 2005 y fue suscrito por 180 países- fueron un rotundo fracaso.

Así las cosas, es inevitable que las catástrofes climáticas continúen sucediendo. El 24 de octubre de 2023, el huracán Otis, Categoría 5, azotó las costas de Guerrero y en particular el puerto de Acapulco, dejando inundaciones, el corte de la energía eléctrica y de las comunicaciones afectando a más de medio millón de usuarios y, entre otros, los hospitales. Afortunadamente al tocar tierra se disipó en horas y se convirtió en Tormenta Tropical, pero aun así causó decenas de decesos, y estragos y pérdidas materiales enormes. Resultaron afectadas 38 líneas de alta tensión, más de 10 mil postes. Afortunadamente la capacidad de respuesta fue relativamente rápida, pero los costos de restauración fueron exorbitantes.

Desgraciadamente no será el último evento de este tipo en las costas del Pacífico en México y tal vez sea el aviso de lo que va a suceder con mayor frecuencia. Y como los cambios climáticos son irreversibles, lo único que queda es reforzar e implementar medidas de prevención, esperando que en próximos eventos sean eficaces.

El sólo recuento de las catástrofes naturales y su vinculación con los cambios climáticos es un gran tema a discernir. Dejemos ese recuento, por ahora.

La mayoría absoluta de los jefes de Estado o líderes políticos ignoran o se desentienden parcial o totalmente de los cambios climáticos, a pesar de que el número de eventos climáticos extremos ya se ha multiplicado por cinco en los últimos cincuenta años.

Muchas acciones a nivel mundial se conjugan pretendiendo contener los cambios climáticos. Sin embargo, a pesar de las 27 Conferencias de las Partes (COP) de la ONU, que han pretendi-

do alentar el Protocolo de Kioto, y de la infinidad de iniciativas y eventos, el problema de fondo es el mismo: sigue aumentando la concentración de GEI en la atmósfera (§ 7). Todo ello pone en entredicho la eficacia del conjunto de todas las iniciativas; o, mejor dicho, sigue alertándonos sobre el hecho de que si bien todas las iniciativas para preservar la Tierra son valiosas no son suficientes.

Si las tareas de limpieza en tierra firme son difíciles, en el mar y en la atmósfera, a gran escala, son prácticamente imposibles. Sin una tecnología –que hoy en día no existe– y sin consumir energía es imposible bajar a las profundidades del océano para eliminar la infinidad de contaminantes que se han acumulado. También es imposible eliminar los GEI dispersados en la atmósfera.

Rohde & Muller (2015), con razón justificada, advierten que “la contaminación atmosférica es la peor catástrofe ecológica del mundo”. La contaminación de los océanos y la atmósfera son los mayores desastres ecológicos ocurridos en la Tierra después de la extinción de los dinosaurios.

#### 4. El Niño

*El Niño* no es nada nuevo, de hecho, fue bautizado hace siglos por los evangelizadores españoles, para amedrentar y obligar a los habitantes de las costas de Ecuador y Perú a apegarse a la religión católica. El nombre hace referencia al *Niño Jesús*, en vista de que ocurre cerca de la Navidad. Cuando ocurre el Niño, el agua del mar es del orden de 8 °C más caliente que la temperatura normal de invierno. En estas condiciones, las especies marítimas que viven a unos cuantos metros de profundidad emigran hacia zonas más profundas del océano, donde el agua es fría. Consecuencia de la temperatura, el plancton, la base de la alimentación de las anchoas, se agota, rompiendo el ciclo alimentario y productivo; las anchoas han sido fuente providencial de alimentos, tanto para la población como para las gaviotas cuyo excremento han sido utilizado como fertilizante. Los evangelizadores explicaban que la escasez se debía a que el *Niño Jesús* estaba enojado con la población por su falta de fe, y con ello los incitaban a expiar sus culpas.

Hasta tiempos relativamente muy recientemente *el Niño* era considerado un fenómeno de carácter local. En los años 60's surgió apenas la idea de la existencia de una interacción entre el océano y la atmósfera. Y hasta 1975 Klaus Wyrski de la universidad de Hawaii propuso una explicación global o mundial al fenómeno *el Niño*. El nombre técnico del fenómeno es *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Posteriormente, entre 1985 y 1992, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) realizó la colosal instalación del sistema de observación en red TAO (Tropical Atmosphere Ocean), compuesto de 69 muelles flotantes distribuidos en el océano pacífico a lo largo del ecuador y enlazados vía satélite. Cada uno mide: presión, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento así como la temperatura del océano hasta 400 m de profundidad. Gracias al sistema TAO en noviembre de 1996 se detectaron los indicios de el Niño de 1997-1998 y a fines de mayo 2002, se tuvieron los primeros rasgos del primogénito del siglo XXI, *el Niño 2002*, mucho menos inquieto que su antecesor.

El "Niño" es un fenómeno océano-atmosférico que tiene su origen en el sobrecalentamiento de una vasta zona del océano Pacífico localizada a nivel del ecuador prácticamente en el centro del océano.

El sobrecalentamiento del océano no es exclusivo de *El Niño*, siempre ha existido y es producto de la radiación solar y el efecto invernadero natural; de hecho, es el motor principal de la circulación de la atmósfera que establece las estaciones del año. En épocas o años normales, el sobrecalentamiento se localiza en la vecindad con Nueva Guinea, al noreste de Australia y los *Vientos Alisios* soplan en forma regular a partir de las costas del continente americano hacia Indonesia.

Pero inexplicable e imprevisiblemente suelen sucederse anomalías: el sobrecalentamiento suele aparecer en el centro del océano y ser mucho mayor. Es entonces cuando se gesta *El Niño*. La enorme cantidad de agua caliente en el océano se desplaza hacia el continente americano a una velocidad que llega a ser del orden de 290 kilómetros por día. La interacción entre el océano caliente y la atmósfera produce una baja de presión atmosférica, que propicia la evaporación de enormes cantidades de agua y

una corriente ascendente de aire caliente, que va perdiendo humedad a medida que sube en altitud. La humedad se transforma en nubes que producen lluvias torrenciales en altamar. La corriente de aire desprovista de humedad sube hasta la estratosfera, se desplaza y desciende sobre los continentes completamente seca. Y son justamente las corrientes de aire seco la que induce la sequía sobre los continentes.

Las sequías favorecen el desencadenamiento de incendios y ambos causan pérdidas económicas y efectos ecológicos irreversibles. En Centro y sud América, las sequías producen una baja enorme en el suministro de materias primas como el café, el cacao, el caucho, la caña de azúcar, etc., sustento económico de varios países tropicales. Todo ello provoca alteraciones en los mercados internacionales, especulación, fluctuaciones en precios, desempleo temporal, etc.

El año 2022, las sequías afectaron Europa, la India, China, el Este de África y el Oeste de los Estados Unidos, con una temperatura récord de 53°C en el Valle de la Muerte en California. Europa fue afectada por la peor sequía de los últimos 500 años. Los episodios de olas de altas temperaturas –canículas– causaron la muerte del orden de 15 mil personas.

Aunque en los medios se dice que el Niño ocurre cada entre 3 y 7 años, su frecuencia y duración es incierta. Los niños más intensos han ocurrido en 1973, 1982, 1997, 2015, y 2023. El evento de 1982-1983 fue considerado como *el Niño del siglo XX*, sin embargo, fue superado en 1997-1998 por el más devastador de los *Niños* del siglo. Ese evento causó 22 mil muertes y pérdidas materiales evaluadas en 33 mil millones de dólares. En lo que va del siglo, los más devastadores ocurrieron en el 2006, 2015, y 2023. Y lo que es evidente es que cada vez son más severos.

Conforme el sobrecalentamiento del océano Pacífico se disipa, *el Niño* entra en una segunda fase a la que se le ha conocido como “*el Anti-Niño*”, “el Viejo” o más comúnmente como “*la Niña*”. El sobrecalentamiento en el océano es reemplazado por la concentración de una gran masa, esta vez, de agua fría, que, de nueva cuenta, se desplaza hacia el continente, ahora como una onda fría que otro tipo de perturbaciones.

*La Niña*, no siempre ocurre y no siempre tiene una alta intensidad. En 1988-1989 se registró una Niña intensa, en 1995-1996 fue débil, en 1998 y 2016 volvió a ser un evento intenso.

*La Niña* es responsable de las lluvias diluvianas y de las inundaciones en América del Sur y en Europa y de inviernos muy prolongados en Rusia y Europa del Este, que puede incluir nevadas en plena primavera, como en 1998. En el 2022, las lluvias torrenciales e inundaciones afectaron en forma severa Pakistán, Australia, y África Austral.

En México una manifestación de *la Niña* parece ser la brusca transformación, de un invierno frío en una primavera extremada e in-habitualmente calurosa, ésta de darse parece ser el preludeo de una época de sequía, como la del verano del 2023, en el que se registraron temperaturas fuera de lo común en diversos puntos del país y la sequía causó estragos enormes en el ecosistema y en la agricultura, con pérdidas del orden del 60% en las cosechas de frijol.

Podría decirse que ni *el Niño* ni *la Niña* permiten revelar todos sus secretos. Falta mucho por saber y sobre todo por hacer. En el terreno científico, aunque se tienen ciertos índices, falta precisar el origen del sobrecalentamiento en el océano Pacífico y falta definir o dar un peso adecuado a los parámetros que deben diferenciar un evento de otro.

En virtud de que el Niño y la Niña causan catástrofes que afectan severamente los ciclos de producción y representa enormes pérdidas económicas, sería deseable tener mayor capacidad y precisión en la predicción de eventos a futuro. Pero aún no hay modelos climatológicos capaces de prever cada evento.

El Niño más monitoreado del siglo, fue el de 1997-1998. Sin embargo, todo parece indicar que será necesario el monitoreo y el estudio de varios eventos más, para llegar a desarrollar un modelo que permita simular futuros eventos. La complejidad radica en que dos eventos no parecen tener muchas cosas en común. Muchas de sus manifestaciones pareciera que tienen un carácter aleatorio. Esto pone en evidencia el limitado conocimiento que aún se tiene sobre nuestro planeta.

No se pueden predecir la ocurrencia ni la duración de cada evento, pero lo que sí se sabe es que las consecuencias asociadas son cada vez más severas. Suelen ser precedidos por episodios

de sequía muy intensos e incendios forestales. A los episodios de sequías e incendios le sigue inviernos muy prolongados y crudos, como el experimentado también en el 2023 en todo el hemisferio Norte, porque se facilita la llegada de aire seco y frío desde el Norte.

#### 4.1 Calentamiento Global

Una de las evidencias inequívocas del *calentamiento global* es el hecho de que la temperatura anual promedio de la Tierra aumenta año con año. Pero no necesariamente el calentamiento implica una elevación de la temperatura ambiente. Como los océanos y mares ocupan  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie del planeta la mayor parte del sobrecalentamiento se absorbe en los océanos y eso puede causar la elevación de la temperatura del agua de mar hasta una profundidad de 400 m. Tal elevación provoca que se evapore una mucho mayor masa del agua de mar que la que de ordinario se produce. Como consecuencia las dimensiones de las nubes son cada vez mayor, hasta de miles de kilómetros de diámetros, y ellas evitan que buena parte de la radiación del Sol llegue a la superficie de la Tierra. Eso hace que se enfríe una parte de la superficie de Tierra y se produzcan perturbaciones atmosféricas. El enfriamiento induce modificaciones en la circulación de la atmósfera y todo ello produce perturbaciones en la temperatura presión, humedad de la atmósfera y velocidad de los vientos imprevisibles e intempestivos. Los océanos y los mares, dada las propiedades del agua y en particular de su capacidad calorífica, pueden almacenar y disipar enormes cantidades de energía, evitando que el calentamiento global se exprese como un simple aumento de temperatura ambiente.

El origen de los cambios climáticos radica en la retención de energía por los gases de efecto invernadero (GEI). A medida que aumenta la concentración de GEI, la atmosfera retiene más calor, el cual se disipa causando enormes perturbaciones climáticas. En síntesis, es la sobre-acumulación de gases de efecto invernadero, la responsable de la severidad y frecuencia de eventos climáticos, que medio siglo atrás, tenía cierta regularidad y otra intensidad (Wilcox, 2023).

En síntesis, los fenómenos *El Niño* son más severos como una consecuencia del calentamiento global, justamente porque producen la evaporación de mayores cantidades de agua de los océanos.

Pero, así las cosas, el calentamiento global no debe ser entendido simplemente como una elevación de la temperatura ambiente, sino como sobre-acumulación de calor entre los océanos, la superficie terrestres y atmósfera.

Que hay responsabilidad de las actividades de la humanidad en el recrudecimiento de los fenómenos *el Niño*, ¡por supuesto que la hay! (Leroyer, 2023)

## 5. Las Conferencias de Partes (COP's) de la Organización de las Naciones Unidas

Joseph Stiglitz, Premio Nobel de Economía 2001, dijo “Después de años nos contentamos con desplazar los sillones sobre el puente del Titanic”. Esta frase Stiglitz la acuñó con relación a la economía mundial, pero bien puede adaptarse a las Conferencias de Partes de la ONU.

La Alerta sobre Cambios Climáticos emergió a principio de los años 70 como resultado de la inquietud de intelectuales, críticos y científicos en diversas partes del mundo (§ 17). La preocupación llamó la atención a nivel de la ONU en los 80 y en 1988 *The World Meteorological Organization* (WMO) y *The United Nations Environment Program* (UNEP) fundaron el *Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático* (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*) (IPCC). En 1990 se elaboró el Primer Reporte del IPCC, documento base de la cumbre de Río de Janeiro. En junio 1992 se llevó a cabo la *Cumbre de la Tierra y del Cambio Climático* en Río de Janeiro, donde se acordó preparar el Protocolo de Kioto.

El 11 de diciembre de 1997 se celebró en Kioto, Japón, la cumbre en la que 141 países se comprometieron a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases que producen efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron reducir en un 5% las emisiones de GEI invernadero entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. Sólo los países desarrolla-



dos estaban obligados a reducir las emisiones; China, la India y Brasil fueron dispensados considerándolos como países emergentes. La Unión Europea y sus 15 estados miembros firmaron el protocolo de Kioto el 31 de mayo 2002. Japón se adhirió el 4 de junio 2002, Rusia el 18 de noviembre 2004.

El 16 de febrero del 2005 entró en Vigor del Protocolo de Kioto. En el momento de la firma las emisiones ya eran 104.4% de las emisiones de 1990; o sea que el propio Protocolo de Kioto inició en el fracaso. Australia se adhirió el 3 diciembre 2007; Estados Unidos al final del mandato de Bush.

Una de las COP's en la que se fincaron grandes esperanzas fue la COP 15 de Copenhague 2009. Además de las delegaciones de más de 180 países, miles de militantes de organizaciones ambientalistas de todo el mundo, se dieron cita en el exterior de la convención para comprometer al mundo a salvar el planeta. Se esperaba que Obama liderara a los jefes de Estado para impulsar el protocolo de Kioto. Obama, quien fue galardonado con el Premio Nobel de la Paz, había prometido 80 mil millones de dólares para la constitución de un Fondo de Financiamiento contra los cambios climáticos, como parte de su plan de acción contra éstos. Sin embargo, llegó a la COP de Copenhague tan sólo con un discurso y con las manos vacías.

Para colmo, surgió en la COP 15 la controversia Norte-Sur. Los países subdesarrollados acusaron a los países industrializados como los responsables de los cambios climáticos y reclamaron ayuda financiera para el desarrollo de sus países. Los países industrializados no aceptaron las acusaciones, mucho menos las presiones. ¿Y en que quedó la COP?, en nada, en posponer las discusiones para COP's posteriores.

Después de Copenhague pasaron desapercibidas: la COP 16 de Cancún 2010, la COP 17 de Durban 2011, la COP 18 de Qatar 2012, la COP 19 de Varsovia 2013, y la COP 20 de Lima, 2014. Luego, en la COP 21 de París 2015, se volvieron a fincar nuevas expectativas. La cordura y las coincidencias parecían imperar y, al final, se anunció con bombo y platillo, el compromiso unánime de evitar una elevación de la temperatura de la Tierra de 1.5°C al final del siglo. Pero no se especificó, dónde, cuándo y cómo se iba a cumplir dicho compromiso.

Luego vino la COP 22 de Marrakech que nuevamente pasó desapercibida. Después la COP 23 de Bonn que buscaba aumentar en forma rápida y conjunta las ambiciones para cumplir el acuerdo de París, o sea nada. Luego vino la COP 24 de Katowice, en donde se dijo que se sellarían las bases para cumplir el acuerdo de París. Luego vendría la COP 25 que estaba programada para Santiago de Chile, y debido a los conflictos internos se traspasó a Madrid, pero no se realizó por la Pandemia. En ésta los Estados debían cerrar *el libro de reglas del Acuerdo de París* para sentar bases claras del qué y cómo harían para cumplir el compromiso de no superar 1.5°C el aumento de temperatura promedio del planeta.

Se llegó a Glasgow en las mismas circunstancias que a París. La COP 26 de Glasgow nuevamente fincó grandes expectativas. Alrededor de 30 mil personas inscritas participaron en los eventos, 197 países enviaron delegaciones. El Presidente de Estados Unidos, Joe Biden, presentaría la nueva cara de su país en materia ambiental, después de que Donald Trump lo había sacado del acuerdo de París el 25 de mayo del 2016, y también lo sacó de la ONU en el 2020 ante el recrudecimiento de la pandemia. Pero, la COP 26 de Glasgow no alcanzó la dimensión de un evento de dimensión mundial, puesto que los presidentes de China, Xi Jinping, y de Rusia, Vladimir Putin, no asistieron, igual que no asistió Bolsonaro, de Brasil, éste por ser escéptico-climático.

En realidad, siempre ha habido altibajos en los compromisos de los países. Los compromisos son declaraciones que se deshacen muy fácilmente. En el 2012 Canadá salió del Protocolo para evitar pagar la multa por las emisiones que estaba liberando. Poco después, en Australia, el gobierno liberal de Malcolm Turnbull decidió suprimir el financiamiento en investigación para todo lo relacionado a cambio climático.

La Unión Europea, Rusia, Noruega y Suiza desplazaron su propuesta de reducción de 40% de sus emisiones respecto a 1990, hasta el año 2030. Y hasta el 2022 sólo habían reducido 1.1% por año. A este ritmo, para 2030, sólo alcanzarían una reducción adicional del 15%. Estados Unidos sólo redujo en 0.5% sus emisiones en 10 años y Canadá las aumentó en 0.8%.

China, Rusia y la UE anunciaron entre sus mecanismos de reducción la acción de los bosques, que no son ninguna nueva contribución, puesto que los bosques han actuado en forma permanente y evidentemente no han podido reducir la concentración de GEI en la atmósfera. Suiza fijó un objetivo de 50% de reducción de sus emisiones, pero, además de incluir la acción de los bosques, pretendía recurrir al mercado del carbón comprando un 20% de esas emisiones. Pero eso no es reducir porque el mercado de carbón sólo implica pagar por el derecho a liberar emisiones.

Todo esto indica que los acuerdos internacionales están plagados de palabrería, falsas promesas y están a merced de los vaivenes políticos.

En la COP 26 de Glasgow no se abordó nada nuevo. En el volumen 3 del reporte del IPCC del 2007 se establecía entre las prioridades, “disminuir las subvenciones a las energías fósiles, impulsar las energías renovables, impulsar la energía nuclear, captar y almacenar el CO<sub>2</sub>, reducir la contaminación del transporte, promover construcciones ecológicas, reducir las emisiones de la industria, modificar las prácticas agrícolas y reducir la deforestación”. Todos estos puntos ya habían sido propuestos y aprobados desde la COP de Copenhague. En la COP 26 simplemente se sacaron a relucir esas mismas iniciativas, como nuevas, y se alardearon como parte de éxito del evento.

Como resultado de la COP 26 de Glasgow, en cuanto a los límites ecológicos, se intentó avivar la idea de que todavía existía la posibilidad de evitar el 1.5°C de elevación de temperatura del Planeta al final del siglo. Pero esto sólo sería posible a condición de lograr la *neutralidad carbono*. Para ello, prácticamente habría que renunciar a utilizar las fuentes fósiles de energía. Obvio, tecnológicamente no hay ninguna posibilidad de renunciar a la utilización de todo tipo de combustibles. Sólo hay que recordar que el transporte es mayoritariamente de combustión. Y aún si todos los autos fueran eléctricos no habría como producir la electricidad sin recurrir a las fuentes fósiles.

Como se evidenció, evitar el 1.5°C de elevación es completamente irreal, se conminó entonces a los países a dejar de utilizar el carbón. Cuando parecía que todo mundo estaba de acuerdo en

dejar de usar el carbón, la India, se sinceró diciendo que ellos no pueden dejar de utilizarlo y China y África del Sur estaban en iguales circunstancias. Otros países, aunque no lo dijeron, tienen las mismas circunstancias, no pueden dejar de explotarlo, porque es una fuente de energía y a su vez una fuente de ingresos, tal es el caso de Polonia, Indonesia y Australia. El acuerdo se flexibilizó y quedó entonces, tan sólo, en que todos esos países aceptaran la *intención* de reducir el uso del carbón.

En cuanto a la deforestación 100 países se comprometieron a detenerla. En cuanto al petróleo 12 países se comprometieron a no hacer más exploraciones. Pero es obvio que el mercado no va a parar, los países petroleros seguirán surtiendo petróleo a los países industrializados y los países industrializados van a utilizarlo.

Y así, el acuerdo de Glasgow fue un evento político, turístico, ecológico que produjo más emisiones de CO<sub>2</sub> que las que iba a reducir. La huella de CO<sub>2</sub> –por haber desplazado hasta Glasgow 30 mil personas, más 400 aviones ejecutivos–, fue superior de 200 mil toneladas de CO<sub>2</sub>.

La aportación de Glasgow se redujo a la promesa de destinar recursos financieros a las naciones tercermundistas –devastadas por las sequías y las inundaciones, resultado de los cambios climáticos– si es que las promesas de aportaciones financieras se hicieron efectivas. Ese hubiera sido un beneficio muy merecido para esos países, pero ese no es un beneficio para el planeta.

Y dada la polarización mundial, consecuencia de la guerra en Ucrania, la COP de Egipto en Charm, El Cheikh, sin duda, fue tal vez la más intrascendente de todas. Para comenzar China y Rusia, dos de los cuatro países con mayor deuda ecológica (§ 7), no estuvieron presentes. Y la India, tercer consumidor mundial, ya había fijado su posición en la COP de Glasgow: no puede prescindir del carbón.

Entre el 30 de noviembre y el 12 de diciembre 2023, se llevó a cabo la Conferencia de Partes 28 de la ONU, la COP 28 de Dubái, que pretendía, ahora sí, concretar los acuerdos de París del 2015. Al final, después de muchas controversias, la nota la dio el discurso del Sultan Al Jaber, presidente de la COP, quien llamó al mundo a *abandonar los combustibles fósiles* con el objetivo de

alcanzar la neutralidad de carbono en 2050. Obviamente los medios calificaron esa declaración como una “iniciativa histórica”.

Sólo había sido señalado la “reducción” del carbón y eso hasta la COP26 de Glasgow. El petróleo y el gas nunca habían sido mencionados.

Lo singular es, que esta intención de reducir el consumo de petróleo y del gas en el mundo, se hiciera en Dubái, uno de los siete Emiratos que componen los Emiratos Árabes Unidos; el séptimo país productor de petróleo, que produce el 4.1% del petróleo del mundo y el 1.4 % del gas natural. Ciertamente, gracias a la riqueza petrolera Dubái puede darse el lujo de revestirse de verde, pero sin duda detrás de esa imagen hay ante todo un gran interés turístico. En 2001, en Dubái fue inaugurado el majestuoso Jardín Milagro (Miracle Garden: <https://miraclegarden.ae/>), un paraíso de 7.2 hectáreas con más de 45 millones de flores regadas a través de un sistema de agua por goteo, diseñado como una atracción turística y una nueva experiencia visual.

Pero sus números no son nada ecológicos que digamos. Teniendo una población de 9.4 millones de habitantes consume 8 veces más energía que el promedio mundial. En el 2022 su huella de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pasó de 15 a 21.8 toneladas por año por habitante - la quinta huella de CO<sub>2</sub> más grande del mundo, equivalente a más del cuádruple que la media mundial, 4.9 t/a/h. Y eso que las cifras mundiales no son nada benévolas.

Las novedades son que a la COP 28 asistieron 2500 representantes de los grandes lobbies del petróleo, del carbón, del gas natural y de la energía; anteriormente solo había acudido del orden de 600. Pero no hicieron eco alguno del discurso del Sultan Al Jaber. Este, y nadie más, se comprometió a aportar 15 mil millones de dólares para modernizar los procesos de extracción y transporte de petróleo y gas y vender al mundo combustibles fósiles más limpios.

Por otro lado, no se concretó nada sobre el acuerdo de la COP 26 de Glasgow de indemnizar a los países víctimas de desastres producidos por los cambios climáticos. Se estima que para ello se requieren del orden de 100 mil millones de dólares, y solo se evidenció la posibilidad de reunir mil millones de dólares. Así que las COP's son, ante todo, eventos políticos, que

no logran regir el comportamiento mundial ante los cambios climáticos.

Sí, hay grandes acciones para intentar frenar los cambios climáticos –hay un incremento espectacular del uso de energías renovables, autos más eficientes, uso de led en iluminación, programas de reforestación...–, pero los resultados de los esfuerzos mundiales parecen imperceptibles. Conclusión obligada, lo que se hace es insuficiente.

¿Se puede conciliar crecimiento económico y combate a los cambios climáticos? Las Conferencias de Partes de la ONU (COP's) sostienen que sí, pero en realidad no hay modelo alguno que lo demuestre.

¿Cuál es el verdadero fondo del problema? La economía de Mercado. Que tiene dos actores indomables, uno, las grandes industrias capaces de inundar de mercancías al mundo y que no está dispuesta a dejar de hacerlo y, otro, los consumidores con la insaciable capacidad de comprar y comprar, que jamás han reflexionado en la necesidad de detener el consumismo.

La única energía verdaderamente limpia es la que no se consume. Pero la sociedad actual no aprende ni se le enseña que tenemos que consumir menos, mucho menos, tal vez sólo lo indispensable.

## 6. Consumo mundial de energía primaria

En la *Figura 4* se presenta la tendencia mundial del consumo de energía primaria entre los años 2000 y 2022. En el 2021 el consumo mundial de energía ascendió a 597.4 Exajoule (EJ)<sup>1</sup>. En el 2022 ascendió a 604.4 EJ con un incremento de 1.1% respecto al 2021, el primer aumento moderado del siglo.

---

1. Exa-Joules (EJ) son unas unidades de energía de orden macro-energéticos que permiten hacer comparaciones planetarias (1 EJ es igual a  $1 \times 10^{18} J$ ).

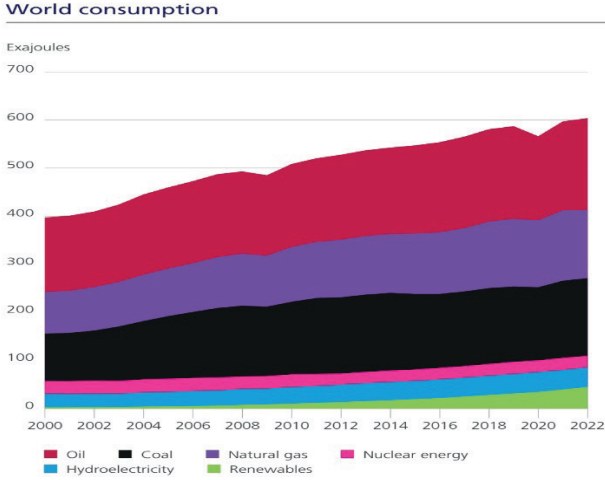


Figura 4. Tendencias en el consumo mundial de energía primaria entre los años 2000 y 2022. Fuente: B. P. Statistical Review of World Energy, 2023.

El consumo de petróleo (en morado) fue de 190.69 EJ (31.56%), el del carbón (en violeta) de 161.47 (26.72%), el de gas natural (en azul marino) de 141.89 EJ (23.49%), la energía nuclear (en rosa) de 24.13 EJ (3.99%), la hidroelectricidad (en azul) de 40.68 EJ (6.73%) y las energías renovables (en verde) de 45.18 EJ (7.48%).

Entre las energías renovables: 22.59 EJ (50%) correspondieron a la energía eólica, 14.23 EJ (31.5%) a la energía solar, y el restante, 8.36 EJ (18.5%), a los biocombustibles –biomasa, geotermia y otros no especificados–. En particular, biocombustibles y biomasa no son energías limpias, porque, como su nombre lo indica, son combustibles, por tanto producen CO<sub>2</sub> al quemarlos. Éstos representan el 1.35% del consumo mundial. Así que las energías realmente renovables, eólica y solar, solo aportan el 6.1% de la energía que se consume a nivel mundial.

Se observa un crecimiento continuo en el consumo total de energía, con excepción de los años 2009 –resultado de la crisis financiera que tuvo como epicentro los Estados Unidos– y 2020 –consecuencia del confinamiento mundial por la pandemia–. En ambos casos, se observa una inmediata recuperación de las tendencias.

El área de cada franja representa la aportación de cada una de las fuentes de energía desde el 2000 hasta el 2022. La única franja que no se ha ensanchado es la que corresponde a la energía nuclear. Todas las fuentes han aumentado su contribución, pero las que más han aumentado son el carbón y el gas natural.

Los combustibles –petróleo, carbón, gas natural, biocombustibles y biomasa– abastecen el **83.15%** de la energía que se consume en el mundo. Las *energías limpias* o libres de CO<sub>2</sub> –hidráulica, nuclear, eólica y solar–, juntas, representan tan sólo el **16.85%**. De hecho, no hay energías 100% limpias, porque para construir las plantas, o los generadores, debe haberse consumido una gran cantidad de energía (Figura 5).

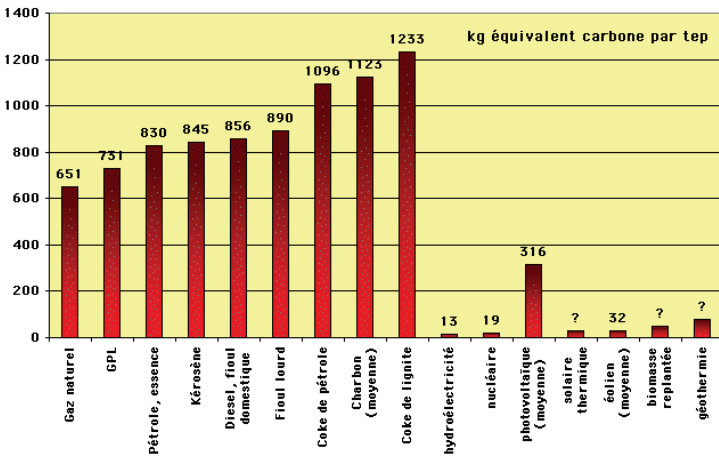


Figura 5. Emisiones, en términos de kg carbono por tonelada equivalente de petróleo, liberados por las diferentes fuentes de energía.

Fuente: Jean-Marc, Jancovici. *Existe-t-il des énergies sans CO<sub>2</sub>* [En línea, 2022].

El carbón es la fuente de energía más abundante en el mundo. Al ritmo de consumo actual las reservas probadas durarán 139 años, mientras que las reservas de petróleo 53.5 años y las de gas natural 48.8 años.

La tasa de crecimiento de la población es de 1.16% mientras que la tasa de crecimiento del consumo de energía es de 1.5%. Esto implica que mientras que la población mundial se duplica en 61 años, el consumo de energía lo hace en 46 años. Esto de-



muestra que no es únicamente el crecimiento de la población lo que induce el crecimiento en el consumo de energía. El motor principal es la economía de mercado.

El consumo total de energía de México en el 2022 ascendió a 8.73 EJ –1.4% del consumo mundial– fue el consumidor número 13, a la par que Francia. El 47.2% correspondió del consumo a petróleo (4.12 EJ), el 39.9% a gas natural (3.38 EJ), el 2.8% a carbón (0.25 EJ), el 1.1% a energía nuclear (0.1 EJ), el 3.9% a hidroelectricidad (0.34 EJ) y el 5.1% a energías renovables (0.45 EJ). De este 5.1%, el 44% corresponde a energía eólica, el 41.8% a energía solar y el 6.6% a otras, entre las cuales se encuentra la energía geotérmica.

## 7. Huella de carbono en términos del CO<sub>2</sub>

En el 2022 se liberaron a la atmósfera 39,315.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Estas emisiones son la suma de las emisiones de dióxido de carbono de la energía, las emisiones de dióxido de carbono de la quema de gas natural, las emisiones de metano en equivalente a dióxido de carbono, las asociadas con la producción, el transporte y la distribución de combustibles fósiles y las emisiones de dióxido de carbono de los procesos industriales.

Una enorme cifra, difícil de asimilar. El conjunto de todas las emisiones tuvo un incremento moderado de 0.8% respecto al 2021. El primer aumento moderado del siglo. *El 43.4% del CO<sub>2</sub> provino del carbón, el 35.3% del petróleo y el 21.4% del gas natural.*

Si se divide esa cantidad (39 315.5 Mt de CO<sub>2</sub>) entre la población mundial –8,000 Mhab–, ello implica responsabilizar a cada persona, incluidos los bebés, de la emisión de 4.9 toneladas de CO<sub>2</sub> por año por habitante –a esto se le llama *huella de carbono o huella ecológica*–. Y dado que los cambios climáticos se acentúan, es obvio pensar que ese promedio es muy elevado.

En la *Tabla 1* se presenta: el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> de los principales consumidores de energía del mundo en el 2022, el tamaño de la población, su correspondiente huella de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía. La huella de CO<sub>2</sub> se obtiene dividiendo las emisiones de cada país entre el número de habitantes.

Se puede observar que no todos los países son igualmente responsables del consumo de energía, ni de las emisiones ni del deterioro de planeta. Ni el consumo de energía, ni las emisiones de CO<sub>2</sub>, son proporcionales al tamaño de la población de cada país. Esto mismo se puede extrapolar a los habitantes de cada país. No todos son responsables en la misma proporción.

China, Estados Unidos y la India, juntos con el 39.5% de la población mundial, consumen el 51% de la energía y producen 51% de las emisiones. Los 16 países de la *Tabla 1*, incluido México con el 57% de la población mundial, consumen el 75.7% de la energía y producen el 77% de las emisiones.

<b>Tabla 1. Emisiones de CO<sub>2</sub>, Población, Huella de CO<sub>2</sub> y Consumo de Energía en el 2022</b>						
	Emisiones		Población		Huella CO <sub>2</sub>	Energía
	Mt	%	M hab	%	T/hab	%
China	1,1876	30.2	1,440	18.0	8.2	26.4
Estados Unidos	5,297.7	13.5	332	4.2	16.0	15.9
La India	2,865.2	7.3	1,390	17.4	2.1	6
Rusia	2,024	5.1	146	1.8	13.9	4.8
Japón	1,093.7	2.8	126	1.6	8.7	3
Irán	1,093.7	2.8	85	1.1	12.9	2
Indonesia	839.6	2.1	276.3	3.5	3.0	1.6
Arabia Saudita	724	1.8	35.3	0.4	20.5	1.9
Alemania	652.4	1.7	83.8	1.0	7.8	2
Corea del Sur	618.2	1.6	51.3	0.6	12.1	2.1
Canadá	591.4	1.5	38	0.5	15.6	2.3
México	577.5	1.5	130	1.6	4.4	1.1
Brasil	506	1.3	214	2.7	2.4	2.2
Sudáfrica	456.2	1.2	60	0.8	7.6	0.8
Turquía	453.2	1.2	85	1.1	5.3	1.2
Australia	437	1.1	25.7	0.3	17.0	1
Francia	277.9	0.7	65.1	0.8	4.3	1.4

China, con el 18.0% de la población mundial (1,440 Mhab), consumió el 26.4% de la energía del mundo y produjo el 30.2% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Estados Unidos, con el 4.2% de la población Mundial (332 Mhab), consumió el 15.9% de la energía y produjo 13.5% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Como contraejemplo, puede observarse, que la India, con el 17.4% de la población mundial, consumió el 6% de la energía y produjo el 7.3% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Una forma de ponderar la responsabilidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> es comparar la huella de CO<sub>2</sub> de cada país. En el 2022, China registró una huella de CO<sub>2</sub> de 8.2 t/a, Estados Unidos de

16.0 t/a. Rusia, con el 1.8% de la población mundial y una huella de CO<sub>2</sub> de 13.9 t/a, emitió el 5.1% de las emisiones. Japón, con el 1.6% de la población mundial y una huella de CO<sub>2</sub> de 8.7 t/a, emitió el 2.8%.

En la *Tabla 1* sólo aparecen 17 países, pero puede corroborarse que los países más poblados del mundo y el Tercer Mundo tienen huellas de CO<sub>2</sub> muy inferiores con respecto a los países industrializados. Lo que permite enfatizar que no todos los países son igualmente responsables de las emisiones y el deterioro de planeta.

En el 2022, la India, con el 17.4% de la población mundial (1390 Mhab), emitió el 7.3% del CO<sub>2</sub> y tenía una huella de carbono de **2.1 t/a** (menos de la mitad que el promedio mundial). México, con el 1.6% de la población mundial (130 Mhab), emitió el 1.5% de las emisiones mundiales (**4.4 t/a**). Brasil, con el 2.7% de la población mundial (214 Mhab), emitió el 1.3% de las emisiones mundiales y tenía una huella de carbono de **2.4 t/a** por habitante.

Hay casos particulares como el de Argentina que, con el 0.6% de la población mundial, emitió el 0.6% de las emisiones mundiales y tuvo una huella de carbón de (**4.8 t/a**) valor cercano cerca del promedio mundial.

En la *Tabla 2* se presentan los países con mayor huella de carbono en el 2021. Puede observarse una enorme disparidad respecto a las poblaciones más grandes del mundo (*Tabla 1*). La característica principal es que los países con mayor huella de carbón, en su mayoría, son países petroleros con una población reducida. Se intercalan Australia, Estados Unidos, Canadá y Japón, países industrializados con economías diversificadas; mención especial merece Luxemburgo, cuya actividad industrial preponderante es la producción de aceros especiales, con tan sólo 630 mil habitantes tiene una huella de CO<sub>2</sub> de 13 t/a. Entre los países europeos, sorprenden en la lista: Islandia y República Checa; mientras que Noruega se explica porque es país petrolero y Polonia porque es productor de carbón; sorprende también Alemania, de imagen ecologista, con 7,5 t/a. El resto de la “ecologista” Europa Occidental emitió más de 5 t/a de CO<sub>2</sub>, un valor del mismo orden que la media mundial (4.9 t/a).

Los países petroleros e industrializados –que representan tan sólo la quinta parte de la población mundial– emitieron más de la mitad de las emisiones mundiales, y sus huellas de carbono llegaron a ser hasta 8 veces superiores al promedio mundial. Sin duda estos países son los principales responsables de la acumulación de GEI en la atmósfera, son los que tienen una mayor deuda ecológica y es a ellos a quienes se debe exigir mayor reducción en sus emisiones. Pero el problema de fondo es el hecho de que la demanda mundial de petróleo, carbón y gas natural siguen creciendo, y la culpa es del mercado. Si un país productor de petróleo, de gas o de carbón, se le margina o sale parcialmente del mercado –como ha sido Venezuela tras los bloqueos, o Rusia con la guerra en Ucrania– habrá otros productores que abastezcan el mercado. Las emisiones de las fuentes fósiles de energía se deben a la demanda mundial, en tal caso la deuda es de los países consumidores.

Desde la COP 15 de Copenhague (2009) se estableció que, para evitar que el aumento en la temperatura de la Tierra a fines del siglo llegue a ser superior a 1.5°C, es necesario limitar la huella de carbono a **2 t/a**. Si éste fuera un objetivo, la India con 2.1 t/a y el tercer mundo estarían plenamente dispensado. El reto de los países, llamados en desarrollo –como México, Brasil e Indonesia–, pareciera fácilmente alcanzable si se aplica una política coherente. Así las cosas, la responsabilidad y las exigencias de reducción de las emisiones le corresponden casi en forma exclusiva a las primeras potencias mundiales o al llamado primer mundo.

En el 2021 la huella de carbono aumentó prácticamente en todo el mundo, como resultado del relance de la economía mundial tras la pandemia. Qatar pasó de 32 a 35.6 t/a/hab.; Kuwait de 21 a 25 t/a/hab.; Bahréin de 21 a 26.7 t/a/hab.; Arabia Saudita de 18 a 18.7 t/a/hab.; Emiratos Árabes de 15 a 21.8 t/a/hab.; Australia de 14.4 a 15.1 t/a/hab.; Estados Unidos de 14.2 a 14.9 t/a/hab.; Canadá de 13.9 a 14.3 t/a/hab.; Rusia de 10.8 a 12.1 t/a/hab.; Alemania de 7.5 a 8.1 t/a/hab.; China pasó de 7.4 a 8 t/a/hab.; Turquía de 4.7 a 6.3 t/a/hab., e incluso México pasó de 2.8 a 3.2 t/a/hab.

China, entre 2020 y 2021, incrementó sus emisiones de CO<sub>2</sub> en un 7.6%, Estados Unidos en un 6.1%, la India en un 10.8%, Rusia en un 11.3%, Alemania en 4.7%, Canadá un 1.8%, Turquía en 13.6%, Reino Unido en 5.2%, Italia en 8.2%, Francia en 10.6%, España en 11.8%, Brasil en 3.3% y, paradójicamente, México incrementó sus emisiones en 14% y entre el 2021 y 2022 las incrementó un 10.2% adicional.

<b>Tabla 2. Países con mayor huella de en el 2021</b>								
#	País	Huella de CO <sub>2</sub> (t/a/h)	#	País	Huella de CO <sub>2</sub> (t/a/h)	#	País	Huella de CO <sub>2</sub> (t/a/h)
1	Qatar	35.6	10	Mongolia	15	19	Rusia	10.8
2	Bahréin	26.7	11	Estados Unidos	14.9	20	República Checa	9.2
3	Kuwait	25	12	Kazajstán	14.4	21	Islandia	9.1
4	Trinidad y Tobago	23.7	13	Canadá	14.3	22	Japón	8.6
5	Brunei	23.5	14	Luxemburgo	13.1	23	Polonia	8.6
6	Emiratos Árabes	21.8	15	Rusia	12.1	24	Irán	8.5
7	Arabia Saudita	18.7	16	Taiwán	11.9	25	Holanda	8.1
8	Omán	17	17	Corea del Sur	11.9	26	Alemania	8.1
9	Australia	15.1	18	Libia	11.9	27	Noruega	7.6
Fuente: Le Bilan du Monde, Le Monde (2023).								

En el 2022 hubo un aumento moderado de 0.8% las emisiones, que ascendió a 299.6 Mt. Como consecuencia de la guerra en Ucrania hubo disminución de las emisiones en los países en conflicto y la zona europea implicada en la guerra. En Rusia las emisiones disminuyeron 151.2 Mt (6.9%) y en Ucrania se redujeron en 60 Mt (el 33.7%).

Seguramente, consecuencia de la guerra y resultado también de las políticas de sobriedad energética y ayudados por un invierno templado, en Europa Occidental las emisiones tuvieron

una disminución significativa de 89.9 Mt (2.2%) en conjunto. Alemania, tuvo una reducción apenas de 8.5 Mt, Francia en 5 Mt. Sin embargo, en España hubo un aumento en 16.9 Mt y Reino Unido de 2.4 Mt.

En contraparte aumentaron las emisiones en los países petroleros de Medio Oriente en 124 Mt (4.6%) –Arabia Saudita aumentó sus emisiones 7.1%, Emiratos Árabes 6.5%, Kuwait 6.6% e Irak en 8%–. También aumentaron las emisiones en Indonesia en 182.3 Mt, en la India en 164.7 Mt, en Estados Unidos 87.4 Mt y Canadá 53.5 Mt.

Alemania, que se abastecía del gas natural ruso para la producción de electricidad, tuvo que reabrir sus plantas de carbón, que son mucho más contaminantes que las del gas, para abastecer la demanda de electricidad. Ante las sanciones aplicadas a Rusia, el gas natural tuvo que llevarse desde Estados Unidos, Qatar y Canadá a Europa, lo que implica más gasto energético, puesto que, en ausencia de gasoductos, el gas tiene que licuarse para poder transportarse; el proceso de licuefacción más el transporte implican necesariamente mayor consumo de energía.

Esto indica que los compromisos y las pretensiones por reducir las emisiones de GEI descendieron en orden de prioridad en las agendas políticas internacionales o están a merced de los vaivenes geopolíticos.

## 8. Precisiones importantes sobre los Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los GEI son todo tipo de moléculas poliatómicas (de más de dos átomos), que existen en la atmósfera, tienen la propiedad de atrapar una fracción de la radiación infrarroja (IR) que la Tierra debería emitir hacia el espacio (Butler, 2020), los GEI más importantes son: bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los clorofluorocarbonos (CFC). Su capacidad para atrapar la radiación infrarroja está tipificada por un factor llamado Potencial de Re-calentamiento global (del inglés *Global Warming Potential* GWP). El  $\text{CO}_2$  tiene el GWP más bajo (GWP = 1) pero es el más abundante, por lo que es el que más contribuye al calentamiento global; le sigue en abundancia el metano

(CH<sub>4</sub>), con un GWP = 25, lo que significa que cada molécula tiene un poder de calentamiento equivalente a 25 moléculas de CO<sub>2</sub>. Le sigue el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), cuyo GWP = 298; los clorofluorocarbonos, las moléculas poliatómicas más gigantes que se encuentran en la atmósfera, tienen un GWP entre 1800 y 22000 (Hofmann, 2006).

La *Figura 6*, publicada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2022), muestra las tendencias de la acumulación en la atmósfera de los principales GEI, durante los últimos cuarenta años. Se puede observar que el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> tienen variaciones estacionarias, pero, a diferencia, el N<sub>2</sub>O, aunque presenta variaciones, no tiene un carácter estacionario.

El N<sub>2</sub>O presenta una tasa de crecimiento es de 0.777 ppb por año, lo que implica una acumulación de 4.11 millones de toneladas (Mt) de N<sub>2</sub>O por año.

Se puede verificar que el N<sub>2</sub>O, con una concentración actual de 335 ppb y un GWP = 298, equivale a 99.8 ppm de CO<sub>2</sub>. Tal concentración representa el **24%** de la concentración que alcanzó el CO<sub>2</sub> en 2022 (415 ppm); lo que implica que la contribución del N<sub>2</sub>O al calentamiento de la atmósfera es más importante de lo que se cree, cosa que no ha merecido la suficiente importancia.

De igual forma, se puede verificar que el metano (CH<sub>4</sub>) con una concentración de 1,920 ppb y un GWP = 25, equivale a 48 ppm de CO<sub>2</sub>. Esto implica que su aporte al calentamiento global es del orden de **11.5%** adicional al de CO<sub>2</sub>. En la *Figura 6c*, que se refiere a las tendencias de la concentración de metano, se puede observar un aumento progresivo en la pendiente. Esto se puede deber al aumento en la explotación de Fracking del petróleo y del gas, que trae consigo enormes fugas de metano.

En el caso del CFC-12, con una concentración de 500 ppt y un GWP = 10,900, equivale a 5.45 ppm de CO<sub>2</sub>, **1.3%** adicional y el aporte del resto de CFCs equivale a 0.89 ppm de CO<sub>2</sub>, **0.2%** adicional. En resumen, el total de GEI tiene un efecto invernalero en la atmósfera equivalente a 572 ppm de CO<sub>2</sub>. Significa que los GEI se han duplicado con respecto a la era preindustrial.



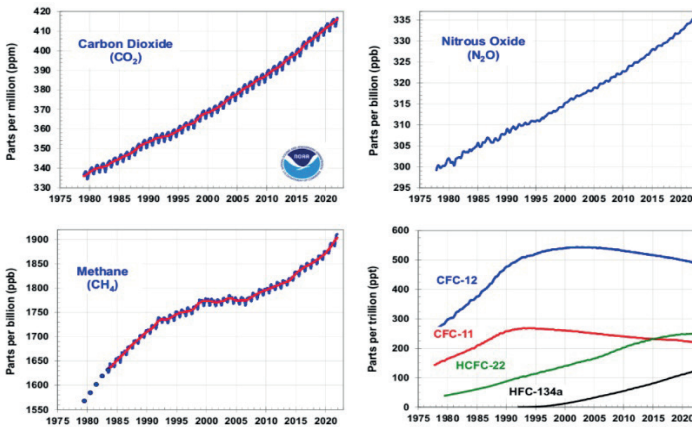


Figura 6. Tendencias de las concentraciones de los principales GEI.

Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/> [2022].

La vida en la atmósfera del  $N_2O$  es de 114 años, lo que implica que la generación actual no podrá ver el final del  $N_2O$  que ha generado. Por eso, combatir las emisiones del  $N_2O$  debería atenderse como una prioridad.

La Figura 7, también publicada por la NOAA (2022), muestra la evolución de la acumulación en la atmósfera de  $CO_2$  –acumulado implica que no se podría destruir de forma natural–. En la gráfica se puede observar una tasa de crecimiento de 2.4 ppm de  $CO_2$  por año. Asumiendo que la masa de la atmósfera es  $5.29 \times 10^{18}$  (kg), se puede demostrar fácilmente que 1 ppm de cualquier componente en la atmósfera equivale a  $5.29 \times 10^{12}$  (kg) o 5290 Mt; por tanto, si la tasa de acumulación de  $CO_2$  es de 2.4 ppm al año, esto implica que se acumulan en la atmósfera 12,700 Mt de  $CO_2$  año tras año.

Pero, por si fuera poco, el  $CO_2$  no sólo produce un efecto invernadero. En la atmósfera polar, donde las temperaturas son gélidas, se condensa y forma nubes estratosféricas que sirven como medio líquido que facilita la destrucción del ozono por la acción del cloro de los CFC. El  $CO_2$  ha jugado un papel esencial en la aparición del agujero de ozono y continúa influyendo en la destrucción de las moléculas de ozono.

Hay tres mecanismos de eliminación natural de  $\text{CO}_2$ : fotosíntesis, arrastre a través del agua de lluvia y destrucción por fotodisociación con radiación UVC.

La vegetación absorbe  $\text{CO}_2$ , pero sólo la que está cerca de las hojas; obviamente, las plantas no son aspiradoras. Por lo tanto, no pueden procesar  $\text{CO}_2$  que está lejos de su alcance. Plantar árboles y cuidar los bosques no es suficiente para contrarrestar la acumulación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera. En un artículo que apareció en *Science*, se argumentó que el área forestal en ese momento era un 10% más alta que la evaluación anterior (Le Hir, 2017; Bastin, 2017). Sin embargo, se puede ver en las *Figuras 7 y 8* que no ha habido una disminución en la tendencia de concentración de  $\text{CO}_2$ . Esto demuestra que la reforestación es esencial, pero es una acción insuficiente para reducir el  $\text{CO}_2$  de manera efectiva.

La lluvia puede arrastrar una cierta cantidad de  $\text{CO}_2$ , pero sólo la que está debajo de las nubes. Pero el  $\text{CO}_2$  arrastrado por el agua de lluvia no es del todo beneficioso ya que cambia el pH de ríos y mares, provocando la paulatina extinción de los corales, en los que se inicia la cadena alimentaria de múltiples especies marítimas (IPCC, 2013).

Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), a mediados del 2022, en el laboratorio de Mauna Loa se registró una concentración promedio de 418 ppm de  $\text{CO}_2$  (*Figura 8*); una concentración que existió en la época del Plioceno, hace 2 millones de años. En el último millón de años, la concentración media fue de 280 ppm, este nivel ha aumentado un 50% en sólo dos siglos.

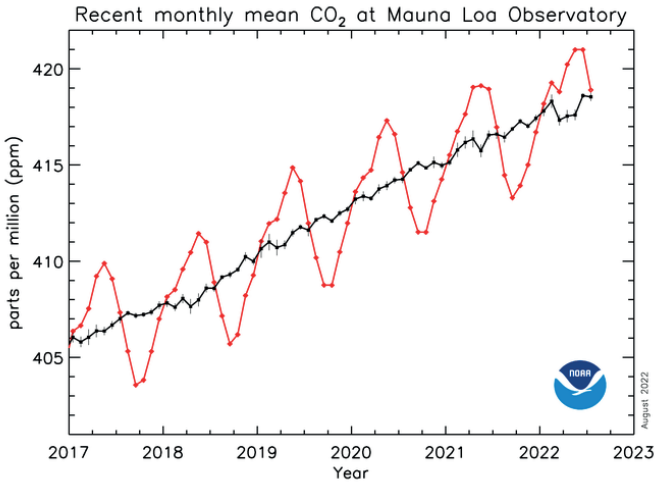


Figura 7. Valores promedio de la concentración de CO<sub>2</sub> en Mauna Loa.  
Fuente: [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2\\_trend\\_mlo.png](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2_trend_mlo.png) [2022].

Debido a su abundancia y múltiples efectos, la primera prioridad es atacar a CO<sub>2</sub> de la manera más eficiente posible.

El IPCC propone retener o atrapar CO<sub>2</sub> antes de ser liberado a la atmósfera. Sin embargo, esto requiere una tecnología que aún no existe, lo poco que se ha desarrollado aún se encuentra en fase experimental, y esa tecnología de captura, además de sofisticada, será muy costosa tanto en términos financieros como energéticos. Se requiere del orden del 20% de la energía consumida para evitar la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Adicionalmente, esta tecnología no se puede aplicar al transporte, al consumo doméstico o a la pequeña industria (Metz, 2005). Y por si fuera poco, la captura está restringida para el futuro CO<sub>2</sub>, y no para el acumulado en la atmósfera. Debido a esto, la única alternativa es la destrucción de CO<sub>2</sub> de forma natural.

Los mecanismos de eliminación del CO<sub>2</sub> se reducen a los mecanismos naturales: la fotosíntesis, el arrastre mediante la lluvia y la fotodisociación. Desafortunadamente, estos mecanismos no actúan para los otros GEI, ya que sus propiedades físicas y químicas son diferentes.

Los GEI son moléculas muy estables, con una fuerte energía de enlace molecular. A excepción del metano, el resto de los GEI tienen una vida larga o permanecen en la atmósfera durante mucho tiempo. Por lo tanto, es imperativo tratarlos individualmente, recomendando la reducción de sus emisiones o generando tecnología adecuada para capturarlos o retenerlos en lugar de liberarlos a la atmósfera.

Gracias al Tercer Mundo y a los países de desarrollo bajo y medio los cambios climáticos se han retrasado. Aunque es bien sabido que son estos países los que más sufren sus consecuencias. Revítese la lista de los países devastados por las catástrofes climáticas (§3).

La cantidad actual de GEI es equivalente al doble de la cantidad que había en la época preindustrial, por eso los huracanes son más intensos y las lluvias torrenciales.

Cierto, ha habido un progreso impresionante en eficiencia energética, ahorro de energía y de materiales. Los autos son más económicos, se utilizan materiales más ligeros, se han sustituido los focos incandescentes por focos ahorradores y por leds, se transitó del bulbo al chip, a los microprocesadores, a la compactación y minutiarización de muchos equipos electrónicos –entre otros, las computadoras–. Todo eso ha evitado que el problema sea mucho peor. Pero, aun así, el consumo de energía sigue creciendo encabezadas por las fuentes fósiles, y el crecimiento de las emisiones de GEI no tiene contención.

La responsabilidad del Calentamiento Global y de los Cambios Climáticos, indudablemente, recae en los mayores emisores de GEI.

Los países mayores emisores de CO<sub>2</sub> en el mundo son: **1)** China, cuyas emisiones en el 2022 ascendieron a 11,876.9 millones de toneladas (Mt), 30.2% de las emisiones mundiales; **2)** Estados Unidos con 5,297.7 Mt, 13.5%; **3)** la India con 2,865.2 Mt, 7.3%; **4)** Rusia con 2,024.0 Mt, 5.1%; **5)** Japón con 1 093.3 Mt, 2.8%; **6)** Irán con 904.8 Mt, 2.3%; **7)** Indonesia con 839.6 Mt, 2.1%; **8)** Arabia Saudita con 724.0 Mt, 1.8%; **9)** Alemania con 652.4 Mt, 1.7%; **10)** Corea del Sur con 618.2 Mt, 1.6%; **11)** Canadá con 591.4 Mt, 1.5%; **12)** México con 577.5 Mt, 1.5%; **13)** Brasil con 506.0 Mt, 1.3%; **14)** Sudáfrica con 456.2 Mt, 1.2%; **15)** Turquía

con 453.2 Mt, 1.2%; **16**) Australia con 437.0 Mt, 1.1%; **17**) Reino Unido con 354.8 Mt, 0.9%.

En el 2022, China produjo casi un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> del mundo (más del doble –2.24 veces– de las emisiones de Estados Unidos). El 59% de los 39,315.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> fueron emitidas tan sólo por los primeros 5 países. Y las emisiones de los 17 países listados representa 75.5% del total. Los restantes 183 países sólo son responsables de la cuarta parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo.

La pandemia demostró ser mucho más poderosa en materia ambiental que las 25 COP promovidas por las Naciones Unidas. En el 2020 hubo una reducción mundial del 6.3% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Prácticamente en todo el mundo hubo reducciones importantes, con excepción de China. Sus emisiones aumentaron 0.6%. Este aumento en porcentaje parece poco, pero en realidad es equivalente a las emisiones un país de la talla de Venezuela, Chile, Colombia y Bélgica. Su consumo de energía aumentó 2.1%, lo cual representa más de la mitad del consumo de energía de México.

China llegó a la Conferencia de Partes de las Naciones Unidas, la COP 26 de Glasgow, con las mismas promesas de la COP de París 2015, reducir entre 60 y 65% sus emisiones hasta el 2030. Pero, en los pasados 10 años ha tenido un aumento sostenido de 2.4% por año, a ese ritmo para el 2030 sus emisiones serán 21.6% superiores. O sea que sus promesas son demagogia pura.

Estados Unidos, cuyas emisiones son el 13.9% de las globales, en los pasados 10 años ha reducido sus emisiones en 0.5% por año, aunque esta cifra es significativa, a este ritmo es obvio que para 2030 sólo alcanzará una reducción adicional del 5% en las emisiones. El 5% del 13.8% representa tan sólo 0.7% a escala mundial.

La India ha tenido un aumento sostenido de 4,5% de las emisiones por año. Al 2030 emitirá 40% por encima de su nivel actual.

Europa Occidental, que en conjunto es responsable del 11.2% de las emisiones mundiales, ha observado una reducción promedio de 1.1% por año. Esta cifra parece alentadora, sin embargo, a este ritmo es obvio que para 2030, sólo alcanzará una

reducción adicional del 15% en las emisiones. Luego, dado que el 15% del 11% es tan sólo 1.65%, esto implica que, a escala mundial, la reducción en las emisiones en Europa es simplemente significativa.

Adicionalmente, con excepción de Europa Occidental y Estados Unidos, el resto del mundo no ha disminuido en nada sus emisiones, por el contrario, siguen creciendo.

Indudablemente, China es, y por lo visto seguirá siendo, el mayor responsable de las emisiones a la atmósfera. Su obstinación es convertirse en la primera potencia económica mundial, pero ¿a qué precio y con qué fines? En los hechos está imponiéndole al mundo su política en materia ecológica, una política nada benévola.

## **9. El carbón, la piedra angular de la modernidad**

La modernidad no tiene mucho tiempo en la historia de la civilización. Hasta fines del siglo XVIII, la leña era el único combustible que se utilizaba en el mundo. El carbón vino a desplazar poco a poco la leña, debido a su mayor poder energético, aunque en principio se usaba sólo para calefacción.

La Revolución Industrial se fundó con la asociación del hierro con el carbón —las piedras angulares de la industrialización—. El hierro permitió la construcción de máquinas, para telares, tornos, prensas, locomotoras, rieles... el carbón sirvió para forjar el hierro y mover las máquinas. Las locomotoras de vapor comenzaron a transportar personas y carga, entre otros el carbón. A medida que las vías férreas se extendían se demandaban más rieles y para fabricarlos se demandaba más carbón. El carbón fue el combustible sobre el cual comenzó la edificación del mundo moderno.

La expansión de la demanda de carbón y del hierro provocó su deslocalización; Alemania, Francia y Bélgica desarrollaron su propia industria y Estados Unidos lo hizo hasta 1900. Para satisfacer la creciente demanda, la oferta debía tener suficiencia, era necesario asegurarse de que el carbón fuera transportado a todas las regiones y centros de consumo y se requirió un sofisticado esquema de organización: producción, distribución,

comercialización, organización del trabajo, control de costos y finanzas. Pero, sobre todo, fue la primera industria, en la historia de la civilización, que hizo un uso intensivo de capital. Con el carbón surgió la *economía energética*.

Los empresarios se preocupaban por atraer capitales y protegerlos; pues el rendimiento de las inversiones se confrontaba a diversos riesgos —fluctuaciones en la producción y en los precios de carbón, desastres en las minas, huelgas de mineros...—. Y las compañías se convirtieron en los primeros expertos en confrontar a los trabajadores, recurriendo a todo tipo de argucias.

Las condiciones de trabajo en las minas siempre han sido terribles. Sucedían muy frecuentemente derrumbes, explosiones e inundaciones y los salarios eran exiguos, de modo que los trabajadores presionaban para lograr mejores condiciones de trabajo, mientras que los empresarios, presionaban al gobierno para que pusiera leyes muy rígidas que entre otras cosas impidieran las huelgas.

El carbón se hizo imprescindible, pero seguía siendo muy voluminoso, además su consumo no era nada eficiente. El humo ennegrecía las ciudades, el aire era irrespirable, las enfermedades respiratorias eran epidémicas, los edificios ennegrecidos, los árboles y aves se morían...

Entre el 4 y el 9 de diciembre de 1952 se estacionó sobre Londres una densa nube cargada de hollín, humo y gases tóxicos, resultado de la utilización de carbón tanto con fines industriales como para calefacción doméstica. Se obscureció el cielo, la visibilidad no era superior a un metro de distancia, como resultado se estima que en sólo una semana murieron 12 mil personas y más de 100 mil personas fueron seriamente afectadas de las vías respiratorias.

A partir de entonces se adoptaron las primeras medidas oficiales anti-contaminación en Gran Bretaña, con políticas claras y la creación de organizaciones encargadas de supervisarlas.

La explotación de las minas sigue ocasionando accidentes y tragedias. El 5 de agosto 2022 ocurrió el más reciente de los accidentes, la inundación en la mina de carbón de Pasta de Conchos en Sabinas Coahuila, donde quedaron atrapados 10 mineros. El 25 de noviembre 2021, tras una explosión en la mina de

carbón de Listvyazhnaya, en la región de Kemerovo al suroeste de Siberia, murieron 52 trabajadores. Estos accidentes, se suman a infinidad de accidentes del mismo tipo, entre otros no se debe olvidar el ocurrido en la mina de Pasta de Conchos, el 19 de febrero del 2006, en el que murieron 65 mineros.

El carbón es la fuente de energía fósil más contaminante, produce 1.41 veces más CO<sub>2</sub> que el petróleo, 1.84 veces más CO<sub>2</sub> que el Gas Natural y 3,8 veces más que las Celdas Solares Fotovoltaicas. Pero el carbón no sólo libera CO<sub>2</sub>, la nube tóxica de Londres puso en evidencia la toxicidad del carbón. En la explotación de las minas se liberan cantidades enormes de metano, gas que produce efecto invernadero, y la combustión libera partículas finas PM 10 y PM 2.5 responsables de enfermedades respiratorias y de la muerte de millones de personas por año, sobre todo en China.

Pero, a pesar de las catástrofes interminables en las minas, de las consecuencias a la salud y de su responsabilidad en el deterioro de la atmósfera y de su responsabilidad en los cambios climáticos, paradójicamente la utilización del carbón no deja de aumentar.

En el 2022 el petróleo aportó el 31.56% de la energía que se consume en el mundo, el carbón el 26.72%, y el gas natural 23.49%. El carbón es responsable de 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el Petróleo del 34% y el gas natural del 20%. Sin embargo, el carbón es la fuente de energía más abundante en el mundo. Al ritmo de consumo actual, las reservas probadas durarán (o están evaluadas en) 139 años; mientras que las reservas de petróleo están evaluadas para 53.5 años y las de gas natural 48.8 años.

El 70% de las reservas de carbón están ubicadas en 9 países. En Estados Unidos se ubica el 23.2%, en Rusia el 15.1%, en Australia el 14%, el China el 13.3%, en la India el 10.3%, Alemania el 3.3%, Ucrania e Indonesia el 3.2%, Polonia el 2.6%...

Los mayores productores de carbón en el mundo son: China 50.5%, Indonesia 8.7%, la India 7.9%, Estados Unidos 6.7%, Rusia 5.2%, Sudáfrica, 3.7%, Kazakstán 1.3% y Polonia 1.1%.

China consume más de la mitad del carbón del mundo (el 54.8%), consume más carbón del que produce, o sea que debe importar; tiene del orden de 1,000 centrales eléctricas de car-



bón. La India consume el 12.4%, también consume más carbón del que produce. Estos dos países, los más poblados del mundo, con 1,440 y 1,370 millones de habitantes, consumen el 67.2% del carbón del mundo. El 55.3% de la energía que consume China y 55.1% de la energía que consume la India, proviene del carbón.

El precio del carbón varía mucho de lado a lado del planeta. En Norte América una tonelada cuesta un poco más de 40 dólares, mientras que, en Japón, más de 80 dólares. Aun así, es la fuente de energía más barata del mundo.

El poder energético del petróleo es superior al del carbono. Para obtener con carbón la energía equivalente de una tonelada de petróleo se necesitan 1.5 toneladas de carbono, lo cual a precios de Asia equivale a 120 dólares. En el 2021 el precio del barril de petróleo fue del orden de 70 dólares. Una tonelada de petróleo contiene 7.33 barriles de petróleo. Así que el precio de una tonelada de petróleo era del orden de 510 dólares. Obviamente, 120 dólares por tonelada de carbón, comparado 510 dólares por tonelada de petróleo es menos del 25%.

En Asia y el Pacífico se consume el 80% del carbón del mundo. Estados Unidos que posee las mayores reservas es el tercer consumidor mundial y consume sólo el 6.1%. Le siguen: Japón 3%, Indonesia 2.7%, Sudáfrica 2.1%, Rusia 2.0%, Corea del Sur 1.8%, Alemania el 1.4%, Turquía y Polonia 1.1%.

En la Unión Europea (UE) 1/6 de la electricidad se produce con carbón. Los países con mayor número de centrales de carbono son Alemania con 71, Polonia con 47, República Checa 45, Reino Unido con 11, pero de mayor potencia. En la UE hay 280 centrales eléctricas de carbón operando y hasta el 2019 había más de 100 en construcción.

Las razones por las cuales se prefiere el carbón son tres: *una* la disponibilidad de reversa, *dos* el precio y *tres* que no hay una regulación estricta sobre las emisiones —o sea, no cuesta nada contaminar—.

México tiene apenas el 0.1% de las reservas de carbón del mundo. Produce y consume el 0,1% del carbón del mundo. O sea que *el nivel de responsabilidad de México en las emisiones debidas al carbón es realmente insignificante*. La industria siderúrgica probablemente absorbe toda la producción.

El tema que selló el fracaso de la COP 26 de Glasgow fue justamente el carbón. Los países consumidores –algunos por no tener otra opción, como la India, otros, los productores, por resultarles rentable y los consumidores simplemente por accesibilidad– demostraron que no van a prescindir o bien de su producción o bien del consumo. Así que el mercado del carbón tiene una inercia difícil de modificar. Menos aún, después de la crisis de la electricidad y del gas natural del 2022.

Es el mercado el que impone las pautas sobre el modo de consumo, no sólo del carbón sino de la energía en general.

## 10. El gas natural, en el epicentro de la inflación y la crisis energética mundial

Hasta antes de la guerra en Ucrania se hablaba poco, o casi nada del gas natural, el menos contaminante de los combustibles fósiles. Sin embargo, en el 2022 alcanzó una relevancia inusitada por las mutaciones del mercado del gas, causada principalmente por la crisis energética y porque la elevación de los precios de la energía fue la principal causa de la inflación en el mundo.

Los países industrializados, bajo un mercado discreto del gas natural, gozaban de un suministro continuo y a buen precio. Pero, la crisis de la electricidad de fines del 2020 y principios de 2021, consecuencia de las privatizaciones por compañías de energía en Europa, perturbaron la gloriosa estabilidad del mercado del gas. Los precios en Europa subieron drásticamente durante varios meses, y particularmente en el mes de diciembre 2020. El martes 21 de diciembre 2020, el precio de referencia europeo, el TTF holandés, aumentó un 22% para ubicarse en 180,27 euros por *Mega Watt hora* (MWh), diez veces superior al observado en el 2019 y 90% más alto que a principios de diciembre. Una casa habitación en España consume entre 5 y 15 MWh por año, de tal forma que sólo el precio del gas terminó el año entre 900 y 2700 euros por año.

Europa consumía el 14.1% del gas a nivel mundial y sólo producía el 5.2%, incluida la producción de Noruega, Holanda y Reino Unido. En consecuencia, Europa debía importar 8.9% del gas. Por su vecindad, Rusia y los países de la ex URSS habían

sido los principales proveedores del gas a Europa; aunque, no era suficiente, se requería el gas de Estados Unidos, Qatar, Argelia, Nigeria, Egipto y Perú.

El 60.7% del consumo de energía de la Unión Europea (UE) provenía de la zona no-Euro. El 77% de las importaciones europeas provenían de Rusia que aportaba el 41% y se hacían llegar mediante gasoductos. El 23% restante se transportaba por barco en forma de gas natural licuado (GNL) y provenía de otras regiones del mundo. Noruega aportaba el 16.2%, en menor proporción aparecían Argelia, Qatar, Nigeria y Estados Unidos. El precio del gas licuado es del orden del doble que el gas que puede llegar por gasoductos. El gas representaba el 21% de su consumo total de energía y estaba sujeto a fluctuaciones de precios impredecibles. Así que el LNG era la única forma de asegurar el abasto.

En forma simplista se puede decir que los aumentos de precios del 2022 se debieron principalmente al aumento de la demanda para la producción de electricidad, resultado de la insuficiencia en la oferta mediante las fuentes renovables y energía nuclear. Pero, indudablemente la guerra en Ucrania vino a perturbar en forma irreversible la gloriosa estabilidad del mercado del gas.

El gas natural es el menos abundante de las fuentes de energía. Al ritmo de consumo del 2020, las reservas de Gas Natural tendrían una duración de 48.4 años, mientras que las de petróleo 53.5 años y las del Carbón 139 años. Las principales reservas están en Rusia (19.9%), Irán (17.1%), Qatar (13.1%), Turkmenistán (7.2%), Estados Unidos (6.7%), China (4.5%), Venezuela (3.3%)...

El gas natural desde hace décadas ha sido la 3ª fuente primaria de energía, pero, es insustituible. Sus principales funciones son: la producción electricidad la calefacción y en uso doméstico. Estados Unidos es el país que más gas natural produce. En el 2021 produjo el 23.1% del total mundial, y consumió el 20.5%, por tanto, disponía del 2.6% para el mercado mundial. Rusia producía el 17.4% del gas del mundo y consumía el 11.8%, por tanto, destinaba el 5.7% al mercado mundial. El conjunto de países afines o aliados a Rusia produjeron el 22.2% del gas del mundo y consumieron el 15.1%. Quiere decir que tan sólo el ex-bloque

socialista aportaba el 7.1% del gas del mercado mundial. De ahí su importancia estratégica.

Ucrania se cuenta aparte, no es un país rico en gas natural, sólo contaba con el 0.5% de las reservas mundiales. Hasta antes de la guerra producía 0.5% del gas del mundo, pero consumía 0.6%; en rigor no era autosuficiente y dependía ligeramente del gas ex-soviético. Por tanto, si bien es la manzana de la discordia en la historia no lo es con relación al gas natural.

La guerra en Ucrania cambió la geografía política y el mercado de la energía. Occidente cerró filas y orquestó el bloqueo comercial al principal proveedor de gas de Europa. Con el bloqueo, el gas faltante tendría que provenir de Estados Unidos, Qatar, incluso de Australia, que dispone del 2.6% del gas para el mercado mundial. Pero para que el gas llegue a Europa desde tan lejos requiere licuefacción y transporte, y por tanto mayor consumo de energía para su producción y transporte. Visto desde el punto de vista ecológico eso no es nada bueno, pero desde el punto de vista de los negocios era un escenario muy atractivo y lucrativo para los productores de gas; considerando que la necesidad de los consumidores era tal que se tenían que pagar al precio impuesto por el mercado. Aunque dado que los ingresos de la población son fijos, indudablemente eso se tradujo en empobrecimiento e inflación. Mientras tanto la riqueza del mundo tan sólo se desplaza de un lado al otro del planeta.

Qatar, entre los países con mayores reservas de gas, ha sido el país más afín al bloque occidental. Y, de hecho, tiene planes de construir un gasoducto árabe-europeo que vaya desde Qatar a Europa, vía Turquía, aunque llevará años concretar la construcción. Así que no hay solución a corto plazo y el escenario parece irreversible a mediano plazo.

La Unión Europea instó a la población a disminuir su consumo de energía en un 15%. En Francia Emanuel Macron promovió un plan llamado la *sobriété énergétique* para reducir en 10% el consumo de energía, proponiendo bajar el consumo de energía en calefacción, e impulsando el desarrollo progresivo de la iluminación mediante LED y el uso de paneles fotovoltaicos, entre otros.

Estas iniciativas fueron un intento de revivir recetas de la economía de la energía que surgieron en los años 60's, tras el re-

porte del *Club de Roma* “ Los Límites del Crecimiento”. Parecía una bella intención, aunque hay que recordar que los compromisos mundiales, y no sólo europeos, del Acuerdo de París de la COP 21 en el 2015, eran mucho más ambiciosos que ese 15% propuesto por Bruselas y los gobiernos sólo se quedaron en declaraciones.

La guerra de Ucrania hizo estallar precios del gas, explotaron en el 2022. En Alemania el millón de BTU<sup>2</sup> se triplicó, pasó de 8 a 24 dólares, en Japón casi se duplicó, pasó de 18 a 34 dólares, en Reino Unido pasó de 16 a 25 dólares, en Países Bajos de 16 a 38 dólares. En Estados Unidos y Norteamérica tuvo un incremento moderado de 4 a 6.5 dólares. Ante esto, el petróleo no podía permanecer al mismo precio y pasó, en promedio, de 70 a más de 100 dólares el barril.

Comparativamente, los precios del gas resultaron entre 1.4 y 2.2 veces más altos que el petróleo. Con excepción de Norteamérica, donde, en sentido inverso, el petróleo fue 2.6 veces más caro que el gas.

Como consecuencia de los altos precios del gas, su consumo se redujo en 3.1% a nivel mundial (4.52 Exa joule (EJ<sup>3</sup>)). El 60% de esa reducción (2.67 EJ) se dio en Europa, donde se consume la octava parte del gas del mundo. Con el gas caro el consumo de petróleo en el 2022 aumentó 4.2% (5.83 EJ). Y las cosas hubieran sido peores si Europa no hubiera contado con la suerte de tener un invierno moderado, “gracias a los cambios climáticos” con lo cual la demanda en calefacción se redujo.

A diferencia de Europa, en Norteamérica, que consumen la cuarta parte del gas del mundo y donde el gas bajó de precio, el consumo de gas aumentó 1.78 EJ.

A pesar de la canícula en Europa, con temperaturas del orden de los 50 °C en algunos lugares, la Unión Europea no propiamente responde a las preocupaciones climáticas. Simplemente capotea la presión social derivada de la inflación incontenible asociada con aumento de los precios del gas y la electricidad; todo sin reconocer que los altos precios del gas se pudieron ha-

---

2. BTU (British thermal unit), 1 BTU= 1 055 Joule (J), 1 barril de petróleo = 5.8 millones de BTU.

3. EJ, abreviatura de Exa-Joules ( $1 \times 10^{18}$  Joule), unidades de energía de orden macro-energéticos. Para referencia, en el 2022 se consumieron en el mundo 604 EJ.

ber evitado si los esfuerzos por evitar el estallamiento de la guerra en Ucrania hubieran sido más serios.

Finalmente, el 2023 no comenzó tan mal —como resultado de un invierno no tan crudo como se esperaba y la iniciativa de sobriedad energética— la demanda de gas no fue tan alta.

El 15% de reducción en el consumo de energía en Europa seguirá siendo inalcanzable. En el 2022, a pesar de la crisis energética y las políticas de sobriedad energética y favorecidos por un invierno moderado, la reducción en el consumo de energía fue tan sólo de 3.8%. Eso muestra que la inercia en el consumo de energía es inamovible. La razón principal es que el consumismo está metido en la médula social y es el motor de la economía de mercado. Es similar al caso de los fumadores: no dejan de fumar, aunque el precio de los cigarrillos esté por los cielos.

El 3.8% de disminución en el consumo de energía, sin duda, representa un progreso social, que ojalá haya llegado para quedarse. Aun así, hay que recordar que lo importante no es capotear los precios de la energía, sino actuar contra los cambios climáticos y para eso hace falta una política determinante.

## **11. Mutaciones del mercado mundial del gas en el 2022**

En el 2021 el 50.5% del mercado era gas licuado (LNG) y el 49.5% se transportaba a través de gasoductos. Rusia, Estados Unidos y Medio Oriente proveían el 55% del mercado (*Tabla 3*). El principal exportador de gas era Rusia, con el 23.6% del mercado, el 71.7% tuvo como destino Europa a través del gasoducto *Nord Stream I*, que era accesible y barato. Estados Unidos era el segundo exportador mundial con el 17.5% y Medio Oriente el tercero con 14%.

En el 2022 Estados Unidos llegó a ser el primer exportador mundial con el 19.3%; Rusia con el 17.1% de las exportaciones pasó al segundo exportador y el Medio Oriente, aprovechando el bloqueo del gas ruso, incrementó sus exportaciones suministrando el 15.7%. Estados Unidos, a su vez, se convirtió en principal proveedor de Europa con el 42% del suministro (72.1

llones de metros cúbicos de gas ( $Bm^3$ )<sup>4</sup>. Qatar aportó el 16.5% (28  $Bm^3$ ).

Resultado de las sanciones de la OTAN a Rusia y de la explosión del gasoducto *Nord Stream I* en el mar Báltico, para sustituir el gas ruso, el suministro se hizo llegar desde Estados Unidos y Qatar, Argelia y Nigeria. La proporción del gas licuado en el mercado mundial pasó al 56% mientras que mediante el gasoducto disminuyó a 44%.

Los precios del gas se dispararon: pasaron de 9 a 24 dólares el millón de BTU (M BTU)<sup>5</sup> en Alemania, de 15 a 25 en Reino Unido y de 16 a 38 en Países Bajos. Ante esto, el petróleo no podía permanecer al mismo precio y pasó, en promedio, de 70 a más de 100 dólares el barril.

Comparativamente, los precios del gas resultaron entre 1.4 y 2.2 veces más altos que el petróleo. Con excepción de Norteamérica, donde, en sentido inverso, el petróleo fue 2.6 veces más caro que el gas.

Como consecuencia de la escasez y los altos precios del gas, su consumo se redujo en 3.1% a nivel mundial (4.52 EJ). El 60% de esa reducción (2.67 EJ) se dio en Europa.

El mercado de gas mediante gasoducto se contrajo en 15.5% mientras que el del gas licuado aumentó 5.2%. Las exportaciones de Gas Natural Licuado (LNG) pasaron de 515.5 a 542.4  $Bm^3$ .

---

4. 1  $Bm^3$  (Un billón de metros cúbicos de gas), equivale a  $36 \times 10^{15}$  J o a 5.883 millones de barriles de petróleo.

5. 1 BTU = 1055 Joule (J), 1 barril de petróleo = 5.8 millones de BTU (M BTU). Multiplicando (5.8 M BTU/b) por 5.883 Mb/  $Bm^3$  se comprueba que 1  $Bm^3$  =  $34.123 \times 10^6$  MBTU.

Tabla 3. Exportaciones de Gas Natural mediante gasoducto y como gas licuado (LNG)								
	2021				2022			
	Gasoducto (Bm <sup>3</sup> )	LNG (Bm <sup>3</sup> )	Total (Bm <sup>3</sup> )	Participación mundial (%)	Gasoducto (Bm <sup>3</sup> )	LNG (Bm <sup>3</sup> )	Total (Bm <sup>3</sup> )	Participación Mundial (%)
Rusia	201.7	39.6	241.3	23.6	125.3	40.2	165.5	17.1
Estados Unidos	84.3	9.5	179.3	17.5	82.7	104.3	187.0	19.3
Medio Oriente	13.4	129.7	143.1	14	15.5	130.5	152.1	15.7
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Mundial	505.6	516.2	1021.9	100	426.1	542.4	1021.9	100
	49.5%	50.5%			44.0%	56.0%		

Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2022, 2023.

De hecho, como consecuencia de las sanciones a Rusia y el sabotaje al gasoducto *Nord Stream I y II*, Europa tuvo que aumentar sus importaciones de LNG de 107.5 a 170.2 Bm<sup>3</sup> (5.2%). Las cuentas no son muy complicadas si imaginamos un aumento de precio, digamos de 10 dólares a 30 dólares el millón de BTU. En el 2021 las erogaciones fueron de 107.7 \* 10 dólares \* f = 1,070.7 f, —donde f es un factor de conversión de Bm<sup>3</sup> a MBTU<sup>6</sup>— mientras que en el 2022 fueron 170.2 \* 30 \* f = 4,106 f. O sea que las erogaciones fueron 4,106/1,070.7 = 3.83 veces superiores del 2021 al 2022.

Con el gas caro, el consumo de petróleo en el mundo aumentó 4.2% (5.83 EJ). Fue mayor el aumento en el consumo de petróleo que la reducción en el consumo de gas (4.52 EJ), porque en realidad en el año hubo un aumento en el consumo mundial de energía y el petróleo tiene más flexibilidad en la capacidad de producción.

Y las cosas hubieran sido peores si Europa no hubiera contado con la suerte de tener un invierno moderado, “gracias a los cambios climáticos”, con lo cual la demanda en calefacción se redujo. El gas se usa fundamentalmente para calefacción, producción de electricidad y uso doméstico y el petróleo no puede sustituir en forma directa al gas.

A diferencia de Europa, en Norteamérica, que consumen la cuarta parte del gas del mundo y donde el gas fue el barato, el consumo de gas aumentó 1.78 EJ, porque el precio del petróleo resultó 2.6 veces más alto que el del gas.

Y se modificó el mercado mundial. Debido a la mayor demanda de petróleo, el Medio Oriente, que produce la tercera parte

6. f=34.12x10<sup>6</sup> MBTU/ Bm<sup>3</sup>.



del petróleo del mundo, aumentó su producción en 9.8%. Con esto y el aumento del precio los ingresos de producción debieron ser 57% superiores a los del 2021.

Estados Unidos, que produce un séptimo del petróleo del mundo, aumentó su producción en 5.6%, y debió haber tenido ingresos de 50.9% superiores a los del 2021.

Pero algo inesperado fue que en el mercado del petróleo y el gas Rusia no perdió. Las exportaciones de gas de Rusia se redujeron en 31.4%, pasando de 241.3 a 165.5 Bm³. Sin embargo, haciendo cálculos con los nuevos precios, Rusia no perdió. En cuanto a las exportaciones mediante gasoducto, aun sin conocer el precio final de venta, dado que los precios se multiplicaron por dos o más, simplemente un precio de 1.6 veces superior hubiera sido suficiente para garantizar los mismos ingresos del año anterior; pero, como fue apuntado anteriormente, los precios aumentaron a más del doble.

Adicionalmente, un beneficio imperceptible fue, que con la reducción de sus exportaciones, evitó la sobreexplotación de sus reservas. Esto a la larga coloca a Rusia en mejor posición como un potencial exportador. Los países con mayores reservas de gas son: Rusia, que tiene el 19.9% de las reservas del mundo; Irán 17.1%; Qatar el 13.1%; Estados Unidos el 6.7%; China el 4.5% y Venezuela el 3.3%.

En cuanto a las exportaciones de LNG, los cálculos son más elocuentes. Con datos de la *Tabla 3*, si en el 2021 el precio fue, digamos, de 8 dólares el M BTU y en el 2022 de 24 dólares, los ingresos correspondientes a cada año fueron:

$$I_{2021} = 39.6 \text{ Bm}^3 \left[ 34.123 \times 10^6 \frac{\text{MBTU}}{\text{Bm}^3} \right] \left[ 8 \frac{\text{US \$}}{\text{MBTU}} \right] = 10\ 810 \text{ M US \$}$$

$$I_{2022} = 40.2 \text{ Bm}^3 \left[ 34.123 \times 10^6 \frac{\text{MBTU}}{\text{Bm}^3} \right] \left[ 24 \frac{\text{US \$}}{\text{MBTU}} \right] = 32\ 921 \text{ M US \$}$$

Con lo cual se puede concluir que, a pesar de la reducción en las exportaciones, en el 2022 los ingresos derivados del LNG ruso fueron 3.04 veces superiores a los del 2021.

En el caso del petróleo, Rusia aumentó su producción en 2% y produjo el 13.1% del petróleo del mundo. Con el ligero aumento de la producción, pero sobre todo con el aumento del precio, debió tener ingresos 45% superiores a los del 2021. De sus ex-

portaciones, el 44.16% tuvieron como destino Europa, el 32.56% China y el 13.97% la India...

Seguramente algo con lo que no se contaba, y de lo que no se sabe mucho, fue que, a pesar de las sanciones, algunos países de Europa no pudieron o no quisieron prescindir totalmente ni del gas ni del petróleo ruso. Las importaciones europeas de gas ruso ascendieron a 19.6  $Bm^3$ , el 11.5% del mercado europeo, casi la mitad del LNG producido por Rusia (40.2  $Bm^3$ ). Los principales compradores del LNG ruso fueron: Francia, que al mismo tiempo que aportaba armas a Ucrania compró a Rusia 7.4  $Bm^3$ ; España que le compró 5.0  $Bm^3$  y Bélgica con 2.9  $Bm^3$  ... el resto del LNG ruso fue exportado a Japón, China y Corea del Sur principalmente.

En resumen, la guerra de Ucrania cambió la geografía del mercado del gas, se intercambiaron las posiciones de los proveedores y, de rebote, también hubo cambios en el mercado del petróleo. Cuando pudiera haberse esperado que fuera un momento adecuado para la emergencia de las fuentes alternas, éstas permanecieron impasibles, dejando ver que no tienen capacidad de ser alternativas. En contraparte, el petróleo demostró una vez más que es la fuente de energía que tiene mayor capacidad de respuesta ante las crisis energéticas. Como resultado se multiplicaron los beneficios para las compañías petroleras, productoras y comercializadores de gas.

Puede interpretarse entonces, que la guerra en Ucrania fue el marco para imponer un nuevo estatus del gas natural en la economía mundial e imponer mutaciones en el mercado mundial de la energía.

Los perdedores fueron los consumidores. Hubo regiones del mundo que no pudieron prescindir del gas. Europa, que un año antes recibía gas por gasoducto a un precio moderado, tuvo que comprar ahora gas licuado a un precio del orden del triple que el año anterior. En Asia, que absorbe casi la tercera parte del mercado del gas mundial, el consumo se redujo de 372 a 347  $Bm^3$  (-6.5%). Aun así, su consumo ascendió al 31.4% del LNG mundial.

Pero, por sobre todas las cosas, el gran perdedor fue el medio ambiente, porque para hacer llegar el gas de un extremo al otro

del mundo se necesita energía para licuarlo y transportarlo y eso produce GEI. Pero quedó claro que para quienes tienen el destino del mundo en sus manos, lo más importante es la lucha por la supremacía y para ellos el planeta poco importa.

## 12. Impacto actual de las fuentes renovables de energía

Previamente a la época industrial, la utilización de energía era muy limitada, las fuentes de energía eran estrictamente fuentes naturales: la radiación del sol y la leña –biomasa– en algunas sociedades, el viento en la navegación y la energía hidráulica. Es decir, se recurría estrictamente a fuentes renovables y a pesar de sus limitaciones tenían un impacto en las actividades productivas.

El viento fue usado en navegación desde los fenicios. Con veleros se descubrió América y se expandió el comercio en el mundo. Sin embargo, es indiscutible que hoy en día con veleros no podría sustituirse el transporte marítimo, los combustibles son imprescindibles.

Muchos quisiéramos que las *energías renovables* –eólica y solar– fueran sustitutas de las fuentes de energías fósiles, petróleo, gas natural y carbón. Pero la verdad es que ese deseo está muy lejos de la realidad, sobre todo por limitaciones físicas.

En el 2022, las *energías renovables* aportaron el 7.48% de la energía primaria que se consumió en el mundo (45.18 EJ). El 50% correspondió a la energía eólica (22.59 EJ); 31.5% a la energía solar (14.23 EJ) y el 18.5% restante a los biocombustibles (8.36 EJ) entre los que se encuentran biomasa, geotermia y otros no especificados. En particular, biocombustibles y biomasa no son energías limpias, porque, su nombre lo dice, son combustibles, y producen CO<sub>2</sub> al quemarlos. Por tanto, las energías realmente renovables solo aportan el 6.1% de la energía que se consume a nivel mundial.

En la *Figura 8* se muestra la comparación de las emisiones producidas por el biodiesel, según el origen. Y en la *Figura 9* se presenta la comparación de las emisiones para todos los biocombustibles, con relación a los combustibles fósiles.

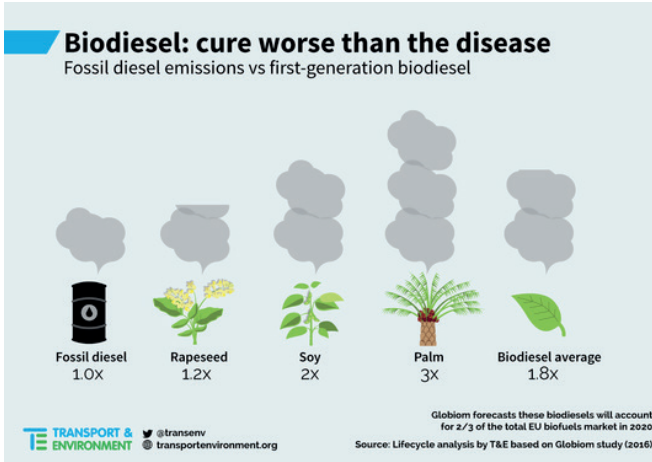


Figura 8. Comparación de las emisiones producidas por el biodiesel, según el origen.

Así que, restando los biocombustibles, las fuentes renovables sólo aportan 6.08% de energía libre de CO<sub>2</sub>.

Los combustibles –petróleo, carbón, gas natural, biocombustibles y biomas– abastecen el 83.15% de la energía que se consume en el mundo. Las *energías limpias* o libres de CO<sub>2</sub> –hidráulica, nuclear, eólica y solar–, juntas, representan tan sólo el 16.85%. El problema es ¿cómo convertir el 16.85% en el 100%?

En el 2022 las fuentes de energía eólica y la solar, tuvieron un crecimiento aparentemente espectacular. La energía solar aumentó 24.9% mientras que la eólica 13.5%. Pero el incremento de ambas sumó tan sólo 5.21 EJ. La hidroelectricidad tuvo un incremento de apenas 0.28 EJ, mientras que la energía nuclear una disminución de 1.19 EJ. Quiere decir que las fuentes limpias sólo se incrementaron en 4.3 EJ. Mientras que el petróleo aumentó 5.83 EJ y el carbón 1.04 EJ.

Conclusión, las fuentes fósiles tienen mayor capacidad de responder ante las exigencias del mercado o, al inverso, las fuentes limpias están a la zaga en la carrera por ser las energías alternativas.

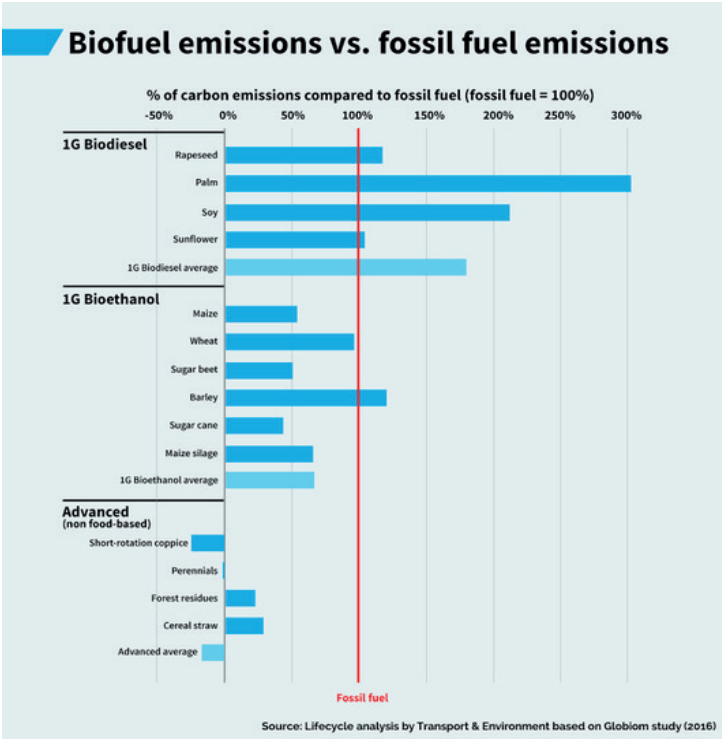


Figura 9. Comparación de las emisiones de los combustibles y biocombustibles.

Las cifras anteriores, demuestran que, las fuentes renovables son tan solo complementarias. Después de medio siglo de apoyos y subvenciones extraordinarias, solo aportan el 6.1 % de la energía que se consume en el mundo. Además, es paradójico que la energía eléctrica proveniente de aerogeneradores o paneles fotovoltaicos, es decir de fuentes cuyo combustible –el viento o la radiación solar es gratuito- sea más cara que la producida con gas natural o carbón.

La principal razón de este mundo al revés, es que el mercado de las fuentes renovables han sido acaparadas y monopolizadas por grandes consorcios –los *lobbys verdes*- entre los cuales dominan Iberdrola, Siemens-Gamesa, Copenhagen Infraestructure Paterns, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, que han lucrado en forma exorbitante del ambientalismo, nutriéndose de exenciones fiscales y subvenciones.

Los *lobbies verdes* como y sus inversionistas, se han hecho multimillonarios explotando la esperanza humanitaria de construir un mundo racional con el medio ambiente. Obviamente, estos tienen interés de generarse publicidad y una buena imagen ambientalista. Difunden una expansión exagerada e irreal de las fuentes renovables y promueven la idea de que hay países que se abastecen exclusivamente de energías renovables. Pero no, desgraciadamente no hay país que utilicen exclusivamente fuentes renovables. Y es explicable, muchísima tecnología depende aun de los combustibles derivados del petróleo: la aviación, el transporte marítimo, los automóviles y la propia generación de electricidad (§ 16).

¡No!, entre los primeros países productores de energías renovables no aparecen muchos países que se dan baños de pureza. Dinamarca, con 5.8 Mhab, se ha señalado en medios de comunicación como modelo en el mundo de la energía, sin embargo, aparece en el lugar número 21 entre los productores de energías renovables, generando apenas el 0.6% de la energía renovable del mundo. Ciertamente, en Dinamarca están asentados tres de los más grandes *lobbies verdes*, los productores de aerogeneradores: *Vestas*, *Orsted* y *Copenhagen Infrastructure Partners*. Vestas en el 2019 era el mayor fabricante de turbinas eólicas, con una capitalización bursátil de casi 16 mil millones de euros —el 5% del PIB danés—. Sus pedidos ese año ascendían a 33 mil millones de euros.

¡Es imposible que las fuentes renovables tengan mayor capacidad de respuesta a la demanda de energía que los combustibles fósiles! simplemente porque las fuentes renovables tienen limitaciones meteorológicas y geográficas insalvables. Adicionalmente otra arista del problema es que las fuentes renovables y las fuentes limpias solo producen electricidad. Y *desgraciadamente, no solo de electricidad vive el hombre*. El consumo de electricidad representa apenas poco más de la sexta parte del consumo mundial de energía (el 17.37%). La mayoría absoluta del transporte funciona con gasolina, diésel, keroseno. Y no existen baritas mágicas que conviertan los autos de gasolina en autos eléctricos, ni hay aviones ni buques eléctricos, ni hay quien los esté construyendo. Y por si fuera poco el transporte no es la

única actividad que demanda energéticos derivados del petróleo.

Por si fuera poco, el desarrollo de las energías renovables no es homogéneo en el mundo, el 80% de su desarrollo está concentrado en una decena de países. China produce el 29.4%; Estados Unidos 18.7% y Brasil el 5.6%, aunque en su mayoría produce biocombustibles. Alemania produce el 5.4%; la India el 4.8%; Reino Unido 3.0%; España 2.3% y Francia 1.8%.

Los dos países con mayores emisiones de CO<sub>2</sub> –China y Estados Unidos– generan el 48.1% de la energía renovable del mundo. Toda Europa, autoproclamada el continente más ambientalista del mundo, produce tan sólo 24.5% de energía renovable, menos que China, el país con mayor deuda ecológica. En las pasadas dos décadas se han destinado trillones de euros para el desarrollo de las energías renovables, sin embargo, no es la zona del mundo con mayor desarrollo. Probablemente eso se debe a que gran parte de ese dinero ha ido a para a los *lobbys verdes*, a los que finalmente han lucrado con la vocación ambientalista de la sociedad.

México en el 2022 consumió 1.4% de la energía a nivel mundial, fue el 13avo consumidor, a la par que Francia. Produjo el 1% de la energía renovable, es el país número 17 en energías renovables, su consumo representó el 5,1% de su consumo total de energía. De ese 5.1%, el 49% es energía eólica, 41.8% es solar y 14.3% es geotermia, biocombustible y/o biomasa. La contribución de la energía renovable de México al consumo global de energía es de 0.07%, o sea que, es prácticamente insignificante a escala mundial, de forma similar al resto de los países debajo de México. Los esfuerzos que se dice que hace México en contra de las emisiones de GEI son tan sólo simbólicos.

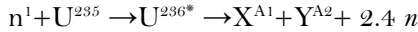
Sí, sería ideal que todo fuera eléctrico y que la electricidad se produjera a partir de fuentes limpias. Pero eso aún es una utopía, que tal vez no dejará de serlo en lo que resta del siglo. Mientras tanto, el mundo se seguirá moviendo, y necesitará combustibles.

Sí, que se siga desarrollando la energía solar y la eólica, pero que no se exploten con fines de enriquecimiento.

### 13. Estatus de la Energía Nuclear

La producción de electricidad a partir de la energía nuclear se lleva a cabo en plantas o centrales nucleares. El corazón de las plantas nucleares es el conjunto de reactores nucleares, equipos o sistemas donde se producen las reacciones de fisión nuclear en cadena y se libera y recupera la energía nuclear de fisión (*Figura 11*).

Una *fisión nuclear* es una reacción en la cual un núcleo atómico, tal como el  $U^{235}$ , se rompe o fisiona, bajo la acción de una partícula, usualmente un neutrón. Esto es:



Al romperse el núcleo da lugar a dos fragmentos o núcleos más pequeños  $X^{A1}$  y  $Y^{A2}$ , llamados fragmentos de fisión y a, en promedio entre, 2.4 neutrones, de los cuales al menos uno tiene la posibilidad de fisionar otro núcleo. A la secuencia de reacciones de fisión se le llama reacción en cadena (*Figura 10*).

En cada reacción de fisión se libera del orden 200 millones de electrón-volts de energía (MeV), en forma de energía cinética de los fragmentos de fisión y productos de decaimiento.

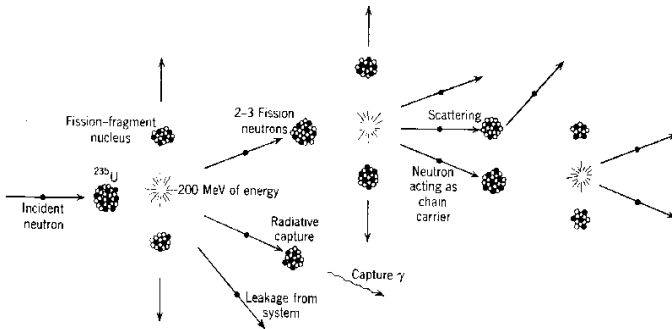


Figura 10. Reacción en cadena de fisión.

Fuente: J. Duderstadt, *J. Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley and Sons, 1976.

Un gramo de uranio-235 ( $U^{235}$ ) contiene  $2,563 \times 10^{21}$  átomos. Si todos los átomos de un gramo de uranio se fisionan se libera



una energía equivalente a la energía contenida en 1,976 kg de carbón, o en 1,880 kg de petróleo. En eso radica el potencial o lo intensivo y atractivo de la energía nuclear.

Un reactor nuclear de 1,000 Mega Watt (MW) de potencia puede abastecer a casi 3 millones de hogares, cuyo consumo promedio por mes sea hasta de 250 kWh, o cuyo recibo bimensual sea menor de 800 pesos.

Las centrales nucleares son la forma más intensiva de producir electricidad. Y la electricidad es la forma más versátil de utilización de la energía. Con ella se puede producir iluminación, calefacción, refrigeración, aire acondicionado, accionar motores y medios de transporte, como los trenes rápidos —el TGV en Francia o el tren bala en Japón—, el metro, los trolebuses y tranvías.

Los primeros reactores nucleares se desarrollaron como un desafío científico-tecnológico en el que muchos países querían participar. El impulso fue tal que, en tan sólo 3 décadas, prácticamente de la nada se expandió por el mundo la tecnología más sofisticada e intensiva que existe para producir electricidad:

En 1932 James Chadwick descubrió el neutrón. En 1939 Otto Hahn y Strassman descubrieron que con los neutrones se podía inducir las reacciones de fisión nuclear en cadena. En 1942, Erico Fermi y colaboradores alcanzaron la criticidad del primer reactor nuclear en Chicago, logrando con ello controlar las cadenas de reacciones de fisión. En 1957 se puso en operación el primer reactor de potencia o el primer reactor destinado a la producción de energía eléctrica, con una potencia de 90 MWe. Para mediados de los años sesenta había alrededor de 30 reactores de potencia operando en el mundo.

Tras el *embargo petrolero* de 1973, los reactores nucleares se convirtieron en instrumentos de seguridad energética, alcanzando una connotación estratégica. Estados Unidos, La Unión Soviética, Reino Unido, Alemania, Canadá, la India, Suecia y España adoptaron la energía nuclear como parte de un programa de diversificación de sus fuentes de energía para no depender de una

sola fuente. Francia y Japón, países que no poseen ni petróleo ni gas natural, adoptaron la energía nuclear como pilar de su política energética para garantizar la soberanía, autosuficiencia o independencia energética.

En 1976 Valéry Giscard d'Estaing, entonces presidente de Francia, hizo celebre el slogan "nosotros no tenemos petróleo, pero tenemos ideas".

Y Francia instaló 56 reactores y con ellos llegó a producir hasta el 80% de la electricidad, Japón alcanzó a instalar 54 reactores nucleares y a producir el 30% de su electricidad.

A mediados de los 80 había ya 400 reactores nucleares de potencia en operación en el mundo.

El auge de la energía nuclear de los 80 fue brutalmente irrumpido por la catástrofe de Chernóbil ocurrida el 26 de abril de 1986. Este evento avivó a los grupos antinucleares y frenó por completo el desarrollo de la energía nuclear en el mundo occidental. En Europa y Estados Unidos no se volvieron a programar nuevos reactores nucleares.

En la catástrofe de Chernóbil, en 1986, hubo 64 muertes directas, 28 personas afectadas por síndrome de radiación aguda y se reportaron del orden 4,000 muertes como consecuencia de las irradiaciones. Se liberaron 179 millones de Curies (MCi) de material radiactivo y quedó contaminada una extensión territorial de varios miles de kilómetros cuadrados con una zona de exclusión que tiene un radio de 30 km alrededor de la planta nuclear.

En el 2011, 25 años después, ocurrió la catástrofe de Fukushima donde no hubo muertes directas, pero se dispersaron al ambiente 10 MCi de materiales radiactivos. El tsunami que provocó la catástrofe causó 20 mil muertes y una destrucción enorme, pero en los medios de comunicación lo único que resonó fue la catástrofe nuclear.

Ni la catástrofe de Chernóbil ni la de Fukushima fueron propiamente accidentes, fueron negligencias deliberadas. En el caso de Chernóbil por implementar un experimento fuera de norma (véase la serie Chernóbil, que es muy cercana a la realidad). Y en el caso de Fukushima porque las bombas con las que se enfrían los reactores nucleares estaban muy cerca del nivel

del mar y se inundaron con el tsunami. Por décadas, las autoridades le habían exigido a la empresa TEPCO –la propietaria de la central nuclear de Fukushima– que cambiara de lugar las bombas para evitar que se inundaran en caso de tsunamis, pero, presumiblemente con sobornos, se había evadido cumplir la exigencia.

Ambas catástrofes, Chernóbil y Fukushima, son lecciones históricas que han endurecido la reglamentación en materia nuclear, que sin duda van a ofrecer mayores garantías para evitar que se vuelvan a repetir catástrofes similares.

Tras Chernóbil y Fukushima, los movimientos antinucleares adquirieron más peso político y lograron congelar la totalidad de los programas nucleares en Europa. En la *Figura 11* se presentan la tendencia de la producción de núcleo-electricidad por regiones del mundo. Se observa que, en Asia (en anaranjado), Chernóbil no tuvo mucho efecto, aunque sí lo tuvo Fukushima, particularmente por el cierre de prácticamente la totalidad de las plantas nucleares de Japón.

A pesar de Fukushima, la energía nuclear tomó un nuevo aire en países donde los movimientos anti-nucleares o no existen o son muy débiles –China, la India, Turquía, Corea del Sur, Rusia, Egipto, Bangladesh, Irán, Emiratos Árabes...–; mientras que en Europa y Estados Unidos muchos reactores están llegando al final de su vida útil, siendo una atenuante de la crisis energética en Europa en 2021 y 2022.

En el 2023, había 422 reactores nucleares en funcionamiento en el mundo (*Figura 12*). Los mayores productores de núcleo-electricidad son: 1º Estados Unidos, con 92 reactores en operación y 2 en construcción; 2º Francia, con 56 reactores en operación y 1 en construcción; 3º China, con 55 reactores en operación y 18 en construcción. China, en materia de energía nuclear, pasó del 13º al 2º lugar en tan sólo dos décadas, desplazando a Francia. El 4º productor mundial de energía nuclear es Rusia con 37 reactores en operación y 4 en construcción. El 5º es República de Corea con 25 reactores en operación y 3 en construcción, que pasó del 7º al 5º lugar en tan sólo dos décadas.

En el 2022 había 57 reactores en construcción, de los cuales: 18 se estaban construyendo en China, 8 en la India, 4 en Rusia, 4

en Turquía, 3 en Corea del Sur, 2 en Reino Unido, 2 en Japón, 2 en Egipto, 2 en Estados Unidos, 2 en Bangladesh, 2 en Ucrania y 1 en Francia.

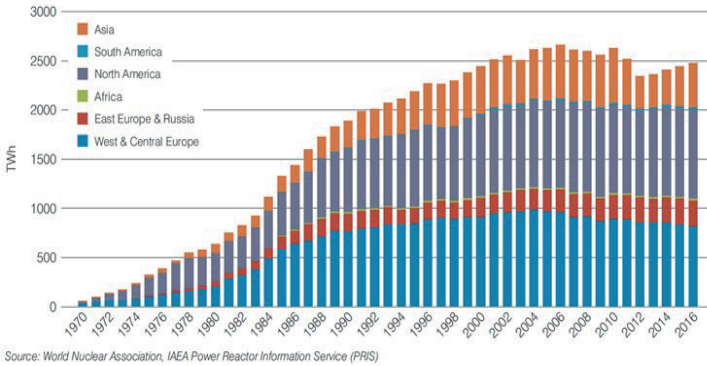


Figura 11. Tendencias de la producción de núcleo-electricidad.

En la breve historia de las plantas nucleares se han puesto fuera de operación 203 reactores, de relativamente baja potencia, que cumplieron ya su ciclo de vida o que resultaban incosteables. Hay además 17 reactores suspendidos en forma indefinida –de los cuales 16 están en Japón–.

Es importante señalar el número de reactores en paro definitivo, porque mientras que no sean desmantelados, requerirán supervisión, mantenimiento y, para ello, requieren especialistas en reactores nucleares. Y si la energía nuclear se desarrolla aún más se requerirá formar aún más especialistas.

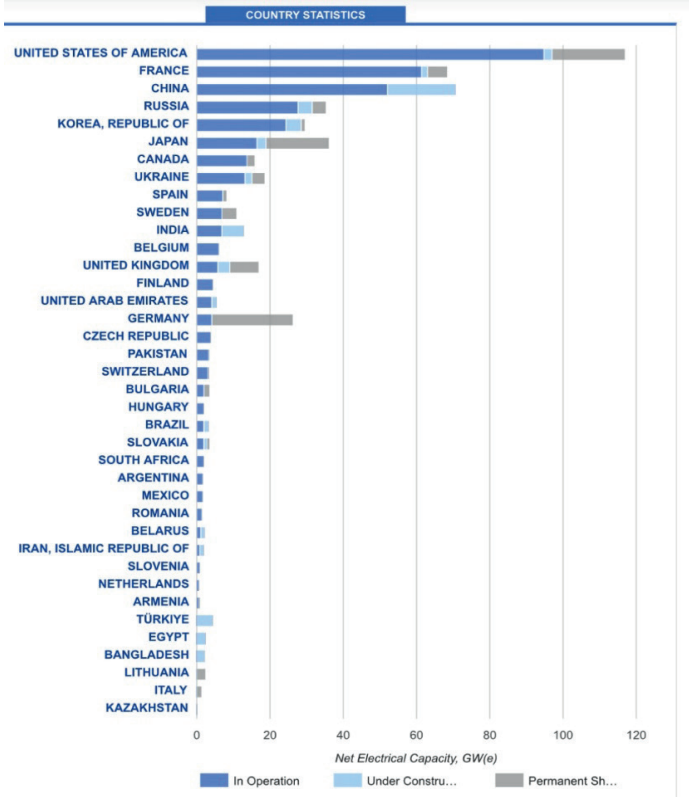


Figura 12. Reactores Nucleares en operación, construcción y en paro permanente.  
 Fuente: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/WorldTrendinEnergyAvailabilityFactor.aspx>

Hay en total 700 reactores nucleares en el mundo: 422 reactores en operación, 203 en paro total, 17 suspendidos y 57 en construcción. Los 422 reactores nucleares en funcionamiento, en conjunto, tienen una capacidad instalada o potencia de operación de 379,320 MW (Mega-Watt) o 379.32 Giga Watt (GW). Dividiendo entre el número de reactores la potencia promedio que resulta es de 897 MW. Hay reactores hasta de 1,600 MW de potencia, los dos reactores de México, ubicados en Laguna Verde Veracruz, tienen una potencia de 875 MW.

La energía nuclear, a partir de Chernóbil, comenzó a jugar un papel cada vez más marginal. A fines del 2022 representó

apenas un 4% de la energía primaria. En términos absolutos, la cantidad de núcleo-electricidad que se produce es relativamente constante del orden de 2,500 Tera Watt Hora/año (TWh/a) a pesar de que el número de reactores ha bajado de 440 a 422 (Figura 13). Sin embargo, como el consumo del resto de las fuentes primarias sigue creciendo, la participación de la energía nuclear ha ido disminuyendo.

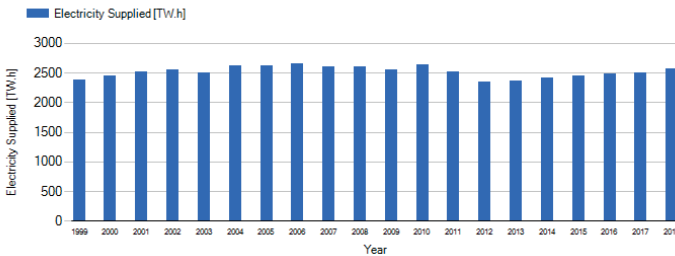


Figura 13. Tendencias de la producción anual de núcleo-electricidad.

En Europa, donde florecieron con mayor auge los grupos anti-nucleares, tras las crisis de la electricidad y del gas natural del 2022, la oposición a la energía nuclear disminuyó considerablemente. Un gran número de ecologistas consideran que la energía nuclear es la solución, o parte, para contrarrestar la crisis energética y contener los cambios climáticos. Es ampliamente aceptado que la energía nuclear es una fuente de energía limpia, o que no genera emisiones de CO<sub>2</sub>. Obviamente no hay energías cien por ciento limpias, porque para construir las plantas, o los generadores, debió haberse consumido una gran cantidad de energía y materiales. Pero una vez en operación las plantas nucleares son limpias.

El propio Parlamento Europeo propuso revivir los programas nucleares. Las razones del nuevo auge son: el interés por combatir los cambios climáticos, contener la escalada del precio de los combustibles fósiles y de la electricidad, la incapacidad de las fuentes renovables de convertirse en fuentes alternativas y lo atractivo del poder energético de los reactores nucleares.

Los reactores nucleares en el mundo llegaron para quedarse. Los que ya están será imposible que desaparezcan en la faz de la Tierra y requerirán supervisión y mantenimiento permanente, estén en funcionamiento o no. Y todo parece indicar que el 2024 será un punto de inflexión a nivel mundial.

La duda está en hasta dónde puede llegar el desarrollo de la energía nuclear a futuro. En duda está, si la industria nuclear permanecerá marginal, como ha sido en lo que va del siglo, o tendrá una expansión. El futuro depende de decisiones políticas, pero a su vez depende de qué es lo que se quiera atender. Si se trata sólo de depender menos del gas natural, habrá un escenario; si se trata de alcanzar la neutralidad carbono y sustituir completamente las fuentes de energía fósiles es otro escenario. En fin, la transición energética se ha vislumbrado desde hace al menos dos décadas. Hay muchas ideas, desgraciadamente muchas de ellas tienen poco sustento.

Se ha pensado, por ejemplo, que si toda la tecnología es eléctrica se alcanzará la neutralidad carbono (§ 16), pero se ha perdido de vista que las fuentes limpias de energía no tienen capacidad de sustituir al carbón y al gas para producir electricidad.

Se ha asumido a priori que la energía nuclear es una alternativa energética capaz de sustituir a los combustibles fósiles y que sólo bastaba convencer a los opositores y detractores sobre sus ventajas. Ahora, cuando la resistencia a la energía nuclear no tiene la dimensión que tenía después de Chernóbil y Fukushima, habrá que fundamentar qué tanto puede expandirse la energía nuclear, y si tiene capacidad para sustituir los combustibles fósiles.

Se vislumbran dos opciones complementarias para aumentar la capacidad instalada de la energía nuclear: prolongar la vida de los reactores de 40 a 50 años; y paralelamente, incrementar el número de reactores nucleares.

Prolongar la vida de los reactores parece obligado, debido a que un gran número de ellos está llegando al final de la vida útil prevista, 40 años, y están en buenas condiciones de continuar en funcionamiento. En *la Figura 14* se presenta la distribución de los reactores de acuerdo a su edad. Se puede observar que más de la tercera parte de los reactores ha rebasado 35 años

en operación, e incluso hay 10 reactores con más de 50 años en operación.

La factibilidad de prolongar la vida de los reactores viejos depende de la historia de cada reactor. Pero esto tan sólo evitará mermar la producción de núcleo-electricidad en países que dependen fuertemente de las plantas nucleares, como Francia, mientras se gana tiempo para reemplazar los reactores viejos por nuevos.

Incrementar el número de plantas nucleares, aunque en el papel parece fácil, requiere tiempo, una inversión inicial elevada y, algo de lo que no se habla mucho, garantizar el suministro de combustible. Éste requiere primero asegurar la existencia de reservas de uranio, luego asegurar que exista capacidad de procesamiento del uranio —desde: la extracción, la concentración, la purificación, la conversión, el enriquecimiento, y hasta fabricación de combustibles—.

Las principales limitantes de la expansión de las centrales nucleares son: el financiamiento, el tiempo de construcción e instalación de nuevas centrales, la disposición de reservas de uranio y la capacidad de enriquecimiento.

Una central nuclear puede costar entre 5 mil y 8 mil millones de dólares, dependiendo del proveedor, y la construcción puede tardar entre 5 y 8 años. Pero, independientemente del financiamiento de las centrales nucleares, las limitaciones determinantes son la suficiencia de reservas de uranio y la capacidad para enriquecer el uranio y la fabricación de los elementos de combustible.



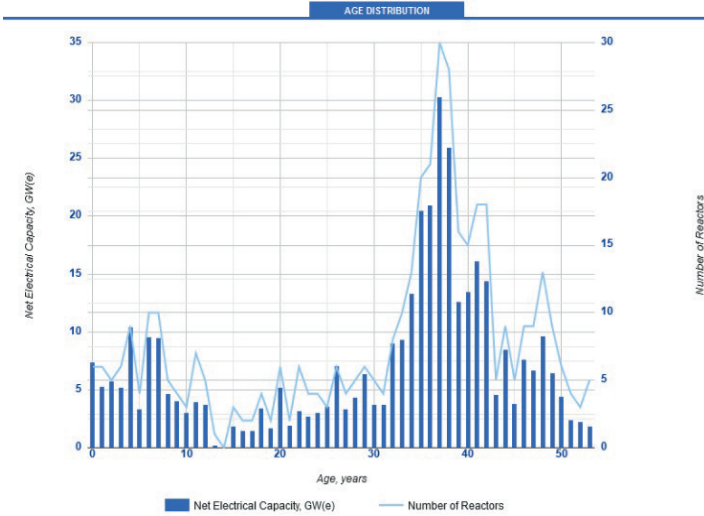


Figura 14. Distribución, en función de la edad, de las plantas nucleares.

El uranio es relativamente barato, su precio en el mercado es relativamente estable, va desde 40 a 260 dólares por kg. El uranio es más abundante que el oro y la plata, pero la mayor parte se encuentra en el agua de mar, con una concentración de 3.3 miligramos por tonelada, y en la corteza terrestre con una concentración de 2 a 3 gramos por tonelada. Pero esas concentraciones son tan pequeñas que sería sumamente complejo y caro recuperarlo.

Las reservas de uranio explotables no son ilimitadas, pero la industria del uranio, no está en expansión ni tiene gran capacidad de crecer, porque el precio es tan bajo que no es atractivo invertir en su explotación. Un kilogramo de uranio vale del orden de la mitad de lo que costaba en tiempos del primer auge nuclear. El mercado está contenido, puesto que no ha aumentado el número de nuevas centrales nucleares y se está utilizando uranio de las reservas estratégicas y del desmantelamiento de armas nucleares.

Ciertamente es impredecible lo que pueda pasar a medida que se agote el uranio barato y si la energía nuclear experimenta un nuevo auge.

De acuerdo a la *Tabla 4*, publicada por la OECD (2020), los inventarios de las reservas identificadas de uranio, ascienden tan sólo a 8.070 millones de toneladas (Mt), Las reservas identificadas incluyen las razonablemente seguras 4.723 Mt y las inferidas 3.346 Mt. Los 8.070 millones de toneladas incluyen todo tipo de reservas, independientemente de los precios de extracción, que varían desde los 40 dólares (US\$) por kg hasta los 260 US\$/kg. (la *Tabla 4* es difícil de interpretar porque incluye valores acumulativos en forma ascendente, pero han sido cotejadas con otras fuentes).

Un reactor hipotético de 1,000 Mega Watt (MW) consume 1,100 t de uranio enriquecido al 4%, durante los 40 años de vida útil –carga inicial 100 t más las recargas anuales que son del orden de  $\frac{1}{4}$  de carga total–. Para obtener una tonelada de Uranio enriquecido al 4% se requieren 7.7 toneladas de uranio natural. Para obtener un enriquecimiento del 5% se requieren 8.6 toneladas. La carga completa de los 1,100 t de U enriquecido al 4% se requieren 8,470 t de uranio natural y 9,460 kg enriquecido al 5%.

Tabla 4. Reservas de Uranio, identificadas razonablemente seguras e inferidas

Resource category	2017	2019	Change (1 000 tU) <sup>(a)</sup>	% change
<b>Identified (total)</b>				
<USD 260/kgU	7 988.6	8 070.4	81.8	1.0
<USD 130/kgU	6 142.2	6 148.3	6.1	0.1
<USD 80/kgU	2 079.5	2 007.6	-71.9	-3.5
<USD 40/kgU <sup>(b)</sup>	1 057.7	1 080.5	22.8	2.2
<b>RAR</b>				
<USD 260/kgU	4 815.0	4 723.7	-91.3	-1.9
<USD 130/kgU	3 865.0	3 791.7	-73.3	-1.9
<USD 80/kgU	1 279.9	1 243.9	-36.0	-2.8
<USD 40/kgU <sup>(b)</sup>	713.4	744.5	31.1	4.4
<b>Inferred resources</b>				
<USD 260/kgU	3 173.0	3 346.4	173.4	5.5
<USD 130/kgU	2 277.0	2 355.7	78.7	3.5
<USD 80/kgU	799.9	763.6	-36.3	-4.5
<USD 40/kgU <sup>(b)</sup>	344.4	335.9	-8.5	-2.5

(a) Changes might not equal differences between 2017 and 2019 because of independent rounding. (b) Resources in the cost category of <USD 40/kgU and <USD 80/kgU should be regarded with some caution since some countries do not report low-cost resource estimates, mainly for confidentiality concerns, whereas other countries that have never, or not recently hosted uranium mining may be underestimating mining costs.

*Tabla 4. Reservas de Uranio, identificadas razonablemente seguras e inferidas.*  
Fuente: Uranium 2020. Production and Demand, DEA, No 7755, OECD 2020.

Dividiendo las reservas entre los requerimientos de un reactor típico de 1,000 MW, se puede verificar que, con el total de las reservas identificadas (8.07 Mt), tan sólo se podría abastecer du-

rante 40 años, el equivalente a 952 reactores con enriquecimiento del 4% u 853 reactores con enriquecimiento del 5%.

Ese número de reactores es apenas 2.25 y 2.0 veces superior a la capacidad de todos los reactores que hay en operación, que generan el 4% del total de energía que se consume en el mundo. Así que, las reservas totales sólo permitirían producir entre 9.07% y 10.12% del total de energía que se consumió en el 2022 a nivel mundial, y sólo durante 40 años.

Estos datos revelan que la energía nuclear no es una alternativa al 100%, para sustituir las fuentes fósiles. Tampoco es una solución inmediata, porque poner en operación del orden de 900 nuevos reactores es una tarea titánica. Y, aquí entra el problema del *uranio enriquecido*.

El uranio natural contiene tres tipos diferentes de isótopos. El más abundante es el  $U^{238}$  el cual tiene una proporción de 99.283%, le sigue el  $U^{235}$  cuya proporción es de 0.711% y finalmente hay trazas de  $U^{234}$  (0.0056%). La *Figura 15* muestra las cantidades de los isótopos, contenidas en una tonelada de uranio natural.

Para que la reacción en cadena se pueda auto-sostener es necesario aumentar la proporción del  $U^{235}$ . Tal proceso se llama *enriquecimiento* o más precisamente separación isotópica. La dificultad de la separación del  $U^{235}$  del  $U^{238}$  radica en que las propiedades químicas de ambos isótopos son iguales, por tanto, la separación no puede realizarse por medios químicos.

El Enriquecimiento es un proceso mediante el cual se aumenta la proporción de un cierto isótopo. Para ello, se aprovecha la diferencia de masas entre los isótopos. A nivel industrial se han desarrollado dos métodos de separación, difusión gaseosa y centrifugación. Hay un método más en desarrollo que utiliza láser, pero está lejos de alcanzar un nivel de producción industrial.

Ambos procesos –difusión gaseosa y centrifugación– consumen enormes cantidades de energía. La difusión gaseosa consume 250 kWh por unidades de trabajo separativo (SWU), mientras que la centrifugación, de desarrollo más reciente, consume 50 kWh/SWU. Justamente, debido al enorme consumo de electricidad, en el 2012 se paró la última planta de difusión de

Francia, que era alimentada por cuatro reactores nucleares de 915 MW de potencia. De cualquier manera, la centrifugación, aunque consume la 5ª parte de la energía respecto a la difusión gaseosa, es altamente consumidora de energía. De tal forma que el precio del enriquecimiento representa la mitad del precio del combustible de los reactores nucleares (Tabla 5).

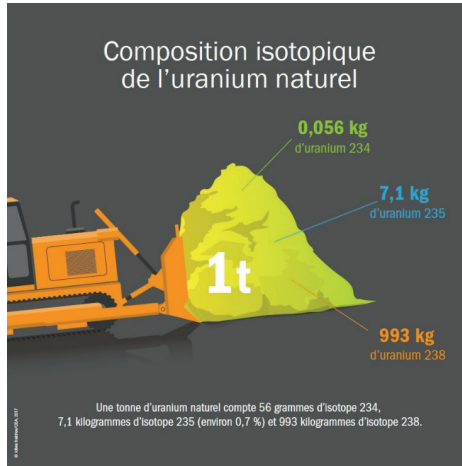


Figura 15. Composición isotópica de una tonelada de uranio natural.  
Fuente: CEA, L'ESSENTIEL SUR... L'uranium. <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/radioactivite/essentiel-sur-uranium.aspx>

Más del 90% de la electricidad que generan los reactores nucleares utilizan uranio enriquecido. A gran escala, hay en el mundo 6 o 7 compañías que enriquecen el uranio, un proceso que es relativamente lento. La capacidad mundial de enriquecimiento es de 60 millones de unidades de trabajo separativo (SWU) por año, de las cuales el 46% de la capacidad la tiene la compañía Tenex de Rusia.

La demanda mundial de enriquecimiento de uranio es del orden de 50 millones de unidades de separación (SWU) para los reactores actualmente en operación o en construcción; o sea que sólo hay un excedente de 16%. Una regla de tres permite ver que con eso se podrían instalar y abastecer 75 reactores más por año y obviamente no se podrán instalar los 900 reactores a corto plazo. O habría que multiplicar la capacidad mundial de enriqueci-

miento, reto titánico, que requerirá un financiamiento enorme y cantidades enormes de electricidad. O sea que la energía nuclear no es solución sencilla y menos para mañana.

Si las reservas de uranio se reducen a las actualmente reportadas es imposible que la energía nuclear sea una alternativa para sustituir los combustibles fósiles. La Energía Nuclear seguirá siendo relativamente marginal y complementaria.

Process	Amount required	Cost per unit	Total Cost	Fraction of Processes		
				Front	Back	Total
<b>Fuel Front End</b>						
Mining U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> :	8.9 kg	\$120	\$1,068	43%		30%
Conversion:	7.5 kg U	\$13	\$98	4%		3%
Enrichment:	7.3 SWU <sup>1</sup>	\$150	\$1,095	43%		31%
Fuel fabrication:	1 kg		\$240	10%		7%
<b>Total Fuel In</b>			<b>\$2,501</b>	100%		71%
<b>Fuel Back End</b>						
Reprocessing <sup>2</sup> or long term disposal	1 kg		\$1,000		100%	29%
<b>Total Fuel Cycle</b>			<b>\$3,501</b>		100%	100%
<b>Fuel cost for front and back ends per MWh</b>				\$7.00	\$3.00	\$10.00

Tabla 5. Costo en dólares para las etapas del ciclo de combustible, para fabricar un kg de uranio enriquecido al 4.3% en el 2011. Fuente: Nuclear power and the fuel cycle. <http://www.onlineopinion.com.au/view.asp?article=1298>

Aunque, en efecto, las reservas de uranio no comprenden todo el uranio del mundo. Quedaría por explorar: la factibilidad de recuperar uranio del mar, exprimir las colas del enriquecimiento, reprocesar los combustibles gastados y recuperar y utilizar el Plutonio producido en los reactores nucleares, utilizar el Torio en reactores de cría para obtener U<sup>233</sup>, y luego, diseñar y construir reactores con U<sup>233</sup>, cosa que aún no se está haciendo.

En el agua de mar se dice que hay 4.5 miles de millones de toneladas de uranio, suficiente para alimentar 60 mil años el número actual de reactores (Fetter, 2009); un número impresionante. Pero, no hay proceso industrial disponible para recuperar uranio del agua de mar y es difícil imaginar la cantidad de energía e insumos que se tendría que utilizar para recuperar el uranio del agua de mar. Adicionalmente esto no excluiría el problema de enriquecer el uranio.

Cierto, se habla mucho de los Reactores Nucleares Modulares (SMR) por sus siglas en inglés –*Small Modular Reactor*–. Éstos son relativamente pequeños –de una capacidad menor a 300 MWe, más fáciles de construir y teóricamente más seguros–. En el 2023, había más de ochenta diseños de reactores modulares y proyectos de demostración, pero casi todos ellos aún sin terminar, sólo se sabe de dos SMR en operación. El primer SMR de gas de alta temperatura se conectó a la red en China en 2021. El segundo opera en Pevek, en el Lejano Oriente de Rusia, a partir de octubre de 2022.

Pero, los SMRs no implican un aumento neto en la capacidad instalada de reactores de fisión, sólo implican fragmentar la capacidad de producción, es decir, aumentar el número de reactores, pero la capacidad de producción está limitada a la cantidad de reservas de uranio y a la capacidad de su enriquecimiento. La única ventaja que pueden traer los SMRs es la de abreviar los tiempos de instalación, si llegaran a una etapa comercial. Sin embargo, uno de los temores con el desarrollo de los SMR es cómo controlar la proliferación nuclear.

### 13.1 Plutonio como combustible de los reactores MOX

El  $Pu^{239}$  es un isótopo fisil que también puede utilizarse como combustible en los reactores nucleares, pero no existe en la naturaleza; es generado en los reactores de fisión por reacciones de captura de neutrones por el  $U^{238}$ . Al capturar un neutrón se forma el núcleo compuesto  $U^{239}$ , que es altamente inestable y decae a  $Np^{239}$  emitiendo una partícula beta, la cual también es inestable y decae a  $Pu^{238}$  emitiendo otra partícula beta, Esto es:



En efecto, es más fácil recuperar el  $Pu^{239}$  de los combustibles gastados que enriquecer el uranio natural o las colas del enriquecimiento del uranio. Y, de hecho, recuperar el plutonio, es una actividad industrial dominada en varios países y de hecho se ha utilizado en combinación con uranio en reactores MOX durante décadas. Pero su uso se ha ido desacelerando. Sin duda fue

parte de la contracción en el desarrollo de la industria nuclear después del accidente de Fukushima, pero puede haber otros factores decisivos. Uno de ellos es que la industria transformadora es muy cara porque hay que separarlo de los residuos nucleares de los combustibles gastados, los cuales son altamente radiactivos y precisamente los problemas de seguridad radiológica encarecen el proceso.

Ante un muy probable repunte de la energía nuclear, es evidente que la producción de residuos nucleares aumente y con ello el problema de la seguridad de dichos residuos se volverá más crítico. La alternativa más viable es reprocesar los residuos en lugar de confinarlos en depósitos o formaciones geológicas que requerirán seguimiento durante cientos de años y el destino es verdaderamente incierto. En el reprocesamiento se recupera el plutonio para su uso como combustible en reactores nucleares. De esta manera su utilización abatirá los costos de reprocesamiento y reduciría los desechos nucleares de larga duración. Para ello, sería muy importante aumentar la capacidad de reprocesamiento de residuos nucleares.

La mayor parte del  $Pu^{239}$  generado en los reactores nucleares permanece en las piscinas de decaimiento de los combustibles sin ser recuperado. Ciertamente podría ser utilizado para alimentar los reactores de cría. Pero no existe propiamente un inventario del plutonio generado por la industria nuclear.

El Instituto de Energía (NEI, 2010) y Feiveson (2011) coinciden en establecer que hasta 2009 se habían generado 240,000 t de residuos. Con los datos del PRIS, (Figura 11) se puede estimar que hasta 2009 el número total de reactores nucleares había generado unos 65,500 TWh y entre 2010 y 2023 se generaron 32,500 TWh adicionales. Si hasta 2009 los residuos de las centrales nucleares eran 240,000 toneladas, proyectando la cantidad de residuos en relación con la energía producida en los últimos 13 años, se puede concluir que la cantidad de residuos aumentó en el orden de 120,000 toneladas adicionales. Por tanto, el total de residuos de toda la historia de la energía nuclear debe ser del orden de 360,000 toneladas.

Suponiendo que esa cantidad no es precisa y que los residuos nucleares puedan ser del orden de 400,000 toneladas y que

ellas contengan entre un 0.6% y un 0.7% de plutonio, se puede concluir que debieron producirse entre 2400 y 2800 toneladas de plutonio.

La carga de  $U^{235}$  contenida en un reactor típico de 1000 MW enriquecido al 5% es del orden de 5 toneladas, y durante sus 40 años de vida, pasan a través del reactor, 55 toneladas de  $U^{235}$ . Sin embargo, se sabe que en los reactores MOX, para alcanzar un equivalente al 5% de enriquecimiento de  $U^{235}$  se utiliza un 8% de Pu. Esto significa que los reactores MOX en lugar de  $U^{235}$  tienen en cada reactor típico 8 toneladas de plutonio. Y a lo largo de su vida, con  $\frac{1}{4}$  de recarga anual, debe requerir 88 t de Pu.

Por tanto, con las 2400 toneladas o 2800 toneladas se podrían alimentar entre 27 y 32 reactores adicionales en los 40 años de vida útil.

No es una cantidad enorme, pero si bien el reprocesamiento es costoso, es una forma de reducir o eliminar los desechos de larga duración y, por lo tanto, es una forma de minimizar los niveles de radiación, especialmente en el futuro.

Aunque esta cuantificación de los inventarios de plutonio puede distar de la realidad, el ejercicio demuestra que, si bien el potencial del plutonio no es muy grande, no es en modo alguno despreciable.

El inventario de  $Pu^{239}$  podría aumentar sustancialmente si se utilizará el uranio  $U^{238}$  de las colas del enriquecimiento para convertirlo en plutonio. Pero para ello habría que destinar reactores exclusivamente para producir plutonio, lo cual a simple vista no sería recomendable, entre otras cosas porque son imprevisibles los costos de producción del plutonio.

### 13.2 Reactores de Cría

Se dice que una alternativa para incrementar la capacidad instalada de los reactores de fisión son los Reactores Rápidos de Cría –cuyo combustible es una combinación de  $Pu^{239}$  y uranio  $U^{238}$  y teóricamente producirían tanto combustible como el que gasten–.

Pero, después de 50 años, el diseño de los reactores de cría prácticamente sigue estando en el papel y no ha llegado a la escala comercial. Hasta ahora sólo hay 3 reactores de cría operan-



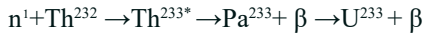
do en el mundo y no hay programas explícitos de construcción de más reactores de cría, porque no es una tecnología plenamente dominada.

Estados Unidos y Japón, el 23 de enero del 2023, firmaron un convenio para desarrollar combustibles para los reactores de cría. Lo que da cuenta de que los reactores de cría están muy lejos de alcanzar su nivel comercial.

Otro problema no menos crucial es el refrigerante. Se habla de que los reactores de cría pueden refrigerarse con sodio, e incluso con plomo. La tecnología del sodio, es la única que ha sido probada en los reactores Fénix y Super-Fénix de fabricación francesa, pero no ha podido consolidarse. Y el usar plomo, es meramente una utopía, tanto por el problema de las dificultades del bombeo del plomo como por la toxicidad del plomo. Al parecer, la única opción viable es usar gases inertes para la refrigeración, pero ésa es una tecnología que no se ha desarrollado en el mundo occidental, solo ha sido probada en la ex Unión Soviética.

### 13.3 El Thorio como precursor de combustible nuclear

De forma semejante al Pu<sup>239</sup>, el Torio-232 (Th<sup>232</sup>), que existe en la naturaleza, podría utilizarse para producir U<sup>233</sup>, que también es un isótopo físil y potencialmente puede utilizarse como combustible nuclear. La reacción de cría del es:



Pero esta tecnología está aún más lejos de consolidarse. Primeramente habría que destinar reactores exclusivamente para producir . Y habría que desarrollar el diseño y la construcción de reactores que utilicen ese combustible; los que no necesariamente serán similares a los reactores convencionales.

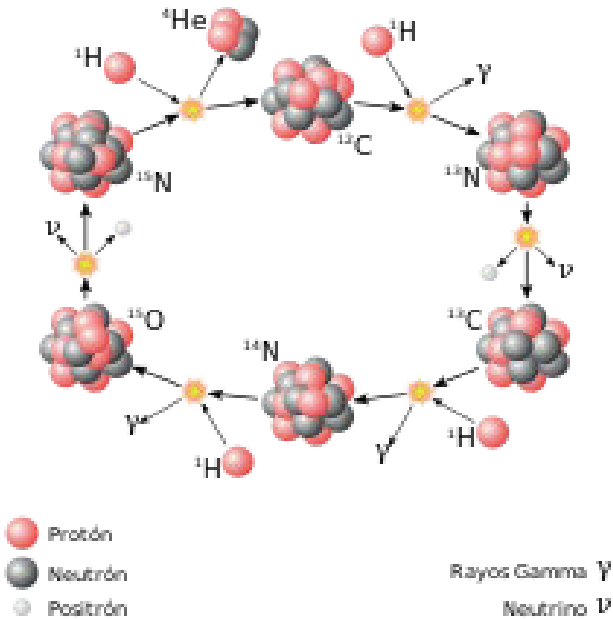
Conclusión, la energía nuclear seguirá siendo complementaria y prácticamente marginal.

Parece evidente que, por décadas, seguiremos dependiendo de los combustibles fósiles y seguirán aumentando los GEI. Por tanto, se justifica combatir tanto el consumo excesivo de energía como el consumismo y repensar la economía mundial.

## 14. Fusión Nuclear, 70 años de utopía

Hasta los años 30 del siglo XX no se entendía la forma en que se generaba energía en el interior del sol y las estrellas. No había reacción química con la potencia suficiente para explicar la generación de temperaturas de millones de grados centígrados.

En 1929 Atkinson y Houtemans plantearon la posibilidad de obtener energía de las reacciones de fusión. En 1932 Mark Oliphant teorizó sobre la fusión de núcleos ligeros de hidrógeno. En 1938 Hans Bethe logró explicar el funcionamiento de las estrellas mediante reacciones de fusión, con el ciclo CNO para estrellas más pesadas que el sol (*Figura 16*). Posteriormente se descubrió el ciclo protón-protón para estrellas de menor masa, como el sol (*Figura 17*).



*Figura 16. Ciclo CON dominante en estrellas más viejas que el Sol.*

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fusi%C3%B3n\\_nuclear#/media/Archivo:CNO\\_Cycle.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Fusi%C3%B3n_nuclear#/media/Archivo:CNO_Cycle.svg)

Reproducir en la Tierra las reacciones de fusión nuclear que dan lugar a la actividad de las estrellas, requiere reunir condiciones parecidas, es decir, una densidad del plasma elevado, una temperatura elevada y un tiempo de confinamiento continuo. Como la densidad del plasma no se puede igualar a la de las estrellas son necesarias temperaturas muy superiores. Mientras que en la superficie del sol la temperatura es de 6,000 °C, el proyecto ITER, el Tokamak más grande en construcción, requiere 150 millones de °C. Por tanto, la ignición de un plasma requiere cantidades enormes de energía. En los años 1940, como parte del proyecto Manhattan, se estudió la posibilidad de usar una bomba nuclear para la ignición del plasma.

En 1949, la Unión Soviética realizó su primer ensayo nuclear e hizo explotar su primera bomba atómica, RDS-1 o Joe-1. Este evento provocó que en 1950 el presidente estadounidense, Harry S. Truman, anunciara el comienzo del proyecto *Operation Ivy* o Hiedra, con el objetivo de construir una bomba basada en la fusión, la bomba de hidrógeno. Bastaron dos años para su desarrollo y el 31 de octubre de 1952 se probó la primera bomba de hidrógeno, con nombre en clave «Mike»; con una potencia equivalente a  $10.4 \times 10^9$  kg de TNT (10 Mega ton de TNT).

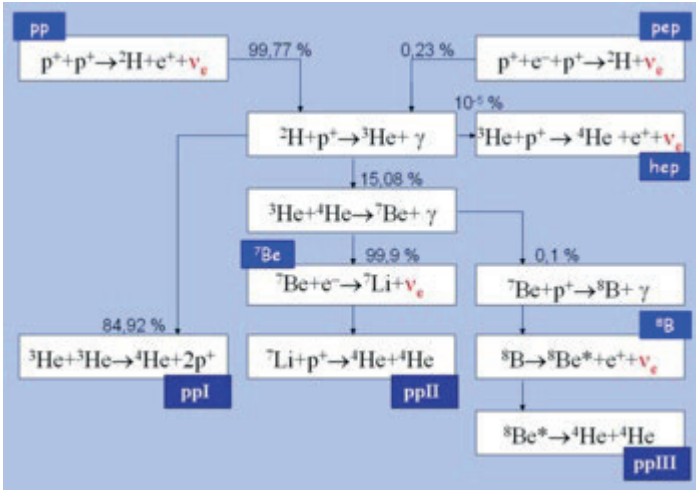


Figura 17. Generación de neutrinos solares en las cadenas protón-protón.  
Fuente: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Proton\\_proton\\_cycle.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Proton_proton_cycle.png)

El 30 de octubre de 1961, la Unión Soviética hizo estallar la bomba *Zar*, la más potente en la historia, con potencia equivalente a 50 millones de toneladas de TNT (50 Megaton).

Pero una cosa es hacer estallar una bomba y otra controlar las reacciones de fusión. En 1946 se patentó el primer diseño de un reactor termonuclear. En 1951 comenzó el programa de fusión de Estados Unidos, sobre un diseño llamado *Stellarator* (toroide de estado estable sin corriente de plasma).

En 1955, John D. Lawson describió las condiciones necesarias para alcanzar la ignición de un reactor de fusión controlado, a estas condiciones se les llamó los criterios de Lawson. En sí, establecen que la ignición del plasma requiere que el triple producto entre la densidad del plasma, su temperatura y el tiempo de confinamiento sea superior a  $3 \times 10^{21} s m^{-3} keV$ .

El plasma tiene temperaturas muy elevadas y por esta razón no puede ser confinado en una vasija, pues cualquier contacto con la pared fundiría los materiales y bajaría la temperatura del plasma. Por ello se ha decidido usar campos magnéticos para confinar y aislar térmicamente el plasma.

En 1956, la Unión Soviética desarrolló el primer prototipo de reactor de fusión, el Tokamak (**T**oroidal **K**ámara **M**agnitnaya en ruso, o cámara toroidal con bobinas magnéticas). Pero, hasta 1968, se logró la primera reacción termonuclear cuasi-estacionaria, demostrando ser el diseño más eficiente conseguido hasta esa época, Un tokamak es una cámara toroidal que utiliza un fuerte campo magnético toroidal,  $B\phi$ , para contener un plasma de alta temperatura dentro del toro.

En 1962 se propuso otra técnica para la ignición basada en el uso de láser para conseguir una implosión en pequeñas cápsulas llenas de combustible nuclear. Sin embargo, hasta la década de 1970 no se desarrollaron láseres suficientemente potentes.

El primer tokamak importante fue el T-3, construido en el Instituto Kurchatov, en Moscú en la década de 1960. Tenía un radio menor de 15 cm, un radio mayor de 100 cm, un campo magnético toroidal de 15 kG (1,5 T) y transportaba una corriente de plasma de 100-250 kA.

Después de la primera Conferencia Internacional de Reactores de Fusión de 1969, en Culham Inglaterra, se llevaron a cabo más

de 50 estudios conceptuales de diseño de plantas de energía en los Estados Unidos, la UE, Japón, Rusia y China.

Unos veinte años más tarde se construyó el *Joint European Torus* (JET) a un costo de alrededor de 200 millones de libras esterlinas (£), en Culham en Oxfordshire, UK. La sección transversal del toro en JET tiene forma de D, con un ancho horizontal de 2,4 m y una altura de 4,2 m. El JET logró alcanzar la mitad de temperatura requerida para producir un plasma y el producto triple llegó a ser  $8,7 \times 10^{20} \text{ s m}^{-3} \text{ keV}$ .

Un problema crucial ha sido la *ignición*. Un método alternativo propuesto ha sido la de microexplosiones termonucleares. Para ello se construyeron el NIF (*National Ignition Facility*, estadounidense) y el LMJ (*Láser Megajoule*, francés) que persiguen el mismo objetivo.

Existen diversos tipos de reacciones de fusión nuclear que producen suficiente energía y pueden hacer posible la fusión. La más factible es deuterio tritio (D-T) debido a que presenta mayor sección eficaz para temperaturas bajas, y mayor rendimiento energético. El deuterio se puede extraer del agua mientras que el tritio puede producirse a partir del litio. Como resultado de la reacción de fusión se produce un núcleo de helio (o partícula alfa) y neutrones. Esto es:



La energía de la reacción se reparte en proporción del 20% para la partícula alfa y el 80% para el neutrón.

Después de miles de millones de dólares de financiamiento para la investigación y desarrollo, la fusión sigue teniendo básicamente los mismos problemas que en su origen: cómo mantener confinado el plasma, cómo mantener un cierto número de reacciones de fusión en forma continua y cómo extraer el calor generado por las reacciones de fusión.

El desafío tecnológico más apremiante es el desarrollo de materiales que soporten y disipen grandes temperaturas y cargas térmicas. La potencia generada teóricamente se disipa en una estrecha región del reactor llamada el divertor. La necesidad de soportar grandes cargas caloríficas lleva a la necesidad de desa-

rollar materiales de primera pared y sistemas de disipación de energía.

Los materiales no sólo deben ser resistentes a la temperatura, a su vez deben ser resistentes a las condiciones extremas de irradiación neutrónica y en particular a la interacción con los neutrones generados, los cuales tienen una energía de (14 MeV) y teóricamente implican fluencias del orden de  $1 \times 10^{20}$  n/s . El comportamiento de los materiales expuestos a estas condiciones es todavía desconocido.

Los materiales estructurales deben tener alta conductividad térmica y baja sección transversal o baja probabilidad de producir reacciones con los neutrones rápidos generados. Y los productos de las reacciones con los neutrones deberán tener vida media-corta o media para evitar la necesidad de depósitos permanentes de residuos nucleares.

Adicionalmente, no está resuelto el diseño de un sistema de abastecimiento de tritio. Un reactor requiere del orden de 0.4 kg de tritio por día. Éste se tiene que producir al instante a partir del litio mediante reacciones nucleares con neutrones.

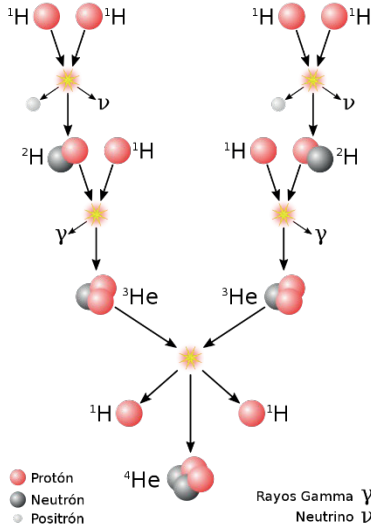
Tampoco está resuelto el problema de las inestabilidades del plasma. Ni está resuelto el problema de la extracción del calor.

Para inducir el plasma se requieren cantidades enormes de energía –para precalentar el plasma, para la ignición de las reacciones de fusión y para generar los campos magnéticos toroidal y poloidal, encargados del confinamiento del plasma–. A gran escala se requiere un reactor nuclear de fisión para arrancar un reactor de fusión. Pero ciertamente algo alentador es que, el 13 de diciembre 2022, el laboratorio Nacional Lawrence Livermore en California, anunció que, por primera vez, se logró producir más energía que la consumida.

En teoría la fusión nuclear es fascinante, pero, después de 70 años de investigaciones y de enormes inversiones, los retos tecnológicos siguen siendo abismales. Los más optimistas consideran que la fusión se puede dominar a la vuelta de 30 años. De tal manera que no se puede contar con la fusión como una alternativa energética en menos de tres décadas, si es que los optimistas tienen razón.

## 15. El Hidrógeno ¿el energético del futuro?

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo. En las estrellas es el precursor de las reacciones de fusión (*Figura 18*). Su composición depende de la edad de la estrella, en el caso del sol, el hidrógeno constituye el 75% de la masa visible.



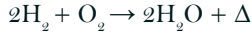
*Figura 18. La reacción protón-protón en cadena, dominante en estrellas del tamaño del sol o menores.*

*Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fusi%C3%B3n\\_nuclear](https://es.wikipedia.org/wiki/Fusi%C3%B3n_nuclear)*

En la Tierra el hidrógeno  $H_2$  representa apenas el 0.9% de la masa total del planeta. La mayoría de los átomos de hidrógeno son componentes de moléculas de agua, hidrocarburos, materia viva, compuestos orgánicos e infinidad de compuestos químicos.

La forma de  $H_2$  prácticamente no existe en la naturaleza, es un gas muy ligero o de muy baja densidad molecular. En la atmósfera el  $H_2$  sólo se encuentran trazas (0.00005%). Por ser tan ligero se eleva en la atmósfera, reside en la ionosfera y ocasionalmente escapa hacia el espacio exterior.

En forma de molecular el  $H_2$  puede reaccionar en forma violenta con el oxígeno ( $O_2$ ) formando agua y liberando energía:



La combustión del hidrógeno produce 141.9 KJ de energía por kg –entre 3 y 3.2 veces más energía que las gasolinas y gas natural– y dado que produce agua en forma de vapor es más benévolo con el medio ambiente.

Puede reaccionar también con el nitrógeno para formar amoníaco:



El hidrógeno es indispensable para la sociedad moderna, pero no se considera propiamente un energético, se le considera un *vector energético* por su utilidad industrial como materia prima y eventualmente como energético.

La mayor parte de la producción mundial de hidrógeno se utiliza en la industria petrolera y en la producción de fertilizantes. En la industria petrolera se utiliza en el cracking del petróleo, proceso en el cual los hidrocarburos de cadenas largas del petróleo sin refinar se convierten en gasolinas. En la industria de los fertilizantes se utiliza para la producción de amoníaco, el cual es precursor de los fertilizantes que, como se sabe, son indispensables en la agricultura para ayudar a la naturaleza a proveer de suficientes alimentos a toda la población mundial. Otros usos industriales son la producción de grasas saturadas, de metanol y de ácido clorhídrico.

El hidrógeno se puede producir a partir de diferentes materiales y por diferentes métodos. Dependiendo del origen hay todo un espectro de clasificación del hidrógeno por colores. El hidrógeno *negro* se produce por gasificación de carbón –por cada kg de hidrógeno se producen 20 kg de  $\text{CO}_2$ , de ahí la denominación: negro, porque no es nada verde–. El hidrógeno *gris* se produce a partir de gas natural, preferentemente metano, por reformado con vapor de agua –se producen 9 kg de  $\text{CO}_2$  por kg de  $\text{H}_2$ –. El hidrógeno *azul* se obtiene por reformado de gas metano, de manera semejante al gris, pero con un sistema de captura de  $\text{CO}_2$ . El hidrógeno *rosa* se puede producir con la electricidad sobrante de las plantas nucleares. El hidrógeno *verde* se obtiene por electrolí-



sis del agua, pero necesita cantidades enormes de electricidad, y para que realmente sea verde, debe producirse mediante fuentes limpias –hidráulica, eólica, solar y nuclear– es decir, no se debe liberar  $\text{CO}_2$  en ninguna etapa de la producción, cosa que no es muy segura.

Recientemente se habla del hidrógeno *blanco* que se formó en forma natural en el subsuelo de manera semejante al gas natural y no necesita proceso de producción industrial. Ese hidrógeno indiscutiblemente sí es verde. En Francia, Australia, Estados Unido y Mali, se dice, hay yacimientos de hidrógeno blanco.

En virtud de que la industria petrolera seguirá siendo indispensable por décadas y la demanda de fertilizantes seguirá en aumento, indudablemente, la demanda industrial de hidrógeno en el mundo seguirá creciendo.

La demanda será aún mayor si prospera el transporte impulsado por hidrógeno, es decir, a medida que sea factible reemplazar, la gasolina, el gas natural y el diésel por hidrógeno en los motores de combustión interna.

Honda, Daimler, Ford Motor Company, General Motors, Hyundai, Kia Motors, Renault, Nissan y Toyota están desarrollando proyectos relacionados con los vehículos de hidrógeno. Aunque, teóricamente, se supone que es una tecnología parecida a la de los motores de gas aún hay muchos problemas técnicos sin resolver, tanto así que Toyota ha preferido dedicar todos sus esfuerzos a los automóviles eléctricos y dejar en pausa la tecnología del hidrógeno.

De acuerdo a las leyes de la Termodinámica, sin excepción, en cada etapa de conversión de energía hay pérdidas de eficiencia. En la producción de electricidad las pérdidas de energía son del orden del 60% o más. Luego, si se utiliza la electricidad para obtener hidrógeno por electrolisis, la eficiencia es del 30%. Y si, posteriormente, se va a usar el hidrógeno como combustible volverá a haber pérdidas del 60%.

En la combustión interna impulsada por hidrógeno, además de pérdidas por eficiencia, tiene la desventaja de que todavía no se encuentra la manera de almacenar a bordo suficiente hidrógeno para alcanzar la autonomía de los autos de gasolina (más de 400 kilómetros por tanque). Adicionalmente, la combustión

del hidrógeno no es totalmente benévola con el medio ambiente; debido a las altas temperaturas de las cámaras de combustión, el nitrógeno del aire se oxida y produce óxidos de nitrógeno (NOx), que son los precursores de la formación de ozono troposférico que, como se sabe, es altamente tóxico. Adicionalmente, el hidrógeno tiene que licuarse y no está resuelto el problema de fugas, durante su almacenamiento y transporte, y por el momento es una tecnología muy cara.

El proceso más eficiente de obtención de electricidad a partir del hidrógeno es mediante las llamadas *celdas o pilas de combustible* (59%) que aún están en desarrollo. Éstas, a simple vista, son mejor opción que la combustión interna. Sin embargo, los prototipos de automóviles alimentados por celdas de combustible aún no tienen la potencia que los automovilistas esperan, porque la rapidez de producción de electricidad mediante celdas es relativamente lenta. Un problema adicional, para que el hidrógeno llegue a ser utilizado como combustible en los automóviles, es que antes habrá que construir una red de estaciones de reabastecimiento de hidrógeno.

Además, para que el hidrógeno realmente sea una alternativa verde sería indispensable que fuera producido estrictamente mediante fuentes limpias, para evitar emisiones de CO<sub>2</sub>. Pero el 60.6% de la electricidad del mundo se produce mediante combustibles fósiles —el 35.4% mediante carbón, el 22.7% mediante gas natural y el 2.5% mediante petróleo—. Así que es poco probable que la electricidad que se utilice en la electrolisis de agua para producir hidrógeno provenga de fuentes limpias. O sea que, lo más seguro es que el hidrógeno verde sea verde-oscuro.

En síntesis, la comercialización del H<sub>2</sub> para su uso en el transporte no está a la vuelta de la esquina.

Pero, en los medios, hay muchas notas periodísticas presentando al hidrógeno como el energético del futuro. En marzo 2023, en el *Periódico de la Energía* se publicó una nota donde decía que un grupo de investigadores australianos habían logrado producir hidrógeno a partir del agua de mar por electrolisis con una eficiencia cercana al 100%. Esto se contrapone con las leyes de la termodinámica y en la literatura científica se asegura que la electrolisis es el procedimiento más caro y menos eficiente de

producir hidrógeno. Así que, no se debe creer esa noticia mientras no sea publicada en una revista científica o el método no sea patentado.

En un artículo publicado en la revista *Global Energy*, el 13 de septiembre 2023, se presentan las proyecciones para México de la compañía alemana *Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) que dicen que México podría instalar 22 Tera Watt de capacidad de electrolisis y producir hasta 1400 millones de toneladas de hidrógeno para el 2050, con un costo nivelado promedio (¿?) de 1.4 dólares por kg de  $H_2$  mediante energía fotovoltaica y hasta 1.8 dólares/kg de  $H_2$  por energía eólica.

*El Periódico de la Energía*, el 27 de octubre 2023, difundió la noticia de que las empresas Gasunie de Holanda y Cepsa de España habían iniciado la construcción de una red de “hidrógeno verde” de 1,200 km para conectar a Róterdam con los principales industriales de Países Bajos, Alemania y Bélgica. Pero no se trata propiamente de una red para transporte de hidrógeno sino de amoniaco y etanol.

Las campañas de promoción del hidrógeno, envueltas en datos, cifras difíciles de interpretar, están preñadas de mentiras y confusiones, sin duda intencionales. En este caso anterior, aunque se utiliza hidrógeno para producir amoniaco y metanol, estos productos son simplemente materias primas, pero evidentemente su uso no será energético.

La producción de hidrógeno como energético seguramente es el último de los objetivos de la publicidad en torno al hidrógeno. Todo parece indicar que se trata de explotar el término *verde* o generar corinas de humo, simplemente con fines publicitarios y comerciales. A la luz del desarrollo actual el hidrógeno como energético tiene muchos inconvenientes, entre otros: la gran producción de emisiones y los altos costos.

Ciertamente, si se tuviera un *excedente de producción de electricidad* mediante fuentes limpias, una opción sería producir hidrógeno; pero no sería la única opción ni tal vez la más eficiente. Una opción más eficiente sería almacenar la energía proveniente del excedente de electricidad en el bombeo y almacenamiento de agua, para reusarse en riego o con fines domésticos e industriales o para producir electricidad mediante siste-

mas hidráulicos, que son más eficientes que la producción por combustión. Y en caso de producir hidrógeno es más eficiente utilizarlo para producir amoníaco, ácido clorhídrico, metanol o usarse en celdas de combustible, que para volver a producir electricidad.

En realidad, la industria eléctrica no tiene excedentes de producción de electricidad, simplemente responde a la demanda. La producción de electricidad en el mundo en el 2022 aumentó tan sólo 2.3% y el 60.6% provino de fuentes fósiles. Y si en su mayoría proviene de fuentes fósiles sería irracional y antiecológico generar excedentes de electricidad tan sólo para generar hidrógeno.

Las fuentes limpias tampoco generan excedentes de producción de electricidad. Si así lo fuera, lo racional sería utilizar ese supuesto excedente para reducir la generación de electricidad con fuentes fósiles y no para producir hidrógeno.

¿Cuál es entonces el interés de exagerar la publicidad del hidrógeno? A priori, podría decirse que se trata de generar una corriente de opinión para presionar a los gobiernos o ilusionar a inversores a enrolarse en una empresa con un futuro tan incierto que en la misma Unión Europea todavía no se confía.

## 16. La neutralidad carbón y la utopía eléctrica

La meta de la Conferencias de Partes de París del 2015 (COP 21) –*neutralidad carbón* (*net zero* en inglés)– significa que el balance entre las emisiones de CO<sub>2</sub> deben ser iguales a la destrucción, secuestro y retención del CO<sub>2</sub>, bien sea en forma natural o con medios tecnológicos. Se asume que si se siguiera esa consigna no se acumularían más GEI en la atmósfera, la elevación de temperatura de la Tierra se mantendría por debajo, en 1.5 °C antes del fin del siglo, y se contendrían los cambios climáticos.

Sin embargo, hay que hacer notar que la *neutralidad carbón* implica que no se acumularían más GEI, pero eso de ninguna manera implica que se destruirían mágicamente los que ya están en la atmósfera; por tanto, no se aseguraría que se detendría el calentamiento global.

Ocho COP's se han sucedido después de París 2015 y las concentraciones de los GEI en la atmósfera siguen aumentando.

¿Cómo cumplir la meta neutralidad carbono? Se asume, reduccionistamente que la neutralidad se lograría si todo el transporte fuera eléctrico. Habría que agregar que, además, sería necesario que toda la electricidad se produjera con fuentes limpias o libres de CO<sub>2</sub>. Pero ¿es posible que toda la electricidad se pueda producir con fuentes limpias?, luego ¿es posible que toda la tecnología pueda ser estrictamente eléctrica?, y ¿sería cierto que si todo fuera eléctrico no habría emisiones? Lamentablemente ninguna de las respuestas a estas interrogantes es afirmativa.

En el 2022, la electricidad que se consumió en el mundo ascendió a 29,165.1 *Tera Watt Hora* (TWh)<sup>7</sup>, equivalente a 105.0 EJ. El consumo de electricidad representó el 17.37% del consumo mundial de energía, el cual ascendió a 604.4 EJ. El **35.4%** de la electricidad que se consumió en el mundo se produjo con *carbón* —el más contaminante de los combustibles—; el **22.7%** se produjo mediante *gas natural*; el **14.9%** se produjo mediante plantas *hidroeléctricas*; el **14.4%** mediante *energías renovables*; el **9.2%** mediante *plantas nucleares* y el **2.5%** mediante *petróleo*. Esto es, 60.6% de la electricidad se produjo con fuentes que emiten CO<sub>2</sub>, el 39.4% mediante fuentes limpias ¿cómo hacer para que el 39.4%, se convierta en el 100%?

¿Cuánto han avanzado los protagonistas en materia de cambio climático?

Alemania —la cuarta potencia mundial, el cuarto productor de energías renovables, con todos sus aires de ambientalista y antinuclear— en el 2022 consumió 577.3 TWh de electricidad. De esta cantidad, el 45.6% fue producida con energías renovables, las cuales tuvieron un incremento del 10% en el año. Adicionalmente, Alemania produce el 29.4% de la electricidad con carbón, el 13.8% con gas natural y tan sólo el 6% con energía nuclear

7. *Tera Watt Hora (TWh)* son unas unidades de energía utilizadas preferentemente para dar cuenta de producción o consumo de electricidad, aunque en ocasiones se usan para todo tipo de energía.

1 TWh = 3600 Tera Joule (TJ) =  $3.6 \times 10^{15}$  J; 1 EJ =  $1 \times 10^{18}$  J. Por tanto 1 EJ = 277.77 TWh.

y el 3% con hidroelectricidad. Para enfrentar la crisis energética disminuyó la producción de electricidad con gas natural en 11.6%, pero, para compensar esa reducción, tuvo que aumentar la producción carboeléctrica en un 9.7%. Y a pesar de la crisis continuó con el cierre de plantas nucleares. Sumando, energías renovables, energía nuclear e hidroelectricidad las energías limpias aportaron el 54.6% de la electricidad. Esto parece muy alentador, sin embargo, Alemania consume tan sólo 2% de la electricidad del mundo y, como la electricidad representa tan sólo el 17.37% de la energía que se consume en el mundo, su contribución es tan sólo significativa.

En Europa –el continente “más preocupado por los cambios climáticos”–, en el 2022, el 26.7% de la electricidad se produjo mediante energías renovables, el 19.0% mediante plantas nucleares, el 19.7% mediante gas natural, el 16.7% mediante carbón, el 14.5% mediante plantas hidroeléctricas y el 1.3% mediante petróleo. Sumando energía nuclear, hidroelectricidad, y energías renovables aportaron el 60.4% de la electricidad, una cifra alentadora. Pero Europa consume apenas el 13% de la electricidad del mundo, 3,900.9 TWh, y recordando que la electricidad representa tan sólo el 17.37% del consumo global de energía. Por tanto, el impacto de Europa, aunque importante, es reducido.

Sería ideal que la electricidad se produjera por fuentes limpias. Pero eso aún es una utopía desde cualquier punto de vista que se vea.

Pero, aunque eso fuera posible, ahí no termina el problema, no se alcanzaría la neutralidad carbono, porque, entre otras cosas, el transporte en esencia es de combustión interna y habría que sustituirlo por autos y medios de transporte eléctricos, y eso haría que la demanda de electricidad se multiplicaría por dos. Adicionalmente habría que construir toda una infraestructura para esos nuevos autos y desechar, o en el mejor de los casos reciclar, todos los autos de combustión, cosa que demandarían una gran cantidad de energía y material, lo que no sería nada ecológico.

En resumen, si todos los autos que circulan actualmente fueran eléctricos, se necesitaría: 1) generar el triple de electricidad que se produce actualmente; 2) multiplicar el número de centrales eléctricas; 3) repotenciar las redes eléctricas y multiplicar el

número de estaciones y subestaciones y 4) instalar un número suficiente de centros o puntos de recarga, puesto que este número indudablemente deberá ser superior al número actual de gasolineras. Esto se debe a que la autonomía de los carros eléctricos es muy limitada. Aunque publicitariamente se dice que algunos modelos ya tienen una autonomía de más de 240 km, en realidad la autonomía promedio es del orden de 100 km; mientras que los autos de gasolina pueden tener una autonomía de entre 500 y 700 km.

Otra limitante del desarrollo de los autos eléctricos es la producción de baterías. Las reservas actuales de litio no son suficientes para dotar de baterías a la inmensidad de futuros autos eléctricos que se están pronosticando, habrá que estudiar el problema ecológico del reciclaje y depósito de desechos de baterías.

No es exagerar decir que es imposible producir con fuentes limpias el triple de la electricidad que actualmente se produce.

Por otro lado, la capacidad mundial para incrementar la producción de electricidad es muy pequeña, independientemente de si las fuentes son limpias o no. La electricidad que se consumió en el mundo en el 2022 ascendió a 29,165.1 TWh equivalente a 105 EJ. La producción de electricidad tuvo un incremento apenas de 2.53 EJ. Si en el 2022 el consumo mundial de energía ascendió a 604.4 EJ. A ese ritmo de crecimiento (2.53 EJ por año) serían necesarios 200 años tan sólo para que toda la energía fuera eléctrica sin que aumentara el consumo.

No, no hay solución fácil. Se nos siguen inventando espejismos. Se nos hace pensar que con sólo celebrar eventos como la COP's se está actuando contra los cambios climáticos, que la electricidad en sí es limpia, que los carros eléctricos son la solución, que el litio es el futuro, que plantando un árbol compensamos nuestra huella de carbono, cosas completamente falsas.

Cierto, tenemos que seguir viviendo y será inevitable utilizar energía e imposible evitar nuestra huella de carbono. Pero al menos debemos promover la conciencia sobre la deuda que le dejamos al planeta y a las futuras generaciones.

La única energía limpia es la que no se consume y, para reducir el consumo, habrá que combatir el consumismo.

## 17. El espejismo de la Transición Energética

Se ha denominado *transición energética* al periodo y/o proceso que, según eso, se está impulsando en el mundo para sustituir las fuentes fósiles –petróleo, gas natural, carbón biocombustibles y biomasa– por fuentes limpias o libres de CO<sub>2</sub> –renovables, hidroelectricidad y nuclear–.

El problema es que los combustibles abastecen el 83.15% de la energía que se consume en el mundo y las *energías limpias* aportan tan sólo el 16.85%. El reto es cómo convertir este 16.85% en el 100%.

Entre las *energías limpias*, las energías renovables crecen en forma espectacular y se apuesta mucho a ellas.

En lo que va del siglo (22 años de datos), prácticamente a partir de la nada, las *energías renovables* ya representan el 7.48% del consumo de energía mundial. Parece mucho, pero a ese ritmo (0.375% por año) su contribución llegará al 100% dentro de 290 años. Quiere decir que es imposible que las fuentes renovables por sí solas sean alternativas.

Y en conjunto ¿las fuentes limpias pueden ser la alternativa? Para ser alternativas, las fuentes limpias que aportan el 16.85% deberían multiplicarse por 4.93 para llegar al 100%. Pero ¿es esto posible?

La *hidroelectricidad*, aunque es la forma más barata de producir electricidad, no ha merecido gran atención y prácticamente no ha crecido. En el 2022 tuvo un incremento minúsculo de tan sólo 0.7%. Asia produjo el 44% y tuvo un incremento de tan sólo 2.3%. Pero debido a la sequía en Europa, el flujo de los ríos disminuyó y la hidroelectricidad se contrajo en 13.2%. De hecho, el flujo de los ríos llegó a bajar tanto que no hubo suficiente agua para enfriar las plantas nucleares y se tuvieron que parar decenas de ellas. En Panamá, las sequías han impedido que se rellenen los lagos que abastecen de agua las esclusas del Canal de Panamá y se llegó al punto en que más de 120 buques están en espera de poder pasar. O sea que el crecimiento de la hidroelectricidad depende fuertemente de los eventos meteorológicos o de los cambios climáticos. En Asia, donde las lluvias se han tornado torrenciales, la capacidad tal vez sí se pueda incrementar, pero es impredecible cuánto.



Y en cuanto a *Plantas o Reactores Nucleares*, si en 2023 hay en operación, en el mundo, 422 reactores nucleares por multiplicar por 4.93 sería necesario construir e instalar 1,970 reactores más. ¿Qué tan posible sería eso?

En el 2023 había en construcción 57 nuevas plantas nucleares. China, el líder, está construyendo 17 de ellas. A ese ritmo, para llegar a 1970 se requieren 33 años. Parece posible, pero hay una gran limitación, de la que poco se habla, las reservas de uranio. Se dice que en el agua de mar hay 3.3 miligramos por tonelada y en la corteza terrestre una concentración de 2 a 3 gramos por tonelada. Pero extraer del mar el uranio es más complicado que potabilizar el agua de la mina del Edén; y hasta pregunté ¿por qué no hay proyectos para potabilizar esa agua?

La realidad es que las reservas explotables de uranio no son ilimitadas. La minería del uranio está paralizada porque el precio es tan bajo que no es atractivo invertir en explotación. Un kilogramo de uranio vale de 40 a 260 dólares. El mercado también está contenido, porque se está utilizando uranio de las reservas estratégicas y del desmantelamiento de las armas nucleares obsoletas en Estados Unidos y Rusia. Y ciertamente es impredecible lo que pueda pasar a medida que se agote el uranio barato. Dependerá de la urgencia del mercado.

Los países con mayores reservas de uranio son Australia, Canadá, Estados Unidos, Kazajstán, Níger. Los países que más producen uranio son Kazajstán, Canadá, Namibia, Australia, Uzbekistán, Rusia y Níger.

De acuerdo a la OECD (2020) los inventarios de las reservas identificadas de uranio, ascendían tan sólo a 8.07 millones de toneladas (Mt), con todos los precios incluidos.

Un gran reactor de 1,000 Mega Watt (MW), durante 40 años de vida útil, consume 1,100 toneladas de uranio enriquecido. Pero, para obtener una tonelada de uranio enriquecido mínimo al 4% se requieren 7.7 toneladas de uranio natural. Así que para completar la carga total durante los 40 años se requieren 8 470 t de uranio natural.

Dividiendo las reservas totales (8.07 Mt) entre estos 8,470 t se puede verificar que, con el total de las reservas identificadas, tan sólo se podría abastecer 952 reactores, una cantidad

apenas 2,25 veces superior a la capacidad actual. Así que, la energía nuclear, aunque es la forma más estable e intensiva de producir electricidad no tiene capacidad de multiplicar su capacidad por las 4.93 veces que se requieren, porque la limitante es el uranio.

Un problema adicional es el enriquecimiento de uranio. Sólo hay en el mundo 7 compañías que enriquecen el uranio. La capacidad mundial de enriquecimiento es de 60 millones de unidades de trabajo separativo (SWU) por año y la demanda anual es del orden de 50 millones de SWU; así que sólo hay un excedente de 16%. Con ese excedente se podrán abastecer 100 reactores más por año. El 46% de la capacidad de enriquecimiento la tiene la compañía Tenex de Rusia. Pero el mundo occidental declaró la guerra con Rusia. Habría que multiplicar la capacidad, lo cual representa otro reto titánico que requerirá un financiamiento enorme y cantidades enormes de electricidad.

O sea que, las fuentes limpias en su conjunto no pueden ser alternativas y el problema es más grande de lo que imaginamos. ¿Quién está haciendo que cosa para impulsar la transición energética?, porque las cosas no se hacen mágicamente. El único que induce cambios en el consumo mundial de la energía es el mercado, pero el móvil del mercado es la ganancia, no la conveniencia, ni la racionalidad.

Así que la transición energética es sólo un espejismo más.

## **18. Carácter estratégico de la Energía**

El papel estratégico de la energía no es para nada nuevo. El carácter estratégico del petróleo fue visualizado desde los inicios de su producción industrial. De hecho, desde los albores de la *fiebre del oro negro*, en 1959, el surgimiento del mercado del petróleo fue acompañado por la instrumentada, toda una estructura para garantizar el control absoluto del mercado desde el pozo hasta la bomba. Al principio eran pistoleros los encargados de la seguridad, medio siglo después se puso en evidencia que el petróleo era de importancia nacional y se dedicaron ejércitos, alianzas internacionales, diplomacia, sabotajes y hostilidades para garantizar el control del mercado.

Y siempre ha habido dos concepciones en disputa: la que considera que los recursos naturales le pertenecen a quienes tengan la posibilidad de explotarlos y la que considera que los recursos naturales son propiedad de cada nación. Para los primeros rige el concepto de *seguridad energética*, para los segundos la *soberanía energética*. A principios del siglo XX las compañías petroleras norteamericanas y británicas incursionaron en México y América Latina, las compañías británicas y holandesas en Indonesia y Medio Oriente y la Compañía Francesa del Petróleo, en el norte de África y Medio Oriente.

Mientras que unos países se apropiaban y usufructuaban el petróleo de otros países, otros países –entre ellos México– comprendieron el carácter estratégico del petróleo y lucharon por la expropiación a las compañías extranjeras. Estas dos visiones siguen rigiendo en el mundo, el de las compañías internacionales que explotan o pretenden explotar los recursos de otros y la de los países que reclaman soberanía sobre esos recursos.

La ola privatizadora de todo, de los años 80, hizo que poco a poco diversas compañías internacionales controlaran sectores estratégicos de la energía, como la producción de electricidad, el mercado del gas natural, la producción de energías renovables, la exploración y perforación de pozos petroleros, la instalación de plataformas petroleras...

Sin embargo, a raíz de la crisis energética del 2021–2022, en varios países europeos creció el cuestionamiento a la privatización de las empresas que habían incursionado en la energía. El detonador fue la escalada de los precios de la electricidad y del gas en Europa en el 2021.

La explosión de los precios de la electricidad tuvo como epicentro España. Las empresas eléctricas privadas, encabezadas por *Iberdrola*, incrementaron el precio de la electricidad en más del 500% –de facturas del orden de 60 € (1,500 pesos), por mes por familia en el 2018, llegaron hasta 315 € (7,800 pesos) en noviembre 2021–.

Iberdrola se re-fundó apenas en el 1992. Se ha dedicado a la generación, distribución, comercialización y comercialización de energía eléctrica. Sus áreas de influencia han sido España, Portugal, Reino Unido, México, Brasil y Europa Occidental. La

revista *Forbes* reportó que en el 2021 el capital de Iberdrola fue de 84.6 miles de millones de euros y sus ganancias de 37.8 miles de millones de euros. Éstas representan el 45% de su capital. ¿Cómo fue que a pesar de la crisis por el COVID se lograron tan altos “beneficios”?

Desde el 2013 Iberdrola fue denunciada en España por manipulación de los precios de la electricidad y el gas, pero hasta este año, 2022, comenzó a ser investigada por la Unidad Central Operativa de la Guardia Civil (UCO) y su gerente, José Ignacio Sánchez Galán, fue obligado a comparecer, acusado de haber bloqueado intencionalmente la producción de hidroelectricidad para imponer los precios de la electricidad en forma arbitraria. El gobierno de España, en lo inmediato, nada pudo hacer para someter a las empresas privadas y tuvo que aprobar un paquete de medidas, entre las cuales se destacaba la baja en los impuestos de las tarifas eléctricas y se prometía la confiscación de los beneficios “caídos del cielo” a las empresas que acapararon el mercado de la electricidad. Incluso se anunció la intención de la nacionalización de la industria eléctrica.

El aumento en los precios de la electricidad se propagó en toda Europa, porque las redes eléctricas están interconectadas y porque los precios de la electricidad se rigen por el mismo sistema de subasta, mediante el cual las empresas privadas, encabezadas por Iberdrola, controlaban el mercado de la electricidad en México.

Esto puso en evidencia que detrás del control de la electricidad había toda una estrategia maquiavélica.

Desde fines de noviembre 2021, a toro pasado, se tuvieron que tomar medidas para detener la escalada de precios.

En Reino Unido, el país donde hasta la educación y la salud son privadas, a fines de noviembre 2021 para detener la escalada de precios de la electricidad y el gas, el gobierno decidió nacionalizar la empresa *Bulb*, proveedora de electricidad y gas para 1,7 millones de consumidores.

En Francia en el 2014 *Electricidad de Francia* (EDF), empresa estatal, vendió la filial *Alstoms*, fabricante de turbinas para reactores nucleares, a la compañía norte americana *General Electric*. A inicios de febrero 2022, en busca de la reelección, el Presidente

Emmanuel Macron, quien 5 años antes fundó su campaña electoral en disminuir la dependencia en la energía nuclear, anunció la intención de recuperar o re-comprar *Alstom* y además la construcción de 10 nuevos reactores nucleares.

Y no sólo Macron, varios candidatos presidenciales, entre ellos de los partidos verdes que décadas pasadas fueron antinucleares, abrigaron la iniciativa de la construcción de 10 nuevas plantas nucleares, para garantizar el suministro de electricidad y recuperar la soberanía e independencia en materia de electricidad.

Francia desde el embargo petrolero, al no tener reservas ni de petróleo ni de gas, para no depender del exterior en materia de energía, optó por desarrollar la energía nuclear. De esta manera, por décadas fue autosuficiente en electricidad, llegando a generar el 80% de la electricidad por plantas nucleares y ser un exportador de electricidad a los países vecinos.

Tras la ola antinuclear después de Chernóbil, ya no programaron nuevos reactores nucleares. La catástrofe de Fukushima fue un segundo golpe a la energía nuclear. La ola antinuclear se intensificó. En Europa se cerró la puerta a la planeación y construcción de nuevas plantas nucleares y se programó el cierre progresivo de las centrales nucleares en operación.

En 2021, la sequía provocó que no hubiera suficiente agua para alimentar los reactores y a causa de ello se tuvieron que parar muchos de ellos. Por otro lado, los reactores se hicieron viejos, requiriendo mantenimiento cada vez más frecuente y sufriendo paros no programados, al tal grado que en el 2021 sólo estuvieron en operación 24 de sus 60 reactores.

Francia dejó de ser autosuficiente y tuvo que importar electricidad, de un mercado europeo controlado por compañías privadas. Ésa fue la causa del aumento de los precios de la electricidad en Francia, de la pérdida en su capacidad de producción y de independencia energética. Por tanto, ahora tienen que reformular su política energética, dándole vuelta a las páginas de la privatización de compañías estratégicas y a los movimientos antinucleares.

El Reino Unido ha lanzado un ambicioso plan para construir ocho nuevos reactores y 16 pequeños reactores modulares. In-

cluso la Alemania antinuclear ha cedido a las realidades energéticas y ha extendido la vida útil de las últimas tres plantas de energía nuclear en funcionamiento.

Japón, después de dos décadas de parálisis de sus reactores nucleares, ha anunciado planes de poner en operación muchos de sus reactores.

Todo esto nos dice que los temas “soberanía energética y seguridad energética” están re-cobrado relevancia a nivel mundial. Y a nivel político, muchos partidos han tenido que reconsiderar sus posiciones, incluyendo partidos que en el pasado fueron antinucleares.

No hay nada extraño en que los Estados asuman la rectoría de la política energética. Ésa es justamente una función de Estado.

En la Unión Europea, Francia, Italia, Suecia, Países Bajos, Suiza y Alemania cuentan con entidades estatales de energía. Y a pesar de ello han sido víctimas de la crisis energética quedado expuestos a la escalada de precios. Lo que alerta que cada día hay que estar más vigilantes en materia de energía.

Alemania, el 21 de septiembre del 2022, anunció la nacionalidad de *Uniper*, el primer importador europeo del gas ruso y productor de energía. El ministro de economía, Robert Habeck, justificó la nacionalización, en el interés de rescatar la empresa de la eminente quiebra.

Lo deseable es intensificar el uso fuentes limpias de energía, y suprimir el uso de los combustibles fósiles. Pero dos décadas de apoyo intensivo y de subsidios extraordinarios a las fuentes renovables, han demostrado que éstas realmente no pueden alcanzar un carácter alternativo, sino solamente complementario.

Tienen un mayor perfil alternativo, la hidroelectricidad y la energía nuclear –fuentes tan o más limpias que las renovables–, que, durante las mismas décadas de sobreprotección de las fuentes renovables, fueron relegadas. La, tan cacareada, transición energética sin duda tendrá como objetivo fundamental aumentar la participación y capacidad instalada en hidroelectricidad y en energía nuclear, porque entre las energías limpias son las más constantes.

Mientras tanto, no será posible prescindir de las fuentes fósiles. La mayoría absoluta del transporte en el mundo se mueve con

combustibles, gasolina, diésel, diáfano... y aunque se desarrollen los autos eléctricos, el problema es cómo generar la electricidad para ellos. Las fuentes limpias producen estrictamente electricidad y aportan tan sólo el 16.85% de la energía que se consume en el mundo. Si toda la energía que se utiliza en el mundo fuera eléctrica, en lugar del 16.85% se necesitaría multiplicar por 6 la capacidad instalada de todas las fuentes limpias y eso es imposible y menos a la vuelta de dos o tres décadas.

Mientras tanto, la energía seguirá siendo indispensable, y se requerirá en mayores cantidades, no tan sólo porque aumenta la población, sobre todo porque la economía de mercado induce el crecimiento en la producción de todo, indispensable o no, y la producción no se puede dar sin energía.

Hay que seguir promoviendo el ahorro de energía, pero por más que ahorremos las necesidades de energía no desaparecerán. Y esto justifica el carácter estratégico de la Energía.

## **19. China, y el precio de su modelo de nuevo orden económico**

Desde la Convención de Río de Janeiro en 1992, se dispensó a las entonces llamadas economías emergentes –China, la India y Brasil– a cumplir cuotas o límites de emisiones de CO<sub>2</sub>, dispensa que se asentarían en el Protocolo de Kioto firmado el 11 de diciembre de 1997.

La dispensa fue un gesto para propiciar que esos países se desarrollaran y se nivelaran un poco respecto al primer mundo. Pero en los hechos, la dispensa significaba autorizarles a consumir tanta energía como pudieran y por lo tanto a emitir GEI sin limitaciones.

En 1998 China, con la población más grande del mundo, 1,270 Mhab, era la 7ª potencia económica; Brasil con 172 Mhab era la 8ª y la India con 1033 Mhab era la 11ª potencia económica. Un cuarto de siglo después de la firma del Protocolo de Kioto, bajo esa dispensa, China es la 2ª potencia económica mundial, la India la 5ª y Brasil la 10ª; Brasil no ha subido, pero China y la India sí, China ya no es un país emergente, sin embargo, se sigue abrogando la dispensa como país emergente.

¿Cómo fue que China llegó a ser la segunda potencia mundial en tan sólo dos décadas? No es ningún secreto, la agenda política de China es visible y el presidente Xi Jinping lo expresa abiertamente. Su propósito fue liderar un nuevo orden económico mundial “diferente” al instaurado por occidente, más cooperativo, más igualitario.

Existen dos Chinas, una minúscula, la República de China, más conocida como Taiwán, con su Capital en Taipéi y la República Popular de China, con su capital en Pekín, cuya historia comienza con la proclamación como República independiente, por el Partido Comunista Chino en 1949.

En 1955, bajo la iniciativa de China, se llevó a cabo en Bandung, Indonesia, una convención a la que asistieron 29 países de África y de Asia, que dieron lugar a la Organización de Países del Tercer Mundo, con el objetivo expreso de conformar un tercer bloque económico, alterno tanto al bloque occidental como al soviético.

En los años 60, China apoyó los movimientos independentistas en África e incluso regaló una línea de ferrocarril para unir Zambia con Tanzania. Como resultado de su actividad diplomática, en 1971, China logró tener votos suficientes para ser reconocida por la ONU como la verdadera China, en detrimento de Taiwán, gracias, entre otros, a 26 votos de países africanos.

Las relaciones entre China y África han evolucionado enormemente. Actualmente, el progreso y la modernización en África se debe a China, el único país que tiene la capacidad financiera y la disposición de invertir y hacer préstamos en África. Entre 2005 y 2017 China hizo préstamos a países africanos por 137 mil millones de dólares. El nivel de la deuda de África no cesa de crecer, a pesar de que China lo sabe muy bien, la deuda de 27 países africanos es prácticamente impagable.

Sin embargo, China no presta dinero por filantropía, ni con inocencia. A imagen y semejanza de los que hizo Estados Unidos en Europa, después de la Segunda Guerra Mundial, China no sólo presta dinero, llega con sus empresas, sus técnicos y algunas veces hasta con mano de obra y, para proteger sus préstamos, hace firmar a sus deudores Cláusulas de Garantías que establecen que en caso de incapacidad de pago se opera una



especie de trueque. Los deudores deben rembolsar en materia prima o en infraestructura. En Siri Lanka, en 2014, se terminó la construcción de un puerto gigante con una inversión de varios miles de millones de dólares. Siri Lanka no pudo hacerse cargo de la deuda, a cambio le cedió a China el control del puerto durante los próximos 99 años. Este puerto es estratégico en la construcción del mega proyecto *la nueva ruta de la seda*.

Así, China ha impulsado enormes proyectos de infraestructura, en infinidad de países; entre otros, la construcción en Etiopía del metro aéreo con una inversión de 575 millones de dólares y la construcción en Kenia de un tren que conecta Nairobi con el puerto de Mombassa con una inversión de 3,700 millones de dólares.

China ve en África un mercado emergente muy lucrativo, de donde, además, se puede proveer de materias primas y a donde puede deslocalizar industrias altamente contaminantes.

Aunque llegó tarde a la carrera espacial, y copiando la tecnología soviética, China fue capaz de llevar un módulo al lado oscuro de la luna, tiene su propia tecnología, está en vías de montar su propia estación espacial y en el terreno militar tiene satélites capaces de destruir otros satélites.

China desafía al mundo entero, en absolutamente todos los campos: tecnológicos, financieros, económicos, militares y espaciales.

En urbanización han desarrollado las ciudades más modernas del mundo, las ciudades esponjan con sistemas de captación de agua pluvial y zonas verdes, y las ciudades fantasmas, capaces de albergar poblaciones flotantes, eventualmente necesarias para el impulso de rubros urbanísticos, o industriales emergentes o estratégicos. En 1998 China construyó su primera autopista, y actualmente tiene 150 mil km de autopistas hasta de 6 carriles por vía. Y tiene 40 mil km de vías para trenes de alta velocidad que pueden viajar a 400 km/h, mientras que, en contraste Estado Unidos, no tiene una sola red de trenes de alta velocidad.

En el mercado internacional con su capacidad de producción y transporte, y con su política de dumping —es decir, el abatir cualquier precio del mercado para eliminar la competencia—, China está siendo capaz de inundar de mercancías al mundo. Y justamente su capacidad de producción, su desarrollo tecnoló-

gico, urbanístico y en infraestructura explican el porqué es el mayor consumidor de energía del mundo y porqué desarrolla y usa todo tipo de energía.

Por supuesto, usa en mayor proporción la fuente más barata y de mayor disponibilidad —el carbón—. En el 2022, China consumió el 54.8% del carbón que se consumió en el mundo. El carbón representó el 55.46% de su consumo de energía, el petróleo 17.66%, el gas natural 8.48%, la energía hidráulica 7.67%, las energías renovables 8.34% y la energía nuclear el 2.36%.

China es el principal impulsor de fuentes limpias de energía en el mundo. Es el primer productor de energías renovables, produce el 32.3% del total mundial. A su vez es el mayor impulsor de la energía nuclear y el 2º productor mundial. Con 15.6% de participación, con 55 reactores nucleares en operación y 18 en construcción, pasó del 13º lugar al 2º en 20 años, desplazado a Francia como 2º productor mundial de energía nuclear.

Pero, aunque ha impulsado las fuentes limpias en forma espectacular, ha incrementado mucho más su consumo de combustibles fósiles. En el 2021 el consumo de combustibles fósiles aumentó 7.2 EJ —el carbón incrementó en 3.8 EJ, el del petróleo 1.9 EJ, y el de gas natural 1.5 EJ—. En contraparte, entre las fuentes limpias, las energías renovables, incluidos los biocombustibles incrementaron en 2.8 EJ, y la energía nuclear 0.36 EJ, pero la hidroelectricidad tuvo una reducción de 0.25 EJ seguramente como resultado de lo errático de las precipitaciones. El incremento de las fuentes fósiles fue 2.46 veces mayor al de las fuentes limpias. A diferencia, en el 2022, incrementó el consumo de carbón en 0.87 EJ y las energías renovables en 2.03 EJ, pero el petróleo disminuyó en 0.36 EJ. La primera vez en la historia en la que el consumo de fuentes limpias crece más que las fósiles.

Así, China, con el 18,2% de la población mundial, consume más de la cuarta parte de la energía del mundo (el 26.4%) y es responsable de casi la tercera parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> del mundo (30.7%). La proporción de las emisiones es 1.16 mayor que su consumo de energía, y esto se debe a que consume principalmente carbón, la fuente de energía más contaminante. Por otra parte, la proporción de sus emisiones es 1.7 veces mayor

que la proporción de su población a nivel mundial, lo que de ninguna forma parece racional.

Pero, aunque se le señale como el mayor responsable de las emisiones del mundo, parece no inmutarse. La justificante es que está llevando la modernidad al resto del mundo y propiciando un orden económico “más igualitario y cooperativo”.

Y tan es un desafío para el mundo en cualquier terreno, que su presidente Xi Jinping, ante la COP26 de Glasgow, no asistió y se dio el lujo de no comprometer a China a nada, y de anunciar diferir los compromisos de reducir las emisiones hasta el 2030; es decir mostrando que la pretensión hegemónica de China tiene prioridad, por encima de la pretensión por preservar la atmósfera y combatir los cambios climáticos.

Y no es la primera potencia económica en números, porque su política de inserción y dominación de mercado se sustenta en bajos precios no en el volumen de mercancías –una política con la cual Rockefeller montó el imperio del petróleo 100 años antes–.

El nuevo orden económico promovido por China se sustenta en recetas similares a las que dieron lugar al orden económico actual. El despliegue mundial de infraestructura –autopistas, vías férreas, puertos y rutas marítimas– tiene el objetivo de garantizar vías rápidas de dominación del mercado. Y el desarrollo militar y tecnológico en satélites tiene el propósito de custodiar y defender su proyecto de expansión económica y financiera.

Es una sociedad con un régimen autoritario a la que se le ha inculcado: “no votes no lo necesitas, vas a tener a los mejores dirigentes para que se preocupen de todo por ti; estamos construyendo una nueva sociedad, el socialismo moderno; esfuérate y hazte rico, porque así enriqueces al país”. Y la sociedad asiente que las cosas se están haciendo bien y en general apoya al Partido Comunista.

Y ciertamente, China está haciendo maravillas siendo líder mundial en la capacidad inventiva, en la capacidad de desarrollo tecnológico e industrial y en la capacidad de producción. Pero, siendo responsable del 30.7% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de GEI a la atmósfera, es también el principal responsable de la contaminación atmosférica y de los cambios climáticos. Y ése es el precio del esplendor de China.

## 20. Los Límites del Crecimiento y la teoría del *decrecimiento económico*

Si la energía fuera libre de carbono no habría ningún reproche al uso y abuso del consumo de energía. Pero el 83.15% de la energía que se consume en el mundo proviene de combustibles –petróleo, carbón, gas biocombustibles y leña– y todos tienen como principal componente el carbono, al quemarse, ese carbón, se combina con el oxígeno del aire y produce bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Se consumen o queman en el mundo del orden 14 mil millones de toneladas equivalentes de petróleo por año (Mtep). Y como resultado se liberan a la atmósfera del orden de 39 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. La naturaleza sólo es capaz de procesar alrededor del 60% de esa cantidad, por tanto, se acumulan año con año más de 15 mil millones de toneladas. Esa cantidad de CO<sub>2</sub>, más los restantes GEI son los que causan el calentamiento global y los cambios climáticos. Entre los otros GEI se incluye el *metano*, que se produce por fugas de los pozos petroleros, de gas y carbón, y por la descomposición de todo tipo de materia orgánica; óxido nitroso, que se produce en la producción y de fertilizantes y en todo tipo de combustión y *clorofluorocarbonos*, entre los cuales el más famoso es el freón.

Se predica que las energías renovables –eólica, solar– van a sustituir a los combustibles.

Pero la realidad es que en la década del 2011 al 2021 su contribución mundial fue tan sólo de 3.42%, del total de energía consumida en el mundo (209.49 EJ), a pesar de inversiones y subvenciones para su desarrollo por miles de millones de euros. En esa década, el 85.41%, provino de combustibles –el petróleo aportó 32.76% (2008.47 EJ), el gas natural 23.27% (1426.71 EJ), el carbón 28.42% (1742.3 EJ) y los biocombustibles y biomasa 0.85% (52.37 EJ)–. Las otras fuentes limpias aportaron: 4.37% (268.18 EJ) la energía nuclear y 6.89% (422.34 EJ) la hidroelectricidad. En suma, en el periodo 2011-2021, las fuentes limpias o libres de CO<sub>2</sub> –hidroelectricidad, nuclear, eólica y solar– aportaron 14.59% del consumo mundial de energía.

Se ha puesto en evidencia que las energías limpias crecen mucho más lento que las fósiles, y no por falta de voluntad sino por limitaciones físicas y meteorológicas (§ 10). Desgraciadamente la energía solar y eólica no son la alternativa que puede conciliar crecimiento económico con neutralidad carbono. La única forma de asegurar crecimiento económico, implica mayor consumo de energías fósiles y por tanto mayor producción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El crecimiento económico, es la causa del consumo exagerado de combustibles y del despilfarro de recursos. Si se tratara de ser responsables con el planeta, debieran modificarse las pretensiones de crecimiento económico, particularmente en los países industrializados.

De hecho, este tema está apareciendo en el centro de los nuevos debates políticos.

¿De dónde viene el concepto de *decrecimiento* económico?

No, no afloró en la *Conferencia de Partes* de las Naciones Unidas de Glasgow (COP 26), ni en la de París (COP 21), ni en la de Copenhague (COP 19), ni en ninguna de las COP's. Las COP no han cuestionado la economía de mercado —el modelo económico mundial—. Persiste el espejismo de que se puede conciliar crecimiento económico con neutralidad carbono.

El origen de la idea *decrecimiento*, proviene del Reporte Meadows, publicado en 1972 para el *Club de Rome*, con el título los Límites del Crecimiento (*The Limits to Growth*). Con un tiraje de 12 millones de ejemplares y traducido a 30 idiomas, dicho reporte puso la pauta sobre los problemas globales. Los autores fueron Donella H, Meadows, Dennis L, Meadows, Jorgen Randers, y William W, Behrens III. El documento predijo la degradación del Planeta y sus recursos naturales en forma irreversible, si las actividades económicas continuaban en forma creciente, y es lo que se está viendo actualmente. Mientras que en términos globales hay crecimiento continuo, se han venido recrudeciendo los cambios climáticos, la contaminación del suelo, ríos, mares, océanos y el aire que respiramos —justamente las evidencias de que se están alcanzando los límites del crecimiento y la degradación prevista—.

Los autores del informe crearon un modelo que simulaba la evolución a largo plazo de cinco indicadores (población, alimentos, producción industrial, recursos naturales no renovables, contaminación). Luego mostraron que “el comportamiento básico del sistema mundial es el crecimiento exponencial de la población y el capital, que inevitablemente sería seguido por un colapso si no se promovían cambios en el sistema de producción mundial”, incluso ante la ‘hipótesis de muchos avances tecnológicos’. Claramente, lo finito o limitado de la Tierra —donde los recursos naturales, las superficies habitables o agrícolas son limitados— impediría a largo plazo beneficiarse de un crecimiento permanente de la población, la economía o la explotación de estos recursos.

Los autores recomendaron, a los países ricos, frenar el crecimiento para lograr un equilibrio global y estable, mientras que los países en desarrollo cubrían sus necesidades esenciales hasta alcanzar también un nivel de equilibrio, sin deteriorar más el planeta.

Todas esas recomendaciones tienen pertinencia en este momento.

La pandemia lo demostró. En el 2020 se redujo el consumo mundial de energía en 4.5% y las emisiones de CO<sub>2</sub> se redujeron 6.3%. Este dato es muy importante, el porcentaje de reducción de las emisiones es superior al del consumo de energía, tan sólo por reducir el consumo.

Sin embargo, a las sociedades “desarrolladas” les urgía recuperar el confort que habían “sacrificado” a los grandes consorcios, las grandes industrias, y a las instituciones financieras les urgía restablecer la dinámica de la economía de mercado de antes de la pandemia; y en el 2021 aumentó el consumo de energía en 5.8% y las emisiones en 5.9% regresando al nivel de antes de la pandemia.

¿A qué responde el aumento en el consumo de energía?

La población mundial aumenta con una tasa de crecimiento del orden de 1.16%, pero el consumo de energía crece con una tasa de 1.5%; es decir, la demanda de energía es superior al crecimiento de la población. Esto indica que el aumento del consumo de energía no responde estrictamente al aumento de la población, responde al mercado mundial.

El mercado se anticipa a la demanda e inunda de mercancías al mundo. Y la circulación del mercado se induce mediante publicidad. Ésa es la función de la mercadotecnia. El 10% del PIB mundial se destina a publicidad. Y para que la gente compre se han creado una gran variedad de instrumentos financieros que hacen que la gente tenga una capacidad de compra más alta que sus ingresos —tarjetas de créditos, renegociación de créditos, créditos sub-primas...

Y particularmente la clase media, teóricamente la más culta o más pensante, es la más susceptible de ser enrolada en la dinámica del mercado. Por su capacidad de compra finalmente es la más consumista. Compra más de lo que necesita, desperdicia más que el promedio de la población... y eso es peor en los países desarrollados. La clase media es responsable del 85% de la contaminación.

Si se redujera el consumo se reducirían las emisiones, el despilfarro de materias primas y los desechos. Claro está: se reduciría el PIB. Para los países desarrollados eso debería ser soportable; si su PIB se reduce un poco no van a dejar de ser ricos. Además, son ellos los obligados, son los de mayor responsabilidad.

No, no puede haber crecimiento económico y neutralidad carbono al mismo tiempo. Por tanto, habrá que voltear a ver el *decrecimiento*. El gran dilema es que los países responsables de los cambios climáticos no actúan en consecuencia, y no hay un marco jurídico internacional para obligarlos a actuar. China, Estados Unidos y la India son responsables del 52.5% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si se añade Rusia y Japón la cifra sube a 60%. Si se agrega a Irán, Alemania, Corea del Sur, Arabia Saudita y Canadá se llega al 70%,

El resto del mundo y particularmente los países pobres no son responsables de gran cosa y sólo sufren las devastaciones o catástrofes que se suceden año con año. De acuerdo al FMI las devastaciones representan del orden del 10% del Producto Mundial Bruto. Los países ricos pueden fácilmente reponerse, pero no los países pobres. Y eso indudablemente causa impotencia.

Por ello se tiene que predicar el *decrecimiento*. Pero, mientras se sabe de él, las únicas acciones que podemos promover y ejecutar los ciudadanos comunes son: disminuir al mínimo nuestro nivel

de consumo y evitar o boicotear compras de los países que más contaminan en el mundo.

## 21. Dilemas entre economía y cambios climáticos

Los cambios climáticos no sólo son objeto de estudio de los científicos. El problema no sólo concierne a las ciencias atmosféricas y a la meteorología, va involucrando paulatinamente a otras disciplinas que tendrán que evolucionar para ser viables. La economía y el derecho internacional serán obsoletos ante una catástrofe climática, tendrán que estar al día, o bien, para reorganizar una economía diferente para un mundo diferente.

La economía tal como la conocemos se volverá insolvente si no se consideran las variables climáticas como determinantes en las proyecciones de un gran número de inversiones, desarrollo tecnológico, crecimiento. Así como está claro que los ciclones, las sequías, los incendios implican pérdidas económicas colosales. Una catástrofe climática producirá a nivel mundial pérdidas dramáticas. Los propios estados están perdiendo su capacidad de conducción por limitaciones presupuestales para afrontar catástrofes climáticas. Y tal vez puedan perder hasta su función de ser ante una catástrofe climática global.

¿Cuánto cuesta en términos financieros el evitar una catástrofe ecológica? En un esquema de análisis riesgo-beneficio ¿es conveniente invertir para impedir una catástrofe ecológica? Según la OCDE la contaminación atmosférica en las poblaciones urbanas costará 3,600 miles de millones de dólares –1,700 miles de millones a los 34 países miembros de la OCDE, 1,400 miles de millones a China y 500 miles de millones a la India–.

De hecho, en la vida cotidiana, los trabajos de alto riesgo suelen recibir compensaciones. Se compra un seguro de auto, de casa, un casco para andar moto, en bicicleta, en patines, etc. Esto indica que se está dispuesto a pagar por minimizar el riesgo de mortalidad o de pérdidas materiales.

La compañía norteamericana *Environmental Protection Agency* considera justificable un valor de 8 millones de dólares para evitar una muerte, en Francia esta cifra es del orden de 3 millones de euros. El concepto de valor de vida puede servir de referencia



para calcular cuánto cuesta la extinción de la especie. La extinción es una amenaza para las generaciones futuras, evaluar y concebir las políticas de prevención es entonces un reto crucial actual. ¿Cuánto está dispuesto a invertir la humanidad para salvar el planeta? Es una interrogante en indefinición permanente. Decimos estar preocupados por el deterioro del ambiente, pero lo que se invierte en revertir el deterioro es ínfimo comparado con lo que se necesita.

Innumerables acciones son necesarias para mitigar las emisiones:

- Suprimir los subsidios o ayudas de los estados a las centrales térmicas de carbón desprovistas de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.
- Obligar a los países y las industrias altamente contaminantes a reducir sus emisiones.
- Incorporar sistemas de captación, almacenamiento y tratamiento de GEI y de partículas finas.
- Restringir el mercado e intercambio de los bonos de carbono.

La tasa de crecimiento de la población es de 1.16% mientras que la tasa de crecimiento del consumo de energía es de 1.5%. Esto implica que mientras que la población mundial se duplica en 61 años, el consumo de energía lo hace en 46 años. Esto demuestra que no es únicamente el crecimiento de la población lo que induce el crecimiento en el consumo de energía. El motor principal del crecimiento en el consumo de energía es la economía de mercado.

Aunque los países productores de petróleo tienen las más altas huellas de no son los principales responsables de la acumulación de GEI en la atmósfera. El problema de fondo es el hecho de que la demanda mundial de combustibles fósiles –petróleo, carbón y gas natural– sigue creciendo. Y la culpa es del mercado, de la economía de mercado.

Si un país productor de petrolero, de gas, o de carbón se le bloquea o sale parcialmente del mercado –como ha sido el caso de Venezuela tras el embargo de Estados Unidos y sus aliados, o Rusia con la guerra en Ucrania– de inmediato es relevado por otros productores para abastecer el mercado.

Las emisiones de las fuentes fósiles de energía se deben entonces a la demanda mundial, en tal caso la deuda es de los consumidores. Y, en mayor o menor proporción, todos somos consumidores. Por supuesto la mayor responsabilidad recae en quienes tienen más altas huellas de  $CO_2$ : los multimillonarios, las clases altas de las primeras potencias del mundo y las clases medias; es decir, quienes mayor capacidad de consumo tienen.

No es posible conciliar desarrollo y crecimiento con la disminución de GEI. No hay modelo alguno que lo demuestre. Menos aún en este momento. Los acontecimientos geopolíticos del 2022 demuestran que Estados Unidos y sus Aliados, de un lado, y China y Rusia por el otro —que emiten en conjunto el 70% de las emisiones mundiales de  $CO_2$ , todos ellos con huella de carbono superior a la media mundial—, en los hechos, están demostrando que su prioridad es la disputa por la supremacía mundial, en lugar de a la lucha en contra los cambios climáticos.

El problema fundamental es que los intereses económicos están en contradicción férrea con el interés por preservar la calidad de la atmósfera. Aunque en el plano declarativo todo parece bien, en la realidad las cifras desenmascaran las declaraciones.

Si no se cuestiona la economía de mercado habrá más COP's, más congresos, más declaraciones, pero la calidad del aire en la atmósfera continuará deteriorándose, aumentará el número de muertes prematuras por problemas respiratorios, los cambios climáticos serán impredecibles y muchas especies vivas continuarán extinguiéndose.

En noviembre de 2020, en el Parlamento Europeo, se concluía que “el dinero es el quid de la cuestión, para aislar térmicamente millones de viviendas, desarrollar el transporte público en todas nuestras regiones, invertir masivamente en energías renovables e investigación, para ayudar a los agricultores a cambiar prácticas. Para ellos se tendrían que encontrar sumas considerables”.

Esas sumas considerables ni siquiera se han buscado. Pero para sostener la guerra de Ucrania, una guerra que no debió suceder, no han faltado los recursos. Y eso es una simple prueba de que, para los jefes de estado de las potencias del mundo, la prioridad no es el clima.

Un dilema real es que no se puede prescindir de la energía en la sociedad moderna, porque se tiene que seguir viviendo, y las fuentes de energía renovables y las fuentes limpias, no tienen capacidad de convertirse en alternativas para sustituir los combustibles fósiles.

Por tanto ¡Habrà que modificar el sistema económico! ¡Habrà que difundir la necesidad del decrecimiento económico!

¡No hay tecnología sin riesgos! Habrà que hacer conciliar, o encontrar el equilibrio, entre el progreso social con el detrimento del medio ambiente.

Y tal como lo dicen dos epígrafes utilizados:

“El foco eléctrico no se inventó tratando de mejorar las velas”.

*“Parchar el sistema económico no evitará las catástrofes en curso”.*

Se necesitan transformaciones profundas, la más apremiante es la del pensamiento humano.

## **22. La necesidad de una nueva regulación económica mundial**

Entre el 15 y 19 de enero 2024 se celebró la 54 edición de la cumbre de Davos, en donde se reunieron cerca de 100 jefes de estado, más de 1,000 empresarios de multinacionales y aseguradoras, académicos, organizaciones sociales y medios de comunicación. El objetivo, como cada año, fue “reflexionar sobre los desafíos del mundo marcados por las tensiones geopolíticas y plantear posibles soluciones”. Este año el evento se tituló Reconstruir la Confianza. Los temas sobre la mesa fueron: la seguridad internacional, el crecimiento económico y, como riesgos de la economía mundial, se apuntaron en la agenda: la Inteligencia Artificial, las Fake News y los Cambios Climáticos.

¿Son éstos los principales problemas que ponen en riesgo la economía mundial? Depende del cristal con que se mire. Para capotear el temporal, tal vez sí, pero no para la humanidad. Los problemas cruciales más apremiantes, sin hacer énfasis en el orden de prioridad, son: la crisis climática, la migración,

la violencia, y la corrupción. Y todos tienen raíces comunes. ¡Veamos!

Los principales responsables de la crisis climática son los países industrializados o el primer mundo, porque ellos, durante más de un siglo, en aras de la modernidad y el confort han liberado los mayores volúmenes de emisiones de gases de efecto invernadero resultado del consumo de los combustibles fósiles. Ciertamente, sin los combustibles fósiles no hubiera habido la modernidad y el confort, esas estrellas de occidente que guían y embelesan al mundo, no sin ser influenciado por las exorbitantes campañas de publicidad, que cuestan el 10% del PIB mundial.

Los costos de la modernización son: el agotamiento de los recursos naturales, el deterioro de la atmósfera, los cambios climáticos, las catástrofes producidas y la profundización de las desigualdades. La modernización ha beneficiado prioritariamente al primer mundo durante más de un siglo, mientras que a los países pobres llega a cuentagotas y sigue siendo una aspiración. Sin embargo, las catástrofes climáticas, que se suceden cada año con mayor violencia y que afectan a todo el mundo, se sufren en extremo en los países pobres, donde reponerse de ellas suele tomar décadas, mientras que el primer mundo sólo son pesadillas que se resuelven de un año al otro.

De ahí surgió el argumento de que los países industrializados debieran de indemnizar a los países pobres, a partir de un fondo de ayuda para desastres climáticos que debería ser aportado por el primer mundo. Los países ricos, en su mayoría, están ubicados en el hemisferio norte y la mayoría de los pobres en el hemisferio sur. Y fue en la COP 15, de Dinamarca, donde se reconoció por primera vez la llamada *controversia Norte-Sur*; y se propuso crear el fondo de ayuda para apoyar a los países pobres afectados por las catástrofes climáticas. Dicho fondo se consideró que debería ascender a 100 mil millones de dólares. Aunque, después de 13 COPs más, ese fondo jamás se constituyó. En la COP 28, en Dubái, se puso en evidencia que sólo hay posibilidades de reunir del orden de 1 mil millones de dólares. O sea que sigue la tendencia de que *cada quien para su santo*; y así, los países del tercer mundo, además de pobres seguirán siendo los más expuestos a las catástrofes producto del confort de los países ricos.

Para resolver todo tipo de crisis –climáticas, sanitarias, económicas y de violencia– y para adquirir beneficios de la modernidad, los países pobres tienen que recurrir a la *Deuda*. Y el pago de interés de la deuda hace que siempre arrastren un enorme déficit fiscal o que, con la capacidad de recaudación, no alcancen para cubrir el gasto social y por tanto que la deuda siga creciendo. Así que, a pesar de que persiste la idea o, mejor dicho, la ilusión de que en el mundo capitalista, o en la economía de mercado, todos los países tienen la posibilidad de convertirse en países ricos, la realidad es que **no**, la capacidad de crecimiento está negada para todo el tercer mundo, y severamente condicionada para países en desarrollo; y de eso se encarga el sistema financiero mundial.

Y el pago de los intereses de las deudas a la banca internacional, al Banco mundial y al FMI constituye un flujo continuo de capitales, de los países pobres a los países ricos, del Sur hacia el Norte, que hace más ricos a los ricos, niega el desarrollo a los pobres y profundiza la conveniente diferenciación entre países. Al ritmo de crecimiento de los países en desarrollo y de tercer mundo, las deudas son impagables. Para muestra ha sido evidente, en múltiples foros, que el FOBAPROA es impagable o probablemente se termine de pagar hasta el 2070, si el estado le da prioridad y se olvida de atender el sistema de bienestar.

El Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, al controlar la dirección del flujo de capitales controlan la economía mundial y tienen maniatados a los países pobres; para que sigan teniendo la función de proveer de materias primas y sean clientes cautivos de los países ricos. Es decir, el sistema financiero mundial, se encarga de que las desigualdades sean motor del capitalismo, con su flujo de mercancías y de capitales siempre en el mismo sentido.

Y las desigualdades son la causa principal de migración, de la violencia y de corrupción. Una de las causas de migración es la legítima búsqueda de mejores condiciones de vida, aunque se agregan otros factores, como la aspiración de mucha gente de tratar de hacer realidad, el *sueño americano* o el *sueño europeo*. Pero, la diferenciación social, también induce a bastante gente a tratar de vivir bien y de manera fácil o con el mínimo esfuerzo. Y esta última aspiración es la causa de criminalidad, de la mul-

tipificación de bandas que se dedican a la extorsión, al secuestro, al cobro de derecho de piso...; en las que participan gente de diverso estatus social y no propiamente gente pobre.

La aspiración a vivir bien y de manera fácil es también la principal causa de la corrupción. El espectro de la corrupción se da a todos los niveles y es más amplio de lo que imaginamos. La más lesivas para la economía han sido: las escandalosas desviaciones o malversaciones de dinero hechas por gobernadores y funcionarios de gobierno, la condonación de impuestos a los multimillonarios, la “venta” de empresas paraestatales so pretexto de ineficiencia, el tráfico de influencias para otorgar concesiones, el promover y hacer negocios a costa del presupuesto del estado... pero, en otra proporción, también es corrupción: la venta, negociación o repartición de puestos políticos y de gobierno, la venta o renta de plazas de aviadores, las dobles plazas, los comerciantes que no enteran el IVA que cobran, los profesionistas liberales que cobran en efectivo y evaden o no pagan impuestos... y toda forma de corrupción además de que es lesiva para la economía es causa de diferenciación social, que incita a otros a querer hacer lo mismo.

La gran contradicción es que la riqueza en el mundo sigue aumentando. Según el informe de Davos, desde el inicio de la pandemia, a fines del 2019 y el 2023, los multimillonarios del mundo duplicaron sus fortunas, mientras que 5 mil millones de personas cayeron en extrema pobreza. Esto da cuenta del flujo y concentración de capitales, que hace que la estratificación económica sea cada vez mayor entre países y entre sus habitantes.

El 2024 será un año difícil en todo el mundo. En el 2023, la sequía en algunas regiones y las inundaciones en otras, resultado de la crisis climática, amén de la guerra en Ucrania, han causado enormes estragos en la producción agrícola a nivel mundial, produciendo escases de unos productos más que de otros, que inevitablemente se traducirá en aumento de precios de los alimentos y en inflación, y sin duda se recrudecerá el problema de las desigualdades e incitará la migración y la violencia.

La solución no es simple, hace falta **una nueva regulación económica mundial**, nuevas reglas para garantizar un nuevo equilibrio económico mundial. Se necesita un nuevo tratado

Bretton Woods que promueva un nuevo equilibrio en el mundo. Éste no tiene porqué inventarse, puede ser similar al que resolvió la Crisis de 1929 y que se instauró después de la II Guerra mundial. Aunque en efecto, hacen falta estadistas del corte de Roosevelt y Churchill, que además de tener las ideas tengan la facultad para llevarlas a la práctica.

Es necesario contener el mercado financiero y combatir la especulación a nivel mundial. Hace falta poner en práctica el impuesto Tobin —premio nobel de economía en el 1981— que evite la especulación financiera, hace falta combatir o boicotear los paraísos fiscales.

Es necesario inducir una forma de consumo más racional; por respeto tanto a la preservación del medio ambiente como de los recursos naturales. Para ello hay que seguir fortaleciendo el pensamiento humano.

Así que Davos y las Cumbres no son más que simulacros de revisión de los problemas mundiales, para seguir igual.





## CRÉDITOS

Las principales fuentes de datos utilizadas son:

*National Oceanic and Atmospheric Administration Data (NOAA),  
National Aeronautics and Space Administration Data (NASA).*

*The International Panel of Climatic Change (IPCC).*

*BP Statistical Review, 2022, 2023.*

*Bilan du Monde Economie & Environnement-.*

El análisis y sistematización de datos es responsabilidad propia del autor. De las fuentes sólo se han retomado los datos.

Algunos tópicos incluidos en este compendio han sido publicados en forma de artículos, ensayos y notas periodísticas:

El análisis sobre los GEI ha sido publicado en forma extensa en *Global Journal of Science Frontier Research: H Enviornment & Earth Science* (Pinedo, 2022).

Los Problemas de Fondo sobre los Cambios Climáticos han sido presentados en el *V y VII Congreso Internacional de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable*.

El potencial de las energías renovables y de la energía nuclear ha sido publicado en la revista de la Sociedad de Geografía y Estadística de México.

Múltiples notas periodísticas han sido publicadas en el diario *La Jornada Zacatecas*, o presentadas en diversos foros, entrevistas y conferencias.



## REFERENCIAS

- Bastin, J. F., et al. (2017). *The extent of forest in dryland biomes*, *Science*, vol. 356, Issue 6338, pp. 635-638, DOI: 10.1126/science.aam6527
- BP Statistical Review of *World Energy*. (2019, 2020, 2021, 2022, 2023).
- Butler, J. H., y Montzka, S. A. (2020). The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). *NOAA Earth System Research Laboratory. R/GMD*, updated annually at <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>
- David, G. V.; Akimoto, K. Kaya Y.; Yamaguchi, M.; Cullenward, D., y Hepburn, C. (2017). “Prove París was more than paper promises”, *Nature* 548 (7665): 25-27, [ISSN 0028-0836, doi:10.1038/548025a](https://doi.org/10.1038/548025a)
- Duderstandt, J. J., *Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley and Sons, 1976.
- Efbrazil, C. C. BY-SA. (2022). NASA, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=87627678>
- Feiveson H, Mian Z, Ramana MV, von Hippel F, 2011, *Spent Fuel from Nuclear Power Reactors*, An Overview of a New Study by the International Panel of Fissile Materials, IPFM 2011.
- Fetter, S. (2009). *How long will the World's uranium supplies last*, *Scientific American*, scientificamerican.com
- Garric, A. (2015). *Plus de 4 000 Chinois meurent tous les jours de la pollution de l'air*, *Le monde*, [https://www.lemonde.fr/planete/article/2015/08/14/plus-de-4-000-chinois-meurent-tous-les-jours-de-la-pollution-de-l-air\\_5993433\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2015/08/14/plus-de-4-000-chinois-meurent-tous-les-jours-de-la-pollution-de-l-air_5993433_3244.html)
- Hofmann, D. J.; Butler, J. H.; Dlugokencky, E. J., Elkins, J. W.; Masarie, K.; Montzka, S. A.; Tans, P. (2006). *The role of carbon dioxide in climate forcing from 1979 to 2004: introduction of the Annual Greenhouse Gas Index*, *Tellus*, 58B, pp. 614-619.
- IPCC Working Group I. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Sciences Basis*. [www.climatechange2013.org](http://www.climatechange2013.org)
- Jancovici, J. M. (2003). *Existe-t-il des énergies sans CO2?* <https://>

- [ancovici.com/changement-climatique/quel-monde-ideal/existe-t-il-des-energies-sans-co2/](https://ancovici.com/changement-climatique/quel-monde-ideal/existe-t-il-des-energies-sans-co2/)
- Le Bilan du Monde: Geopolitique, Environnement & Economie. Atlas de 198 Pays. Le Monde* (2022, 2023).
- Leroyer A., (2023) Le phénomène El Niño est devenu un événement « humain » et non plus naturel selon cette étude, *Science* 31/10/2023 17:49 **Actualisé le** 02/11/2023 12:53
- Lindsey, R., y Dahlman L. (2022). *Climate Change: Global Temperature, NOAA*. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- McLendon, R. (2017). *Are hurricanes linked to global warming?* [MNN.com >Earth Matters>Climate & Weather](https://www.mnn.com/Earth-Matters/Climate-Weather), August 31, 2017.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J.; Behrens, W. (1972). *The Limits to Growth*.
- Metz, B.; Ogunlade, D.; de Coninck, H.; Loos, M.; Meyer, L. (2005). *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press*.
- Mudryk, L.; Chereque, A. L.; Brown, R.; Derksen, C.; Luoju, K., y Decharme, B. (2020). *Terrestrial Snow Cover, NOAA Arctic Report Card 2020*. DOI: [10.25923/p6ca-v923](https://doi.org/10.25923/p6ca-v923)
- NEA (2020). *Uranium 2020: Resources. Production and Demand*, OECD Publishing, París (2020).
- NEI (Nuclear Energy Institute), 2010, *Resources and Stats: Nuclear Waste: Amounts and On-Site Storage*, p. 1; data as of February 2010.
- NOAA (2022). *Recent Monthly Average Mauna Loa CO2* [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2\\_weekly\\_mlo.png](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2_weekly_mlo.png)
- Pierre, Le Hir (2017). *La planète est plus «verte» qu'on ne le pensait, LE MONDE*. [https://www.lemonde.fr/biodiversite/article/2017/05/11/la-planete-est-plus-verte-qu-on-ne-le-pensait\\_5126427\\_1652692.html](https://www.lemonde.fr/biodiversite/article/2017/05/11/la-planete-est-plus-verte-qu-on-ne-le-pensait_5126427_1652692.html)
- Pinedo-Vega J. L.; Mireles-García, F.; Ríos-Martínez, C.; Dávila-Rangel, I. (2022). *Greenhouse Gases: Background Issues, Global Journal of Science Frontier Research: H Environment & Earth Science*. Volume 22. Issue 6 Version 1,0, pp 41-47,

Global Journals Online ISSN: 2249-4626 & Print ISSN: 0975-5896.

- Rohde Robert, A.; Muller Richard, A. (2015). *Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources*. <http://berkeleyearth.org/wp-content/uploads/2015/08/China-Air-Quality-Paper-July-2015.pdf>
- Rémi, Barroux (2014). *La pollution atmosphérique coûterait chaque année 3,600 milliards de dollars, selon l'OCDE*, LE MONDE. 23,05,2014 à 11h32.
- Schweitzer, B. (2014). *Typhon Haiyan: comment se forment les cyclones?* *Radio France*. Mis à jour le 02/05/2014. 15:05, publié le 10/11/2013. [https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/typhon-haiyan-comment-se-forment-les-cyclones\\_1673429.html](https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/typhon-haiyan-comment-se-forment-les-cyclones_1673429.html)
- Stéphane, Lauer (2016). *Primaires américaines: Donald Trump promet d'annuler l'accord de Paris sur le climat*, LE MONDE. 27,05,2016 à 02h14.
- Uranium 2020: Resources, Production and Demand*, NEA. Núm. 7751, OECD 2020, IAEA-NEA. [https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_52718/uranium-2020-resources-production-and-demand](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_52718/uranium-2020-resources-production-and-demand)
- Walther D., & Garric, A. (2014). *Chine: comprendre l'ampleur de la pollution en trois minutes*, *Le Monde*, [https://www.lemonde.fr/planete/video/2014/02/13/chine-comprendre-l-ampleur-de-la-pollution-en-trois-minutes\\_4366169\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/video/2014/02/13/chine-comprendre-l-ampleur-de-la-pollution-en-trois-minutes_4366169_3244.html)
- Wilcox P. S., Mudelsee M., Spötl C. & Edwards R.L., (2023), Solar Forcing of ENSO on Century Timescales, *Geophysical Research Letter*, Vol 50 (20), <https://doi.org/10.1029/2023GL105201>



