

# Cambio climático

**Autores:**        **Ing. Luis José Flory**

**Ing. María Camila Vásquez**

## Introducción

En el 2011, la sequía más importante en África en 50 años, generó la peor crisis alimentaria para casi 11 millones de personas, en 5 países. En el 2018, más de 350 muertos y 220.000 evacuados en campamentos de emergencias dejaron inundaciones en India, sin precedentes en 100 años.

Si bien los incendios no son causados por el cambio climático, este agrava las consecuencias y aumenta su riesgo por el aumento de las temperaturas, en 2018 en Mendocino California se registró un incendio que arrasó con cerca de 115000 ha, además del incendio “Thomas” en 2017, con 113800 ha devastadas en este mismo estado, estos siendo los más nombrados, cada vez son más frecuentes. De igual forma los huracanes se vuelven más catastróficos con aumentos en la temperatura. En enero del 2019 se vivieron fenómenos picos inusuales, en gran parte de Estados Unidos se presentaron temperaturas muy bajas, con vientos helados de entre 30 y 60 grados bajo cero, en Chicago, la zona con mayor densidad poblacional del área afectada, presentó temperaturas de -30°C, con una sensación térmica de -46°C, hacía más frío que en la capital del estado de Alaska e incluso más que en algunas partes del Ártico.

Se ha producido una serie sin precedentes de tormentas, sequías, blanqueamiento de corales, olas de calor e inundaciones en todo el mundo con solo un grado Celsius de calentamiento global.

Los fenómenos extremos aparecen como más frecuentes, pero resulta difícil el uso de la estadística para estudiar fenómenos que son escasos por definición. Sin embargo existe consenso científico sobre su relación con el calentamiento global.

Estas amenazas para la vida en la tierra son acentuadas o producidas por el Cambio Climático (CC) que se desarrolla a partir del calentamiento progresivo de la tierra.

En realidad, esto no es lo único, ni lo peor. Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, IPCC por sus sigla en inglés, (Organización que reúne y establece la información científica sobre el CC) si permitimos que este calentamiento aumente a más de 1.5°C desde hoy al 2100, podremos poner en riesgo a las generaciones futuras.

El fenómeno global del cambio climático está generado por la elevación de la cantidad de los denominados “gases de efecto invernadero”, en la atmósfera, como consecuencia de actividades antrópicas ligadas al incremento acelerado del consumo de energía basada en la combustión de hidrocarburos. Otros mecanismos vinculados a la deforestación y a la ganadería contribuyen también en el mismo sentido.

Se registra una correlación notable entre las emisiones de gases de efecto invernadero y la temperatura media global. En el siguiente gráfico se observa las líneas de evolución de las cantidades presentes de gases de efecto invernadero con el aumento de la temperatura global en los últimos 150 años.

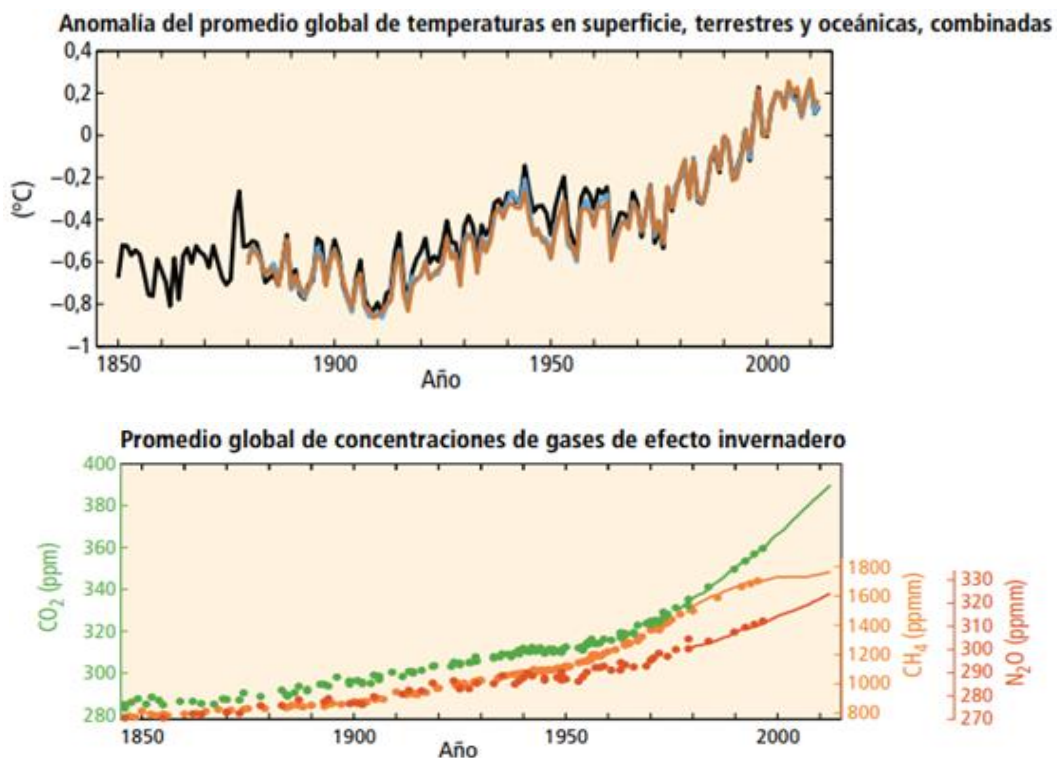


Gráfico de Evolución de la temperatura a través del tiempo y de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Tomado del 5to informe de IPCC

Este calentamiento global es consecuencia directa de la Revolución industrial, cuya base conceptual fue la incorporación de enormes cantidades de energía, producida por la combustión de hidrocarburos fósiles, donde predominó al inicio el carbón y luego el petróleo y el gas. El gran crecimiento de la producción registrada a lo largo de todo el siglo XX partió del concepto de que era deseable multiplicar el consumo de energía para lograr el crecimiento socio económico de la población. Tengamos en cuenta que, desde los umbrales de la memoria del hombre hasta el inicio de la revolución industrial, toda la producción de la humanidad se basaba en la fuerza física de los hombres jóvenes, más el uso de animales, la energía eólica en las velas de los barcos y los molinos, más la leña y el sol como fuentes de calor. El uso de los hidrocarburos permitió disponer de un

incremento fantástico de la disponibilidad de energía y generó cambios sociales tan importantes y positivos como la abolición de la esclavitud.

Sin embargo, en los últimos años han surgido múltiples señales que indican que estamos gradualmente ingresando en una etapa distinta de la energía mundial.

El presente informe contiene un análisis preliminar de los principales aspectos que han incidido y que condicionan a las soluciones posibles en relación a las emisiones de GEIs y al Cambio Climático. A continuación se describe brevemente el contenido:

- Introducción.
- Rol de Naciones Unidas, Acuerdos de Kioto y París.
- Propuestas de aplicación de impuestos a la emisión de CO<sup>2</sup>.
- Los modelos de simulación de la emisión de GEI.
- Crecimiento poblacional y crecimiento del producto (PIB).
- Participación de la energía eléctrica en la emisión de GEIs.
- Rol de la energía Hidráulica.
- Rol de la energía nuclear.
- Rol de la energía eólica, la energía solar y otras formas de energía en desarrollo.
- Conclusiones.

### **Rol de Naciones Unidas, Acuerdos de Kioto y París**

Durante las últimas tres décadas, se han realizado grandes esfuerzos por acordar políticas globales para la planificación y desarrollo de ideas, iniciativas y programas que definan las medidas a ejecutar en los próximos años y así mitigar el impacto de las acciones antropogénicas, simultáneamente por todos los países. En este marco la ONU ha jugado un papel protagónico, realizando encuentros anuales de acuerdo con lo indicado en la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)”, denominadas Conferencias de las Partes (COP), en la actualidad son 195 las naciones firmantes de este acuerdo. Fue en el año 1992, en Estocolmo, cuando se aprobó la entonces denominada CMNUCC, por las naciones inicialmente firmantes que entonces expresaron su preocupación porque “Las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y porque ese aumento intensifica el efecto invernadero natural, lo cual dará como resultado, en promedio, un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la Tierra y puede afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad”. Sin embargo estas negociaciones internacionales vienen registrando pocos avances significativos.

El propósito de esta Convención fue moderar y mitigar interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático, en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Las naciones firmantes de la CMNUCC se comprometieron a ejecutar programas orientados a “mitigar el cambio climático”.

Las reuniones realizadas son las siguientes: Berlín (1995), Génova (1996), Kioto (1997), Buenos Aires (1998), Bonn(1999) ,La Haya (2000), Bonn (2001), Marrakech (2001), Nueva Deli (2002), Milán (2003), Buenos Aires (2004), Montreal (2005), Nairobi (2006), Bali (2007) Poznan (2008), Copenhague (2009), Cancún (2010), Durban (2011), Doha (2012), Varsovia (2013), Lima (2014), París (2015), Marruecos (2016), Bonn (2017). El año pasado le correspondió a Katowice en Polonia ser la sede de la reunión anual de los países signatarios de la CMNUCC. Esta localización resulta significativa por estar ubicada en el corazón de uno de los mayores centros de producción de carbón de Europa, aunque, en realidad la súper producción se da en Asia, donde China concentra casi el 20% de la producción mundial, y también en Estados Unidos, Rusia, India y Australia.

La comunidad internacional ha tomado nota gradualmente del problema, y ha formalizado algunas acciones multilaterales, cuya máxima expresión fueron los acuerdos de Kyoto (Japón) en el año 1997 y de París (Francia) en el año 2015 en el marco de las Naciones Unidas.

Los acuerdos de Kioto, contemplan, asumir un compromiso global por parte de todos los países signatarios, y, además, compromisos concretos de reducción de emisiones, especificando el porcentaje de las mismas, que obliga sólo a los países listados en su Anexo I, considerados los países desarrollados. Otro aspecto importante es la creación de los denominados “Mecanismos de Desarrollo Limpio”, MDL, que proponen la creación de bonos de ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero, que pueden comprar las empresas de los países obligados a reducir emisiones, dentro de proyectos de baja emisión en los países no obligados. Los MDL realizan un aporte financiero que contribuye a la factibilidad económica de proyectos de ahorro de emisiones, en los países no Anexo I, o sea no obligados.

Sin embargo estos acuerdos resultaron insuficientes porque los países no obligados en el Anexo I tenían un crecimiento más rápido y su expansión estaba regida por compromisos cualitativos no evaluables de forma objetiva. La mayoría de los nuevos consumos de energía (crecimiento de la demanda de energía) se producía en los países no obligados a reducir sus emisiones. Este crecimiento se abastecía, en su mayor parte, mediante la aplicación de tecnologías altamente emisoras. En otras palabras, el rápido crecimiento de la demanda de los países en vías de desarrollo se abastecía mayoritariamente mediante la combustión de hidrocarburos, por lo que la participación de las energías renovables de baja emisión se encontraba en permanente retroceso. Los países en vías de desarrollo se veían en la necesidad de atender el crecimiento de la demanda de servicios mediante el uso masivo del automotor en el transporte y los ciclos combinados (centrales térmicas que queman hidrocarburos) en la generación eléctrica.

Debe tenerse presente que la comunidad de los países no obligados a reducir emisiones, o no Anexo I, eran un conjunto de países muy heterogéneos donde coexistían islas pequeñas con niveles de desarrollo pre industrial hasta países enormes, con industria importante y alta tasa de crecimiento como China e India. Existía, por lo tanto, un conjunto de países de desarrollo intermedio y alta tasa de crecimiento, cuya expansión se desenvolvía fuera del control de las emisiones.

Se creaba un círculo vicioso que seguía la lógica siguiente:

- Los países obligados por el Anexo I fueron países con alto nivel de consumo de energía pero baja tasa de crecimiento de su producto bruto.
- La mayor parte de la expansión del consumo de energía se concentraba sobre los países no obligados a reducir sus emisiones (en general los países en vías de desarrollo).
- Los países en vías de desarrollo tienen grandes recursos de energías renovables de baja emisión (hidro, solar y eólica).
- Los países en vías de desarrollo tienen en la falta de capital para financiar sus inversiones, al principal factor limitante de su desarrollo.
- Las energías renovables de baja emisión son inversiones intensivas de capital y obligan a los países en vías de desarrollo a aplicar a su implementación una parte importante de sus recursos financieros y a postergar otros sectores del desarrollo económico y social.
- La disminución esperable en las emisiones de los países desarrollados, se veía neutralizada por el rápido crecimiento del consumo en los países en vías de desarrollo y el abastecimiento de este crecimiento mediante tecnologías de alta emisión.
- Los mecanismos de financiamiento de reducciones de emisiones en los países en vías de desarrollo, como los mecanismos de desarrollo limpio, no estaban orientados a financiar una parte importante del crecimiento del consumo con tecnologías de baja emisión.

En resumen, se advirtió que los países desarrollados deben aplicar recursos financieros suficientes para financiar el crecimiento del consumo energético de los países en vías de desarrollo con sistemas de baja emisión, que resultan siempre capital intensivos y poco accesibles para los países no obligados a las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, o sea los países que no formaban parte del Anexo I, en los términos de los acuerdos de Kioto.

Resultaba notorio, que era necesario obtener un compromiso global de reducción de emisiones que involucrara a los países en vías de desarrollo, con los apoyos financieros y tecnológicos necesarios para hacer posible ese cambio estructural. Razón por la cual, tras varios años de negociaciones, en la COP21 en el 2015, se adopta el Acuerdo de París (ADP).

Por este acuerdo la comunidad internacional se propone alcanzar un compromiso de carácter jurídico vinculante, por el cual los países firmantes se obligaran a reducir las emisiones globales de efecto invernadero con metas concretas. Tales metas evitarían el incremento de la temperatura media global del planeta por encima de los 2°C respecto a los niveles preindustriales y promoverían incluso, esfuerzos adicionales que disminuyan ese tope al 1,5°C.

De la misma forma busca:

- Aumentar la capacidad de adaptación y resiliencia al cambio que las acciones de disminución de los GEIs puedan provocar.
- Asegurar el flujo financiero en todos los casos donde resulte necesario para la adopción de tecnologías no emisoras y en especial en aquellos casos donde las consecuencias del CC impacten de manera más significativa.

El ADP exige a cada parte realizar, mantener y comunicar el plan de las Contribuciones previstas determinadas para la lucha contra el Cambio Climático (CC) y sus efectos, los cuales hoy en día son 190 planes, que prevén acciones referidas al 99% de la generación de GEIs, también solicita a las partes hacer revisiones de sus metas y aumentarlas cada 5 años, en donde se contemplen no solo los compromisos de reducción de emisiones, sino también el estado de las acciones de adaptación y la situación de los medios de implementación, en especial, la financiación.

Reconoce también las necesidades específicas que tienen los países más vulnerables y que vienen demandando desde hace años en el proceso de negociación, para que estos puedan afrontar mejor las pérdidas y daños asociados a los impactos provocados por el Cambio Climático.

EL acuerdo de París supuso un hito histórico en la lucha contra el cambio climático, puesto que establece la necesidad de conseguir la neutralidad de las emisiones, es decir, un equilibrio entre las emisiones y las absorciones de gases de efecto invernadero en la segunda mitad de siglo. Lamentablemente los 2 mayores emisores no adhieren por el momento a este tratado, en el caso de los Estados Unidos, acordó inicialmente su participación durante la administración de Obama, para retirar luego su apoyo al acuerdo durante la presidencia de Trump.

### **Propuestas de aplicación de impuestos a la emisión de CO2.**

En los últimos años ha aparecido la necesidad de reflejar en la microeconomía de cada operador económico, las externalidades producidas por las emisiones de gases de efecto invernadero. En ese sentido, muchos autores coinciden en la necesidad de establecer un impuesto global a las emisiones de GEIs, que encarezca a las soluciones

de alta emisión de modo de inducir a la adopción de tecnologías no emisoras, por razones de estricta conveniencia económica para cada una de las empresas.

El FMI ha realizado diversos estudios proponiendo aplicar un precio por unidad de CO<sup>2</sup> equivalente al valor presente del daño ambiental (enfoque Pigou). Este precio por unidad de carbono debe ser globalmente único, no interesando ni la localización geográfica ni el combustible fósil causante de las emisiones. El precio estimado por el FMI en el 2014 llegaba a casi 8 dólares el barril de petróleo (IMF-WP 174-año 2014), con este precio se podría lograr una reducción de las emisiones en los 20 grandes países estudiados en el orden del 13,5 por ciento, lo cual equivale a casi un 11 por ciento de reducción global. En un estudio más reciente del FMI (WP 105-año 2015) se estima que las externalidades negativas originadas por el consumo de fósiles, y que no están reflejadas en el sistema de precios vigente, corresponden a una considerable magnitud ya que llegan a 6,5 por ciento del PBI mundial. La sugerencia es cubrir estas externalidades negativas a través del mecanismo de precios, con una disminución prevista en las emisiones de CO<sup>2</sup> del 23%. Durante el año 2015, Christine Lagarde en su carácter de Directora Gerente del FMI, ha expresado en varias oportunidades la “necesidad de establecer un precio a las emisiones contaminantes”.

En diversos documentos preparados por Naciones Unidas también se propicia la imposición de un impuesto al CO<sup>2</sup>, en este sentido se sostiene que “Imponer un precio al CO<sup>2</sup> es inevitable en un esquema efectivo de reducción de las emisiones”<sup>1</sup>. En el documento “Mejor crecimiento, mejor clima”, presentado por el UN-High Level Global Commission on the Economy and Climate Change (septiembre 2014) se propone “Reducir gradualmente los subsidios a los combustibles fósiles e introducir precios predecibles para el CO<sup>2</sup>”.<sup>2</sup>

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (Cepal), hacia 2014 Venezuela, México, Ecuador, Argentina y Colombia eran los países latinoamericanos con mayores distorsiones en los mercados de combustibles, debido a la existencia de subsidios a la nafta y el diesel. Este tipo de subsidios, al no reflejar las externalidades negativas, producen el aumento de la demanda de los derivados del petróleo e impiden el desarrollo de alternativas, como la movilidad eléctrica, y fomentan el uso del transporte privado por sobre el transporte público, por ejemplo.<sup>3</sup>

Los precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) en las iniciativas implementadas esta evaluadas entre US\$1-140, de las cuales tres cuartos de las emisiones cubiertas están en menos de US\$10/tCO<sub>2</sub>e. La necesidad cada vez más acuciante de desalentar el

---

<sup>1</sup> UN-Special Envoy on climate change, June 2014

<sup>2</sup> <https://www.infobae.com/opinion/2017/11/09/novedad-tributaria-el-impuesto-a-las-emisiones-de-dioxido-de-carbono/>

<sup>3</sup> <https://farn.org.ar/archives/23151>

consumo de combustibles fósiles hasta su abandono y de su reemplazo por tecnologías sin emisiones hará que, en los próximos años, este precio vaya en aumento.

En cuanto al ámbito empresarial, más de 1,300 compañías están usando o planean usar precios internos de carbono en los próximos dos años, el 83% de estas empresas están ubicadas en jurisdicciones con iniciativas de fijación de precios del carbono implementadas o programadas para su implementación.<sup>4</sup>

País	Suecia	Suiza	Finlandia	Noruega	Francia	Dinamarca	Reino Unido	Irlanda	Eslovenia	Corea	Alberta, Canadá	Quebec, Canadá	California, EEUU	Ontario, Canadá	Portugal	Colombia	Chile	México	Polonia	Ucrania
Precios US\$/tCO <sub>2</sub> e	140	87	73	56	36	27	24	24	20	18	16	15	15	15	8	5	5	< 1	< 1	< 1

Tabla de precios de impuestos a las Emisiones de CO<sub>2</sub> a de algunos países. Tomado de: World Bank, Ecofys and Vivid Economics. 2017. State and Trends of Carbon Pricing 2017

### Modelos de simulación de la emisión de GEI

Los modelos usados para realizar las predicciones del Cambio Climático están basados en ecuaciones que simulan en un todo procesos atmosféricos, oceánicos y continentales, mediante la resolución de ecuaciones de leyes y principios de la Física que gobiernan los procesos en cada componente del sistema y los intercambios de energía y masa entre sí. El uso de estos simuladores requieren superordenadores para el desarrollo de los cálculos e iteraciones a escala global, razón por la cual estas simulaciones son costosas y muy complejas<sup>5</sup>.

El IPCC para la realización de sus proyecciones ha tomado como referencia modelos globales proporcionados en el marco del proyecto CMIP5, estos conforman un conjunto de varios modelos usados en varios lugares del mundo.

Las principales variables a considerar en estos modelos para las proyecciones de las emisiones futuras son las siguientes:

- Variación de la población
- Variación del ingreso per cápita
- Eficiencia energética y mejoras tecnológicas
- Uso del transporte público o privado

<sup>4</sup> World Bank, Ecofys and Vivid Economics. 2017. State and Trends of Carbon Pricing 2017 (November), by World Bank, Washington, DC. Doi: 10.1596/978-1-4648-1218-7

<sup>5</sup>Manuel Castro 2007, Proyección Regional de Escenarios de Cambio Climático. Técnicas y Proyectos en Curso



- Electrificación de los autos
- Electrificación del ferrocarril
- Participación del transporte marítimo y fluvial en el total
- Sustitución de las fuentes fósiles por fuentes renovables o no emisoras en el consumo de energía
- Tasa de forestación o desforestación
- Tasa de variación de la población de rumiantes

Es necesario dotar a los modelos de una base de datos con proyecciones de las variables consideradas y el modelo procesará los resultados para poder prever las emisiones esperables de cada uno de los escenarios estudiados.

Los resultados de todos los modelos permiten asegurar que no estamos ante un problema fácil de resolver. Aún, los escenarios más favorables a la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, con bajas tasas de crecimiento de la población y del ingreso per cápita (muy difíciles de sostener políticamente), así como, tasas de uso de fuentes renovables y de cambios tecnológicos muy superiores a las registradas hasta el presente, arrojan resultados poco satisfactorios desde el punto de vista climático.

Es indudable que resulta necesario comenzar a realizar una planificación energética global, basada en paradigmas distintos a los del siglo XX, en el cual se asumió como un valor fuera de discusión que debía promoverse el crecimiento permanente del producto bruto y del consumo de energía y que el aumento de la producción de petróleo y gas era el medio idóneo para lograrlo.

La mejor manera de desarrollar este planeamiento consiste en continuar avanzando por el sendero del progreso tecnológico, desarrollando nuevas iniciativas que sean amigables con nuestro planeta. El actual modelo económico, basado en la explotación y utilización de los combustibles fósiles, deberá ser sustituido en el futuro por otro sustentado en las nuevas energías limpias, y también en la mayor eficiencia en el consumo de energía.

### **Crecimiento poblacional y crecimiento del producto.**

La humanidad ha registrado un fuerte incremento de la población mundial, que se sostiene en forma lineal en las últimas décadas, como se aprecia en el cuadro siguiente.

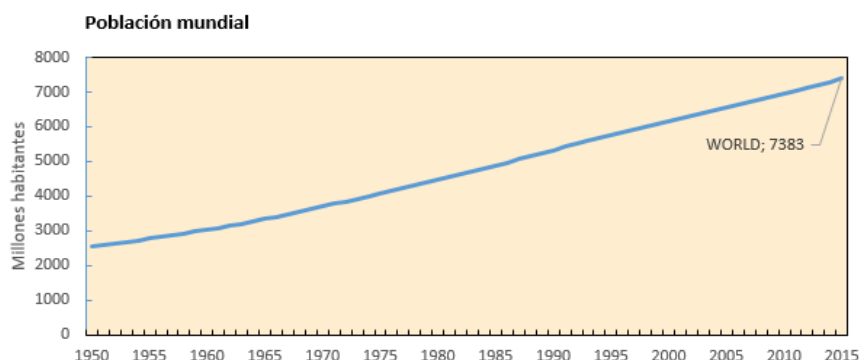


Gráfico de evolución de la población mundial (1950-2015). Elaboración propia en base a Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población (2017).

En realidad, el crecimiento de la población mundial, es la suma del crecimiento de las distintas regiones que se han desarrollado poblacionalmente con velocidades muy diferentes, en ese sentido, la población del África que en el año 1960 era menos de la mitad de la de Europa, hoy casi la duplica, como podemos ver en el cuadro siguiente.

Población mundial y por región	Población y crecimiento (Millones)			
	1960	2015	Tasa de crecimiento	Crecimiento en extremo
Mundo	3 033	7 383	1,38	143
África	285	1 194	2,23	319
Asia	1 700	4 420	1,48	160
Europa	606	741	0,31	22
Latino América y el Caribe	221	632	1,63	186
Norte América	205	356	0,85	74
Oceanía	16	40	1,42	150

Tabla de población mundial y por regiones. Obtenido del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población (2017). Perspectivas de la población mundial: Revisión de 2017.

Al mismo tiempo que se registró el crecimiento poblacional indicado, se produjo un crecimiento importante del PBI per cápita y del Producto Bruto Global.

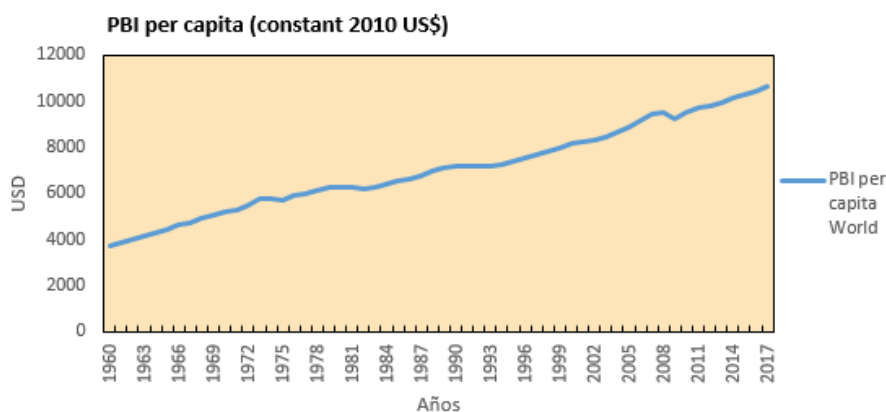


Gráfico de evolución del PBI per cápita mundial. Elaboración propia en base de los datos de cuentas nacionales del Banco Mundial y archivos de datos de cuentas nacionales de la OCDE.

El crecimiento del producto bruto mundial es una combinación de crecimiento demográfico y crecimiento del PBI per cápita. En el periodo 1960 a 2015, la población creció un 143% mientras el PBI per cápita hizo lo propio en un 175% de lo que se desprende un crecimiento del PBI global del 568%, se aprecia que el crecimiento poblacional tiene una incidencia casi tan importante como el crecimiento del producto bruto per cápita en el resultado global. Lamentablemente el crecimiento poblacional de las regiones más pobres ha anulado las posibilidades de tener una mejora importante en los niveles de vida, pese a lo cual han registrado un gran crecimiento del producto bruto total y de las emisiones de GEI. Es necesario realizar un gran esfuerzo para bajar el crecimiento demográfico ya que no es sostenible políticamente y, además muy injusto, la posibilidad de limitar el crecimiento del PBI per cápita, especialmente en los sectores más desfavorecidos. El camino a recorrer deberá basarse en el freno de la explosión demográfica, sumado a una política agresiva de uso racional de la energía, de este modo se logrará incrementar el Producto Bruto sin aumentar los insumos energéticos. Además será importante auditar los resultados de estas políticas para que los ahorros que se planifiquen se registren efectivamente en la evaluación posterior.

Resulta, además, muy necesario comenzar a realizar una **planificación energética global**, basada en paradigmas distintos a los del siglo XX, en el cual se asumió como un valor fuera de discusión que debía promoverse el crecimiento permanente del consumo de energía y que el aumento de la producción de petróleo y gas era el medio idóneo para lograrlo.

El crecimiento demográfico es un gran obstáculo para el desarrollo socioeconómico de las regiones más pobres del planeta y para la mitigación del cambio climático. Sin embargo resulta un tema difícil de abordar por sus implicancias religiosas y personales, lo que deriva en una baja determinación de la comunidad internacional tendiente a la

adopción de acciones concretas para la estabilización de la cantidad de seres humanos sobre la Tierra.

### Participación de la energía eléctrica en la emisión de GEIs

La generación de energía eléctrica es el principal responsable de la emisión de gases de efecto invernadero. Este sector representa el 35% del total de las emisiones globales.

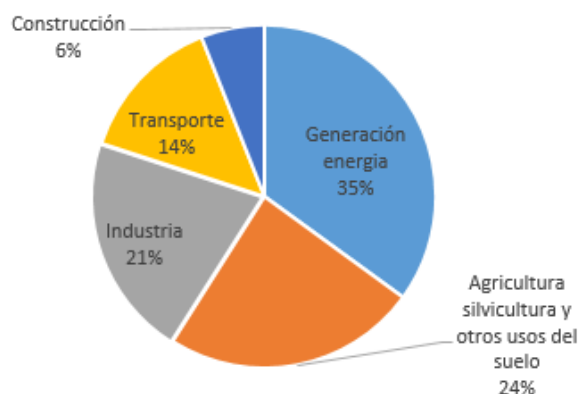


Gráfico de fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en el año 2010. Elaboración propia en base al Quinto informe de IPCC.

Se podría suponer que este sector, que es la cuna de la planificación y uno de los sectores más regulados de la economía en todos los países, debería obtener los mejores resultados en la aplicación de políticas para el abatimiento de las emisiones, Sin embargo los resultados son muy desalentadores.

Fuente	1990		2015	
	Generación GWh	% Generación	Generación GWh	% Generación
Carbón	4430352	37,30%	9551747	39,250%
Petróleo	1323109	11,14%	972574	3,996%
Gas	1750108	14,74%	5551832	22,813%
Biocombustible	105716	0,89%	414032	1,701%
Residuos	24141	0,20%	103026	0,423%
Nuclear	2012902	16,95%	2570170	10,561%
Hidroeléctrica	2193299	18,47%	3992519	16,406%
Geotérmica	36425	0,31%	80471	0,331%
Solar	0	0,00%	250228	1,028%
Solar térmica	0	0,00%	9605	0,039%
Eólica	0	0,00%	838546	3,446%
Mareomotriz	536	0,00%	1006	0,004%
<b>Total</b>	<b>11876588</b>	<b>100,00%</b>	<b>24335756</b>	<b>100,000%</b>

Tabla de generación eléctrica por fuente 1990-2015. Elaboración propia en base a datos estadísticos de la Agencia Internacional de Energía.

El año de origen es cercano al inicio de los trabajos en Naciones Unidas en esta problemática, que se materializó en los acuerdos de Estocolmo de 1992.

Se aprecia que la generación total tuvo un fuerte crecimiento del 104% en términos absolutos en el periodo 1990 - 2015 y que, dentro de este total, existe un aumento porcentual de la participación de los hidrocarburos como fuente. Se observa, incluso, que el carbón registra un crecimiento de 115% en términos absolutos y que su participación pasa de 37,3% a 39,25%.

Se puede indicar, además, que el importante crecimiento de la energía eólica, solar y de biomasa no compensa la baja de la participación nuclear e hidráulica, ni en términos absolutos ni relativos.

En las últimas décadas se asumió la necesidad de reducir la participación de los hidrocarburos, principalmente del carbón, para reducir la emisiones de GEIs, pero la estrategia utilizada se basó en el no desarrollo de la energía hidráulica y de la energía nuclear, por lo que se produjo un retroceso relativo de estos sectores, sin que la producción de energía eólica y solar lograra reemplazar, ni a la generación con hidrocarburos, ni a la pérdida relativa de la hidro y la nuclear. Ninguna estrategia exitosa de abatimiento de los gases de invernadero puede prescindir de los dos sectores más importantes de generación no emisora, que son la hidro y la nuclear. Podrá extremarse el cuidado en el desarrollo de estos sectores para evitar consecuencias ambientales no deseadas pero nunca tratar de sustituirlos. El objetivo de esta política debería ser lograr el crecimiento porcentual de la participación hidroeléctrica, nuclear y renovable no convencional, de modo de apuntar a una baja de la participación de los hidrocarburos en términos relativos, como mínimo y en términos absolutos como deseable.

Esto no debería interpretarse como una recomendación que promueva la disminución de los esfuerzos en el desarrollo eólico y solar, sino por el contrario, desarrollar en forma conjunta y planificada, la expansión de las fuentes no emisoras en la producción de energía eléctrica.

Es necesario tener presente que si se decide, por ejemplo, congelar el crecimiento de la energía nuclear, debería preverse un desarrollo de las centrales hidroeléctricas de base, tal que aporte la cuota que perderá la nuclear, más el crecimiento propio necesario de las hidro. Mientras la demanda total crece, el sector no emisor debe crecer más que el total del sistema para que la participación de los hidrocarburos pierda presencia en la generación total y ese crecimiento debería ser aún mayor si se pretende que los hidrocarburos tengan una baja en términos absolutos.

En paralelo debe trabajarse la demanda mediante políticas de ahorro y uso racional de la energía, que limiten las necesidades totales de la producción energética.

Este esfuerzo para acotar la producción total, debe considerar además el crecimiento esperable de demandas adicionales de energía eléctrica, que forma parte de la presente política de ahorro. Tal es el caso de la demanda adicional que sumará el desarrollo del auto eléctrico y la expansión de trenes eléctricos y subterráneos. En ningún caso esta demanda adicional debería ser atendida mediante un incremento de la participación de fuentes de generación basadas en la combustión de hidrocarburos.

### **El rol de la energía Hidráulica**

La energía hidráulica es, por mucho, el recurso renovable más usado en los sistemas eléctricos del mundo. Es usada desde hace más de un siglo y hoy representa el 16 % de la producción global.

La producción de energía hidroeléctrica ha enfrentado críticas y obstrucciones de parte de sectores que defienden principios de protección del Ambiente, lo que ha generado dificultades para la obtención del financiamiento de nuevas obras hidroeléctricas. Esto ha derivado en la caída de la participación hidroeléctrica en la generación de energía eléctrica global, de los 18% puntos en el año 1990 al 16% en el 2015. Esta disminución pone en entre dicho el incremento de la producción de energía renovable en el sector eléctrico a nivel mundial.

Las centrales hidroeléctricas con embalse pueden generar potencia garantida para el sistema y resulta la única manera de alcanzar proporciones altas de energía renovable, como por ejemplo, volver a superar el 50 % como ocurrió en 1985, en la generación eléctrica en la Argentina. Además, son la mejor forma conocida de acumulación de grandes cantidades de energía y permiten compensar las interrupciones y la falta de garantía de otras formas de generación, como la eólica y la solar.

Por otra parte, las centrales hidroeléctricas son de carácter multipropósito, ya que según los casos, brindan control de crecidas, regulación de los ríos para el riego y la navegación, desarrollo turístico y provisión de agua para usos consuntivos.

El freno al desarrollo de la energía hidráulica impedirá el crecimiento de la contribución de las energías renovables al suministro eléctrico y el abatimiento de la producción y emisión de gases de efecto invernadero.

### **Rol de la energía nuclear**

La participación de la generación nuclear en la generación total de energía eléctrica en el mundo, registra un crecimiento aproximado del 30% en términos absolutos entre los años 1990 y 2015, pero una pérdida importante en su participación relativa y su

contribución a la generación global sin emisión de gases de efecto invernadero, ya que registra una pérdida del 17% al 11%.

La energía nuclear no genera GEI durante su explotación, pero ha sufrido importantes resistencias a la instalación de nuevas centrales por los temores que despierta entre las poblaciones cercanas y entre los grupos preocupados por la contaminación ambiental.

Quienes respaldan la energía nuclear ya no hablan únicamente de “energía barata” sino de “tecnologías de bajo carbono” (aún cuando hay cierta emisión de carbono durante la construcción de una planta nuclear y la extracción de uranio), un término que no sólo abarca las energías renovables sino la energía nuclear.

La energía nuclear implica seis preocupaciones serias<sup>6</sup>:

1. El riesgo de un desastre nuclear (como los accidentes bien conocidos en Fukushima, Chernóbil y Three Mile Island y otros no tan conocidos como el de Kyshtym);
2. El riesgo de la proliferación (que el plutonio de plantas nucleares se use para propósitos militares);
3. El riesgo de radiación del almacenaje de los desechos nucleares;
4. Los costos ya que por el momento los bancos no están financiando la construcción de nuevas plantas nucleares debido a que son muy costosas en comparación con las energías renovables.
5. La disponibilidad limitada de reservas de uranio; y
6. La incompatibilidad de la energía de base nuclear inflexible con las fluctuaciones de la energía eólica y solar.

El tercer riesgo de radiaciones por desechos nucleares es incluso mayor porque lo pasaremos a las generaciones futuras, quienes no podrán consumir la energía nuclear que producimos hoy y sí tendrán forzosamente que lidiar con los desechos.

Esta enumeración es demostrativa de que la resistencia y los temores que despierta la construcción de nuevas plantas nucleares tiene justificativos importantes, pero resulta igualmente evidente que la disminución de la participación nuclear en la generación de energía eléctrica atenta contra el esfuerzo mundial para limitar la emisión de gases de invernadero, y que cada punto porcentual que pierde la energía nuclear favorece el crecimiento de la combustión de hidrocarburos en la generación térmica.

Si bien se puede comprender los temores de las poblaciones cercanas y la resistencia a la construcción de nuevas centrales, resulta claro que son un aporte importante a la generación sin emisión de GEI y que su freno dificulta el progreso en el abatimiento de las emisiones.

---

<sup>6</sup> <https://book.energytransition.org/es/node/16>

## Rol de la energía eólica, la energía solar y otras formas de energía en desarrollo

En el sector eléctrico se han impulsado los proyectos de energía eólica y solar como propuesta principal para desarrollar tecnologías limpias en la generación eléctrica y así disminuir los gases de efecto invernadero de este sector, sin embargo este envión que promete cambios visibles, no es suficiente, se habla de los megaproyectos de aerogeneradores que sin dejar de ser muy grandes (Solo los Parques de aerogeneradores en EEUU generan más que toda la Argentina), no representa una cantidad que permita dejar a un lado las tecnologías con hidrocarburos.

País	Generación Total GWh	Eólica GWh	% Eólica
China	6217907	237071	3,81%
US	4322038	229471	5,31%
Alemania	649119	78598	12,11%
India	1477564	44856	3,04%
España	274779	48906	17,80%
Reino Unido	339399	37367	11,01%
Brasil	578889	33488	5,78%
Japón	1057976	5951	0,56%
Uruguay	13238	2994	22,62%
Suecia	156010	15479	9,92%
Dinamarca	30522	12782	41,88%
Portugal	60280	12474	20,69%
Irlanda	30418	6149	20,22%
Argentina*	147220	554	0,38%

\*La generación de energía eólica aumentó a 1412 GWh en el 2018

Tabla de Generación de electricidad total y eólica en países seleccionados en el 2016. Elaboración propia en base a datos de la Agencia Internacional de Energía.

El cuadro precedente permite apreciar que los sistemas que no cuentan con interconexiones a sistemas mucho más grandes, que les sirven de reserva, presentan porcentajes que rara vez superan un dígito y que los porcentajes más importantes solo se alcanzan en países que forman parte de sistemas mucho mayores donde el porcentaje total resulta más bajo. En este sentido, los casos de países como Dinamarca, Portugal y Uruguay no son repetibles en los sistemas mayores sin incurrir en inversiones muy importantes de reserva y transmisión.

Téngase presente, por ejemplo, que las normas argentinas han establecido, de manera explícita que el costo de los sistemas de transmisión destinados a evacuar energía eólica y solar, serán absorbidos por el sistema en su conjunto y no se sumará al costo de generación de la central renovable. Este criterio de subsidio, puede resultar interesante



para facilitar las primeras etapas de estos desarrollos pero puede derivar en sobrecostos insostenibles si se pretende llegar a porcentajes de participación eólica y solar del 20% de la generación de energía para el año 2025, como prevé la ley 27191. Téngase presente que la generación de un 20% de la producción de energía del sistema argentino SADI, requeriría, aproximadamente, que se instalara un 30% de la potencia del sistema eléctrico con generadores eólicos o solares, lo que derivaría en incrementos de los valores de la reserva y de la transmisión que no podrían ser soportados por el sistema, ya que el sistema argentino no cuenta con interconexiones suficientes con sistemas vecinos mucho mayores.

De todos modos, este objetivo es totalmente inalcanzable y la participación real sigue siendo cercana al 1%, muy lejana de valores como el mencionado más arriba.

Las normas de promoción deberían abarcar además a la energía eólica y solar que no produzca energía eléctrica, sino energía mecánica o calor, al igual que la energía eléctrica que no se inyecta al servicio público, ya que estas omisiones, dejan fuera de las políticas públicas a sectores tan importantes como el bombeo eólico de agua para la agricultura y ganadería, que es clásica en el campo argentino.

## **Conclusiones**

Resulta necesario que la comunidad internacional negocie la incorporación de Estados Unidos y China a los acuerdos de París de 2015. Estos dos países son los mayores emisores del mundo y producen, entre ambos, el 38% de las emisiones globales. La no participación de estos países pone en una situación desigual a los países cumplidores de sus obligaciones y desalienta los esfuerzos de la comunidad internacional para el abatimiento del calentamiento global.

El establecimiento de un impuesto global a las emisiones de GEIs, permitirá internalizar en los costos de cada actividad los resultados climáticos de las emisiones de cada agente económico. Además puede resultar el medio idóneo para generar los recursos necesarios para el financiamiento de la adopción de tecnologías no emisoras en los países en vías de desarrollo.

El crecimiento de la población mundial debería ser frenado y, más tarde revertido, para que el crecimiento del producto bruto per cápita (necesario en los países no desarrollados) no genere un importante crecimiento de las emisiones de GEI. Además, debería ponerse el mayor de los énfasis en la aplicación de políticas de uso racional de la energía para disminuir el uso de energía por cada unidad de producto.

El desarrollo de las energías renovables es un desafío, una oportunidad y una necesidad, tanto a nivel mundial como nacional. Sin embargo, no resulta previsible un crecimiento importante de la participación de las energías renovables sin un desarrollo acelerado de los recursos hídricos. No es esperable un crecimiento ilimitado de la

participación de la energía eólica y solar por sus limitaciones para la garantía del servicio eléctrico, pero la suma de estos recursos con la energía hidráulica, especialmente las centrales con embalse que pueden acumular grandes cantidades de energía y compensar las interrupciones de los sistemas discontinuos pueden asegurar una baja efectiva de las emisiones de GEI.

Para que la declinación permanente de la participación de la energía no emisora de GEI se revierta, tanto en el mundo como en la Argentina, resulta necesario modificar el rumbo de las acciones y no persistir en los errores. En ese sentido se propone complementar el desarrollo de la energía eólica y solar con un crecimiento importante de la energía hidráulica, en el marco de una planificación que asegure la disponibilidad de estudios técnicos, económicos y ambientales adecuados según la complejidad de cada emprendimiento.

En la Argentina se dictaron distintas normas para promover el uso de la energía renovable no convencional, pero estos regímenes no produjeron resultados materiales hasta que se dictó el decreto 531 del año 2016, reglamentarios de la ley 27191. En este marco, el régimen despertó interés y canalizó inversiones importantes, que permitieron la aparición de la generación eólica y solar como un jugador real en el sistema, aunque sin un volumen que compense la pérdida relativa de la energía hidráulica, por lo que la generación de energía renovable total, continúa disminuyendo.

Puede advertirse que existe, en general, una gran resistencia de los dirigentes políticos a liderar los cambios necesarios para el abatimiento de las emisiones contaminantes, ya que las medidas a adoptar pueden resultar una limitación para el consumo masivo de bienes y servicios. Mientras la prioridad absoluta esté enfocada al crecimiento del consumo como un valor dominante de la sociedad, resultará complicado el logro del consenso necesario para encaminar soluciones políticamente viables.

Es necesario revisar la estrategia mundial para el abatimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que los esfuerzos realizados hasta el presente no permiten prever la solución del problema ambiental más grande que enfrenta la humanidad y el único que compromete la permanencia de la especie sobre la Tierra.

Mayo 2019