

# CAMBIO CLIMÁTICO Y MEDIO AMBIENTE

Griselda Ferrara de Giner

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. [griferrara1941@gmail.com](mailto:griferrara1941@gmail.com)

## RESUMEN

El cambio climático es un fenómeno de alcances planetarios que impacta al medio ambiente en toda su complejidad. En este artículo presentamos en primer lugar una descripción introductoria del problema que incluye datos del último informe del IPCC, seguido de una visión de la evolución de los problemas ambientales y como han desembocado en el cambio climático al que nos enfrentamos en la actualidad, y como ha sido el cambio en la percepción del mismo a nivel global y en los últimos dos siglos. Finalmente se presentan los efectos más destacados del cambio climático en los sistemas físicos, biológicos y gestionados de nuestro planeta. Como colofón hacemos unas reflexiones finales que incluyen las conclusiones de la COP 26.

Palabras Clave: Cambio climático; Calentamiento global; Ambiente y cambio climático.

## CLIMATE CHANGE AND ENVIRONMENT

### ABSTRACT

Climate change is a phenomenon of planetary scope that impacts the environment in all its complexity. In this article we present first an introductory description of the problem with data from the latest IPCC report, followed by a vision of the evolution of environmental problems and how they have led to climate change that we face today, and how has been the change in the perception of it globally and in the last two centuries. Finally, the most prominent effects of climate change on the physical, biological and managed systems of our planet are presented. As a culmination we make some final reflections that include the conclusions of COP 26.

Keywords: Climate change, global warming, environment and climate change.

### Introducción

Hablar del cambio climático es hablar de uno de los problemas más acuciantes que enfrenta la humanidad en la actualidad. Se ha escrito y se está escribiendo ingentes cantidades de informaciones sobre este fenómeno con enfoques y profundidad diversos. Algunos alarmantes, escépticos unos pocos, sesgados otros, basados en evidencias científicas contundentes la gran mayoría.

El cambio climático es un problema de alcances planetarios y con visos de larga duración hacia el futuro. Ya es una realidad avasallante que nos muestra día a día sus efectos negativos en campos tan variados como el ascenso del nivel del mar, el incremento de graves inundaciones y de las olas de calor, entre otros. El cambio climático puede considerarse una interferencia humana en el sistema climático global. La Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC) lo define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial

y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Las pruebas que se acumulan soportando esta realidad son cada vez más contundentes. Según el 6° informe del IPCC (Grupo I), publicado muy recientemente en agosto de 2021, cada una de las últimas cuatro décadas han sido sucesivamente más calientes que alguna década precedente desde los niveles preindustriales (1850). La temperatura de la superficie global en las primeras dos décadas del siglo XXI fue 0,99 (0,84-1,10) °C superior que entre 1850-1900. En este informe se afirma, con mucho más énfasis que en informes anteriores, que es inequívoco que por la influencia humana se han producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la biosfera.

Como muestra del incremento de la temperatura promedio global del planeta desde el inicio de la época industrial, a continuación, en la figura 1, puede observarse como entre 1850-2015, ésta no ha cesado de aumentar.

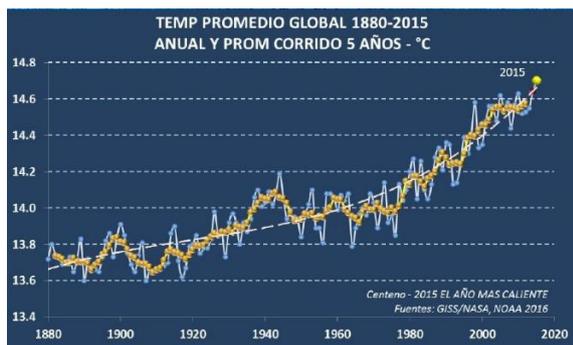


Figura 1: Temperatura promedio global 1850-2015

Fuente: GISS/NASA, NOAA, 2016 en Centeno, 2018

Preocupa aún más la aceleración de la tasa de incremento de la temperatura. En la figura 2, a continuación, que data de 2007 puede observarse que la velocidad de incremento de la temperatura global entre 1980 y 2007 alcanzó un valor de 0,177 °C/década, cuando observamos que en los últimos 150 años este valor fue bastante menor alcanzando 0,0145 °C/década. Esto significa que la tasa se incrementó en 12 veces.

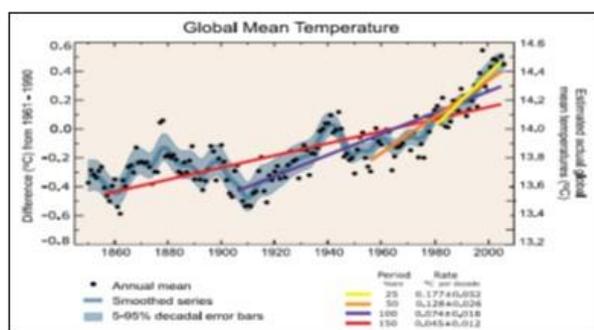


Figura 2: Tasa de incremento de la temperatura

Fuente: Climate Change 2007: Observations and Drivers of Climate Change. From Presentation by Martin Manning, Director of IPCC Working Group I Support Unit

El planeta Tierra, a lo largo de su historia estimada en 4.500 millones de años, ha sufrido muchos y muy significativos cambios en su clima, que han tomado largos períodos de tiempo, en algunos casos estamos hablando en

términos de decenas de miles de años. Este es el caso de las glaciaciones, inducidas por fenómenos naturales como son:

- Variaciones en la órbita terrestre alrededor del sol, los llamados ciclos de Milankovitch, que incluyen la excentricidad, oblicuidad y balanceo del eje terrestre.
- Fluctuaciones en la actividad solar.
- Erupciones volcánicas.

Durante el período geológico más reciente, el Cuaternario, que incluye las épocas geológicas Pleistoceno (hace 2,5 millones de años-11.700 años) y Holoceno (11.700 años-actualidad) han existido varios episodios glaciales (fríos) e interglaciales (cálidos). Hace 110.000 años, en pleno Holoceno, comenzó la última glaciación que terminó hace aproximadamente 12.000 años, y actualmente estamos en una fase post glacial, disfrutando de un clima benigno y relativamente estable en la mayor parte del orbe, apropiado para la vida de todos los seres que constituyen la increíble biodiversidad que compartimos los seres humanos con las demás formas de vida existentes en el planeta (García Bartual, 2011).

Milankovitch teorizó (en la segunda década del siglo XX), que el efecto combinado de los tres ciclos provoca alteraciones en la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra. En algún momento, esos cambios cíclicos que regulan la insolación que llega al planeta se solapan e influyen en que la cantidad de radiación que nos llega sea mucho menor y provoca las glaciaciones, las cuales se suceden en ciclos de miles de años.

La fase post glacial en la cual nos encontramos, aún le correspondería permanecer así por milenios de años, de acuerdo a los ciclos de Milankovitch. Pero en nuestra historia más cercana, en los últimos siglos, esta situación está cambiando y se está produciendo en forma sostenida un calentamiento del planeta. Cambios que suceden en décadas, cuando en el pasado se requirieron miles o decenas de miles de años para que tales transformaciones ocurrieran. Las evidencias apuntan con bastante certeza, que este calentamiento global es causado por las actividades humanas que acompañan a nuestra forma de desarrollo y que directa o indirectamente alteran el comportamiento del clima.

Desde el advenimiento de la revolución industrial, a finales del siglo XVIII, la humanidad se ha sumergido en un desarrollo tecnológico vertiginoso que no tiene precedentes, y que requiere ingentes cantidades de energía cuya fuente más importante es la quema de combustibles fósiles. Una consecuencia ineludible de este proceso de combustión es la producción de CO<sub>2</sub> en cantidades lo suficientemente grandes para que la concentración de este gas se haya incrementado desde 220 ppm en la época preindustrial (antes de 1750) hasta 413,2 ppm en 2020, significando un aumento de 149% (OMM, 2021).

Preocupa este aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> porque incide directamente en el incremento del efecto de invernadero, fenómeno completamente natural que sucede en nuestra atmósfera cercana (troposfera) al dejar pasar las fracciones de radiación solar UV cercana y VIS que se transforman en la calórica radiación IR de onda más larga, reflejada al espacio, pero mayoritariamente absorbida por los gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y vapor de agua, actuando como lo hace el vidrio de un invernadero y por lo cual se denominan Gases de Efecto Invernadero (GEI) y proporcionan una temperatura promedio de 15°C, muy apropiada para la vida en la Tierra. Si alguno de los GEI incrementa su concentración, más radiación IR quedará atrapada y la temperatura aumentará. Factores antropógenos han incidido en un aumento de todos los GEI desde 1750. La masa emitida por el CO<sub>2</sub> alcanza 76% del total emitido por todos los GEI y así se convierte en el mayoritario y por ende en el actor principal en el calentamiento global. No se puede dejarse de mencionar que por otro lado la tala masiva de bosques también contribuye al incremento del efecto de invernadero y por ende al calentamiento global, al eliminar un sumidero de CO<sub>2</sub>, como es esa vegetación, que de otro modo podría absorberlo.

Las actividades humanas consideradas como las que más emiten gases de efecto invernadero son la generación de electricidad (cuando las plantas son termoeléctricas), el transporte, la industria, la agricultura y deforestación, los desechos sólidos biodegradables, la ganadería y los arrozales. Debemos enfocar nuestra atención en estas actividades, cuando gestionemos la disminución de los gases de efecto invernadero.

¿Cómo se manifiesta el CC? El calentamiento global antropógeno es el factor físico primario, cuando nos enfrentamos a la realidad del cambio climático. Desencadena, en un efecto cascada, una serie de acontecimientos íntimamente interrelacionados que producen diversos impactos al sistema climático del planeta, en su gran mayoría negativos, sin obviar que algunos pocos son beneficiosos en ciertas regiones.

Sobre el sistema físico se incluyen, entre otros: la reducción de los glaciares, del manto de nieve, del hielo y del permafrost; cambios en los patrones de distribución estacional de las precipitaciones que afectan la magnitud y los períodos de las escorrentías, incrementando la frecuencia de inundaciones y sequías; las olas de calor son cada vez más frecuentes, el nivel del mar se está elevando y los océanos se están acidificando.

Así mismo son impactados negativamente los sistemas biológicos y los ecosistemas terrestres y marinos y está siendo afectada la producción de alimentos y como consecuencia los medios de subsistencia de los habitantes del orbe.

Estos efectos comprometen no solo el equilibrio del sistema climático, sino también, la salud y bienestar de la población, los servicios, las infraestructuras, y los bienes económicos, sociales y culturales.

Cuando nos referimos a algunos efectos beneficiosos se puede nombrar a manera de ejemplo que en los países de clima más frío, mejorarán las condiciones durante el invierno para la población y en consecuencia disminuirán las muertes por bajas temperaturas y la eficiencia de muchos cultivos en latitudes altas se incrementará.

En una próxima sección de este artículo se darán los detalles de los efectos negativos citados.

### **Evolución de los problemas ambientales**

La historia de la Tierra data según los expertos, de unos 4.500 millones de años y en esa larga trayectoria el planeta ha pasado de ser un sistema abiótico a uno plerótico de vida. La aparición de las primeras formas de vida data de alrededor de unos 3.000 millones de años atrás, según nos indican los registros fósiles. En ese

lapso la biosfera, que incluye a todas las especies de la Tierra junto con sus ambientes abióticos y sus complicadas interrelaciones, ha evolucionado hasta su carácter actual con una amplia variedad de ecosistemas que nos prestan servicios inestimables a la población humana (Ferrara-Giner, 2018).

La presencia de nuestra especie *Homo sapiens* en el planeta, se estima en unos 200.000 años, según datos recientes (Bermudez De Castro, 2020). En ese período, los seres humanos pasamos de ser recolectores-cazadores viviendo en grupos muy pequeños conformados por unas pocas familias, hasta la realidad actual donde somos más de 7.500 millones de seres humanos habitando el planeta Tierra. Un 55% de ese total de personas vive en la actualidad en ciudades, estimándose que para el 2050 los urbanitas alcanzarán el 68% (ONU, 2018). En esa trayectoria temporal el impacto que hemos causado sobre el ambiente natural ha pasado de ser francamente inapreciable a constituir una fuerte amenaza a nuestro entorno. Diferentes factores pueden citarse como coadyuvantes a esta situación de degradación ambiental, entre otros, la explosión demográfica, el proceso de urbanización de la sociedad y la industrialización.

Los problemas ambientales producto de esa gama de factores incluyen, entre otros, la contaminación ambiental, la degradación de los ríos y océanos, la pérdida de biodiversidad, la deforestación y cambios en el uso de la tierra, la disminución de la capa de ozono y el tema que nos ocupa con especial interés en este trabajo: el cambio climático y el calentamiento global.

Un hito en la narrativa de como la presión degradante a la que los humanos estamos sometiendo al planeta, y que nos ha llevado hasta la situación actual, lo constituye la aparición de la agricultura y la ganadería en la época Neolítica, unos 11.000 años atrás. Antes de ese trascendente cambio, el hombre apenas se diferenciaba de otros primates en su vida diaria, constituyendo grupos pequeños, que vivían en forma nómada de la recolección de frutas y hortalizas estacionales y alguna forma de caza rudimentaria, por lo que su impacto sobre el ambiente era inapreciable. Al introducirse las actividades agropecuarias, los grupos de *Homo sapiens* constituidos por unas cuantas familias comenzaron el proceso de

urbanización desde pequeños asentamientos organizados que se transformaron en pueblos y con el correr de los siglos en ciudades pequeñas y más tarde en megalópolis. En forma paralela fueron creciendo los problemas ambientales anteriormente señalados.

El teórico social Quintana Solórzano (2019) cita que los problemas ambientales se han modificado en forma ascendente del impacto y alcance geográfico, desde los que llamó problemas ambientales de 1° generación asociados a problemas concretos de contaminación atmosférica, del agua y por desechos y limitados a las localidades afectadas, pasando por los de 2° generación que trascienden fronteras políticas como son la lluvia ácida, la contaminación de ríos internacionales y depósitos nucleares en zonas fronterizas y finalmente la problemática ambiental evolucionó hasta procesos globales y sistémicos de alcance planetario como el agotamiento de la capa de ozono y el cambio climático.

Una mirada a la evolución de la problemática ambiental desde la lejana época de inicio de la agricultura nos transporta a la aparición de las civilizaciones antiguas como las desarrolladas en el oriente próximo alrededor de 6.000 años A.C. donde aparecen las ciudades, se desarrolla el comercio, nace la administración del Estado, y muy especialmente hay cambios culturales como la aparición de la escritura (hace unos 3.500 años) con lo que finaliza lo que conocemos como la prehistoria. Las actividades humanas en esas lejanas fechas también ocasionaron algún tipo de impacto al medioambiente. Baste recordar las civilizaciones desarrolladas en torno a los ríos Éufrates y Tigris en la Mesopotamia, con valles fértiles por el aporte de sedimentos de los ríos, pero en una región caracterizada por escasas lluvias y temperaturas que alcanzaban los 50°C, donde tuvieron que desarrollar técnicas de regadío muy avanzadas para su época, que permitieron un mayor rendimiento en las cosechas. No obstante, esta práctica ocasionó la salinización de los suelos con la consiguiente pérdida de productividad de las tierras. Algunos argumentan que fue la principal causa del declive de la civilización sumeria asentada en la región. Es una muestra de degradación del medioambiente por actividades antrópicas, ya desde épocas muy lejanas.

Si bien la velocidad a la que el entorno está cambiando es mucho más drástica en nuestra era, una investigación del uso de la tierra que abarca desde 10.000 años antes del presente hasta 1850 DC, realizada por un ambicioso proyecto, con más de 200 colaboradores, revela que hace unos 3.000 años cazadores, agricultores y pastores empezaron una trayectoria progresiva de importantes transformaciones ambientalmente degradantes en el planeta. Se desarrolló una agricultura realmente invasiva en muchas partes del mundo. Se comenzaron a talar y quemar bosques para plantar alimentos y los primeros pastores también cambiaron su entorno a través de la limpieza del terreno y cría selectiva. Globalmente hay ejemplos de cómo, en diversos continentes, llegamos a degradar nuestra relación con la Tierra y sus recursos naturales hasta el modo en que lo hacemos hoy en día. (Stephens et al., 2019). Aunque muchas veces pensamos que los problemas ambientales son de reciente data, digamos en el entorno de los últimos siglos, este trabajo nos indica que nuestra especie había comenzado a impactar con cierta fuerza su entorno desde el Neolítico.

Durante la época de la dominación romana se produjo una fuerte intervención con la explotación de minas de diversos minerales requeridos por la sociedad romana, entre otros, el plomo, el oro, el cinabrio, el hierro, en muchas de las provincias bajo su gobierno. Con las técnicas analíticas con que se cuenta hoy en día se ha podido constatar en núcleos de hielo extraídos de los glaciares del Mont Blanc que la minería romana aumentó la tasa de plomo en la atmósfera en al menos un factor de 10, lo que constata que en la época de los romanos, un poco más adelante en el devenir histórico, también estuvo presente la contaminación ambiental de origen antrópico (Ibañez F., 2019)

No podemos dejar de mencionar que durante la edad media y moderna en las poblaciones y ciudades que poco a poco emergían, los habitantes, con excepción de las clases altas, vivían hacinados en viviendas que carecían de mínimas condiciones sanitarias. Los desechos domésticos sencillamente eran dispuestos en las calles y finalmente llegaban a los ríos vecinos con la consiguiente contaminación de los mismos.

Durante la era preindustrial la deforestación fue el problema medioambiental más extendido. La sobreutilización de bosques y pastizales era una constante en Europa. En el año 1000, el centro de Europa era un bosque grande, muy similar al área amazónica actual; tres siglos después este bosque fue reemplazado completamente por un paisaje agrícola (Marquardt, 2006). La escasez de leña y madera fue una constante en los siglos XVI, XVII y XVIII. Cuestión, que también fue común en América, en civilizaciones como la maya (2000 AC-1530), cuya declinación tuvo mucho que ver con la degradación del suelo y la deforestación causada en su medioambiente.

Con el inicio de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII en Inglaterra, se hizo patente la crisis por la escasez de la madera. Esta etapa se considera un punto de inflexión en la historia de la humanidad y fue acompañada por profundas transformaciones tecnológicas que conllevaron a cambios sociales y económicos nunca vistos, al pasar de una economía rural a una novedosa economía basada en una industria mecanizada. Las industrias emergentes requerían energía y eso significaba quemar carbón, que había aparecido como sustituto de la madera. Además de los contaminantes propios de la quema de carbón, también las industrias químicas generaban tóxicos en sus efluentes gaseosos. A la par, la industria metalúrgica prosperó y pasó a ser fuente de SO<sub>2</sub>. La quema de un combustible fósil como el carbón arrojaba ingentes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, en nada comparable a lo que hasta ese momento la humanidad había producido por actividades más primitivas y que habían situado la concentración de CO<sub>2</sub> en aproximadamente 250 ppm. Desde entonces estamos en presencia de una forma mucho más agresiva de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que, aunque siendo menos potente como gas de efecto invernadero que el CH<sub>4</sub> (es 23% más potente), es el que más nos preocupa por emitir el mayor tonelaje de todos los GEI y por ello ser uno de los principales factores del incremento del efecto invernadero.

En las postrimerías del siglo XIX comienza a explotarse el petróleo, y ya en los inicios del siglo XX, con el desarrollo de hornos de combustión de petróleo o derivados y máquinas de combustión interna, el incremento de la demanda de estos hidrocarburos es indetenible. Junto con el carbón, sostienen esta nueva forma

de desarrollo a la que ha llegado el ser humano, y que no es sostenible por estar construido a partir del acceso a los limitados recursos del planeta. La avidez por la energía que la acompaña no cesa de crecer y el proceso de combustión requerido para obtenerla, indefectiblemente produce CO<sub>2</sub> si usamos como fuente a los combustibles fósiles. Por tanto, la presencia de este gas de efecto invernadero en nuestra atmósfera, es una constante que se incrementa día a día. Alrededor de la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropógenas acumuladas entre 1750 y 2011 se han producido en los últimos 40 años y alcanzaron  $2.040 \pm 310$  Gt CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014).

Una nueva visión de la gran influencia de las actividades humanas sobre el ambiente la presentaron Rockström y Steffen en las conclusiones de un ambicioso proyecto que lideraron en 2009, sobre la resiliencia de los ecosistemas del globo (Attenborough (2021)). Esta investigación ha transformado la comprensión del funcionamiento del planeta y han puesto de manifiesto la existencia de nueve umbrales críticos, que ellos llamaron los *nueve límites planetarios*, todos ligados estrechamente al ambiente: depleción de la capa de ozono, pérdida de biodiversidad, polución atmosférica, transformación del suelo, explotación de acuíferos, uso de fertilizantes, polución química, acidificación de los océanos y el cambio climático. Si se consiguiera mantener nuestro impacto medioambiental dentro de esos límites llevaríamos una existencia sostenible. Pero si extremamos nuestras demandas y rebasamos cualquiera de esas fronteras, corremos el riesgo de desestabilizar el sistema de soporte vital del planeta. Ya hemos superado el umbral de estabilidad de cuatro de los nueve límites: estamos alterando gravemente los ciclos naturales del nitrógeno y el fósforo, transformando los hábitats terrestres (bosques, pradera, humedales) a velocidad excesiva, la pérdida de biodiversidad es comparable a los procesos de extinción masiva indicados por los registros fósiles y estamos calentando el globo a un ritmo excesivo, arrojando ingentes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera. Sin quitarle la importancia que merecen los otros tres límites bajo observación, según el último informe del IPCC *del 2019* (Grupo I), el calentamiento de la superficie terrestre ha sido sin precedentes en las últimas

décadas y no se vislumbra que vaya a ralentizarse.

### **Cambios en la percepción del cambio climático a nivel global en los últimos dos siglos.**

Hoy en día se puede afirmar que el calentamiento global y el cambio climático ya se aceptan como verdades por la inmensa mayoría de científicos, por los organismos internacionales como las Naciones Unidas, por el Banco Mundial y la Organización Mundial de Energía (IEA), por un importante número de ciudadanos del mundo y por los gobiernos de un gran número de países, destacando entre éstos los pequeños Estados Insulares amenazados directamente por la elevación del nivel del mar. No obstante, esta situación no fue siempre así. En épocas pretéritas, aunque relativamente cercanas, no se vislumbraba esta realidad y al contrario había detractores, algunos interesados por sus nexos con las compañías petroleras.

Hace 148 años John Tyndall descubrió que las moléculas gaseosas de más de dos átomos, como el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y los óxidos de nitrógeno capturan la radiación infrarroja que la Tierra emite continuamente y podría afectar el equilibrio térmico del planeta. En 1896, el científico sueco Svante Arrhenius, conocido por el desarrollo de la teoría iónica, ya vislumbró la posibilidad de un aumento de la temperatura en la Tierra, cuando afirmó que la quema de combustibles fósiles podría dar lugar a acelerar el calentamiento de la Tierra, sugiriendo que si se duplicaba la concentración de CO<sub>2</sub> provocaría un aumento de temperatura de 4°C. Ambos fueron visionarios cuyas argumentaciones pasaron inadvertidas por muchas décadas. A ellos se une el oceanógrafo John Revelle, que en 1957 publica que el CO<sub>2</sub> emitido por las actividades humanas no se absorbe por el océano a la misma velocidad de emisión, al contrario, lo hace a una velocidad más baja, advertencia de suma importancia que no fue tomada en cuenta en su momento (Ruiz de Elvira, 2007).

En la década de los 60 empezó una tímida toma de conciencia sobre la gravedad del problema. Ayudó a este cambio de percepción la puesta en marcha de las mediciones de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera desde 1958, por el científico Charles Keeling, que en sus comienzos pasó por el Instituto de Tecnología

de California y la Universidad de California-San Diego hasta llegar a establecerse en el prestigioso Observatorio de Mauna Loa en Hawái. La representación gráfica de los cambios en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, medidos en forma continua hasta hoy en día, se han materializado en la conocida curva de Keeling (ver figura 3) que muestra claramente la evolución del principal gas de efecto invernadero, que nunca ha dejado de crecer y cuyo ritmo de crecimiento se ha acelerado en las últimas décadas.

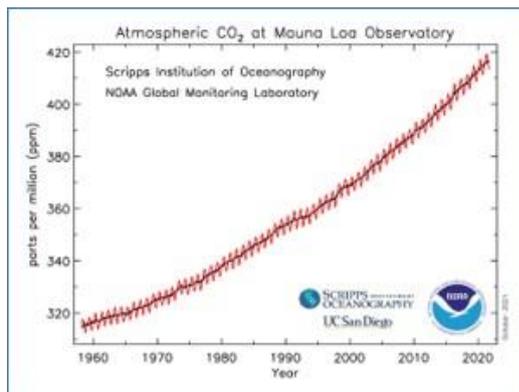


Figura 3. Curva de Keeling de incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> en Observatorio de Mauna Loa.

Fuente: NOAA. Global Monitoring Laboratory. Septiembre 2021

Varios hechos en la aceptación del cambio climático como un fenómeno al que había que tomar en cuenta se pueden mencionar como verdaderos hitos ocurridos en la segunda mitad del siglo XX.

En 1992 se llevó a cabo la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, evento excepcional por la asistencia de representantes de alto nivel de 179 países entre ellos más de 100 jefes de Estado y por los compromisos asumidos en pro del desarrollo sustentable y la biodiversidad y en torno al tema del cambio climático se aprobó la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que se firmó en Washington el 13 de junio de 1992 y entró en vigor en marzo 1994 con la firma de 195 países (Partes de la Convención). Se acordó dar prioridad al logro de estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero "a un nivel que impida interferencias antropógenas (inducidas por el hombre) peligrosas en el sistema climático".

En 1995 se lleva a cabo la primera conferencia de las partes (COP 1) en Berlín, promovida por la CMNUCC y que desde entonces se efectúa anualmente y en diferentes países y donde se toman las decisiones de alto nivel. La COP 26 que debía celebrarse en Glasgow (Escocia) en 2020 se pospuso por la pandemia y se celebra a finales de 2021. La COP 21 celebrada en París, terminó con el histórico *Acuerdo de París*, el primero globalmente vinculante en relación al cambio climático y en el cual se promueve una transición hacia una economía baja en emisiones y resiliente al cambio climático y se fijó el objetivo de limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C, pero al mismo tiempo realizando grandes esfuerzos a fin de alcanzar los 1,5°C como tope.

Por otra parte, en 1997, otra de las acciones del mayor interés tomadas por la CMNUCC fue la firma del Protocolo de Kioto cuyo objetivo era el compromiso de todas las partes firmantes en reducir las emisiones de seis GEI, a saber: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarburos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre. Debido a un complejo proceso de ratificación apenas entró en vigor en 2005. En la actualidad hay 192 partes en este protocolo que con sus altos y bajos ha significado un avance en la lucha contra el cambio climático.

En 1998, por iniciativa de la OMM (Organización Meteorológica Mundial) y del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) se crea el *Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático* (IPCC por sus siglas en inglés) para conseguir una mejor comprensión del cambio climático y proporcionar información científica autorizada a los responsables políticos. Han presentado 5 valiosos Informes que integran para cada edición la información científica más actualizada y rigurosa sobre las bases físicas (Grupo I), los impactos, adaptación y vulnerabilidad (Grupo II) y la mitigación (Grupo III). Los informes de evaluación del IPCC abarcan todos los aspectos de la evaluación del cambio climático en los planos científico, técnico y socioeconómico. En agosto de 2021 salió a la luz el Informe parcial N°6, solo con la información correspondiente a las bases físicas con afirmaciones más tajantes que las de informes anteriores. Estos informes, respaldados por trabajos de centenares de

científicos, tiene cada vez mayor aceptación en el mundo globalizado de hoy en día.

El 6º informe del IPCC (agosto 2021) es de tal contundencia que merece un comentario. Aunque los anteriores ya expresaban que las evidencias eran cada vez más sólidas apuntando a las emisiones humanas como las responsables del calentamiento, ahora se afirma que es un hecho inequívoco que la actividad humana ha calentado la atmósfera, el océano y la tierra. Así mismo expresa que a menos que las emisiones de CO<sub>2</sub> y los otros gases de efecto invernadero procedentes de las actividades humanas, se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, limitar el calentamiento a un valor cercano a 2°C o incluso a 1,5°C será un objetivo inalcanzable. Estas afirmaciones las hacen con base a la mejora de los datos de observación que evalúan el calentamiento histórico, y a los progresos en el conocimiento científico en torno a la respuesta del sistema climático a las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antrópico. Según este informe las emisiones de GEI antropogénicas son responsables de un calentamiento de aproximadamente 1,1°C desde la época preindustrial (entre 1850-1900) y se prevé que la temperatura promedio mundial durante los próximos 20 años alcanzará o superará un calentamiento de 1,5°C (IPCC, 2021). Evidentemente es un urgente llamado de atención para todos y especialmente quienes pueden influir en la meta de carbono cero para las próximas décadas.

### **El medio ambiente y el cambio climático**

Estamos enfrentados al fenómeno indefectiblemente vigente del cambio climático y su impulsor primigenio el calentamiento global. El medio ambiente, en toda su complejidad, es el receptor de los efectos de este fenómeno que está fuertemente impulsado por las actividades humanas. Nos interesa ahondar en los efectos más destacados que el cambio climático ejerce sobre nuestro entorno.

El medio ambiente, como destacamos en una sección anterior, ha sufrido agresiones de nuestra especie desde épocas remotas. En un principio eran despreciables por cuanto la población era escasa y el medio era capaz de admitirlas, pero estamos creciendo exponencialmente y ya alcanzamos la

exorbitante cantidad de 7.900 millones de habitantes (Worldmeter, 2021). Junto con el aumento de la población ha habido un cambio importante en el modelo de desarrollo económico, que tuvo un giro relevante como describimos anteriormente con el inicio de la revolución industrial, que cambió una economía rural por una economía basada en la industria, con exigencias de contar con fuentes de energía alternativas a la leña y madera que sostuvieran las tecnologías que aparecieron, y con ello se le dio un fuerte impulso al uso del carbón. Apenas un siglo después comienza el auge del petróleo y sus derivados. Entonces, desde finales del siglo XVIII, la quema de combustibles fósiles no ha cesado de aumentar y con ella la producción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Después de la II Guerra Mundial todos los indicadores sobre utilización de la energía, consumo de recursos, impactos medioambientales, crecimiento demográfico, entre otros, comenzaron a dispararse. Los gráficos de un gran número de ellos siguen una pauta asombrosamente similar cambiando de una forma lineal a una exponencial. Ya hemos citado la curva de Keeling que muestra la concentración de CO<sub>2</sub> a lo largo de los años y también muestra esta misma forma y de igual manera otros GEI como el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O presentan un crecimiento exponencial. Es una fase de nuestra historia como especie, que se le ha dado el nombre de la **Gran aceleración**. Esta fase al mismo tiempo que nos ha proporcionado una notable elevación de los marcadores de desarrollo humano como el promedio de la esperanza de vida, una alfabetización y educación de alcance global, el acceso a la atención sanitaria, los derechos humanos, entre otros, y avances en transporte y las telecomunicaciones, tiene costes ambientales y el cambio climático es una de las expresiones de mayor resonancia y complejidad de la crisis ambiental contemporánea (Attenborough, 2021 y Quintana Solorzano, 2019).

A continuación, presentaremos de que forma el fenómeno del cambio climático se relaciona con nuestro mundo natural y como se afecta el medio ambiente con los impactos locales, regionales y globales que provoca.

Podemos decir que el calentamiento global, ya suficientemente comprobado, y que hemos explicado anteriormente (ver figura 1) es el

desencadenante primario de una larga lista de efectos negativos sobre el ambiente. Directamente provoca impactos sobre sistemas físicos y sistemas biológicos todos pertenecientes a la biosfera, pero también sistemas humanos y gestionados son afectados por el cambio climático, desencadenando en un efecto cascada una serie de acontecimientos que están fuertemente interconectados y que comprometen no solo el equilibrio del sistema climático, sino también, la economía, el capital natural, la seguridad y salud humana a escala global (Villamizar, 2018).

Elevación del nivel del mar: Hablemos de la elevación del nivel del mar, uno de los efectos físicos más resaltantes. El incremento del nivel medio global del nivel del mar, en el período 1901-2018, alcanzó 0,20 m, pero es impactante conocer que la tasa promedio de elevación, entre 1901 y 1971, fue de 1,3 mm/año, incrementándose a 1,9 mm/año para el período 1971-2006 y siguió incrementándose aún más entre 2006-2018, alcanzando una tasa de 3,7 mm/año (IPCC, 2021). Es decir que en 117 años la velocidad de incremento de la elevación del nivel del mar fue 2,9 veces mayor. Un aumento significativo sin la menor duda. El IPCC expresa que ese incremento es consistente con la expansión por el calentamiento del océano y la fusión de los glaciares y el manto de nieve y es virtualmente cierto que la elevación continuará en el siglo XXI en respuesta al calentamiento continuado del sistema climático.

En la figura 4, presentada en el último informe del IPCC (2014), puede observarse con claridad como el incremento del nivel del mar ha sido sostenido desde 1900.

Estos números inciden en diversos problemas que afectan a las zonas costeras, donde viven un porcentaje apreciable de seres humanos. Se estima que más de la mitad de la población mundial vive a menos de 60 km de la costa. En muchas regiones bajas del planeta y en los deltas será evidente el retroceso de la línea de la costa y muchas personas están expuestas a perder su hábitat. Varios Estados insulares en el Pacífico, con unos pocos metros de altura sobre el nivel del mar están a punto de desaparecer, es el caso de Kirabati (2 msnm), Tuvalu (5 msnm) y las Maldivas (2 msnm). Los acuíferos de agua dulce de zonas costeras, a escasos metros sobre el nivel del mar, estarán en peligro de

salinizarse por intrusión salina. Las lagunas costeras y los humedales costeros también. Ciudades como Calcuta, Shanghai o Dacca empiezan a ver los acuíferos invadidos por agua salobre de origen marino. El delta del río Mekong en Vietnam, está en grave peligro de intrusión salina y esa zona produce 50% de productos agrícolas del país. La salinización de las aguas subterráneas impide su uso como fuente de abastecimiento y esta situación redundará en problemas de disponibilidad de agua dulce. Las probabilidades de inundación en las zonas bajas costeras se incrementan por las llamadas inundaciones de tormenta (storm surge). Cuando coincide una tormenta severa con una marea alta, las olas pueden avanzar tierra adentro muchos kilómetros.

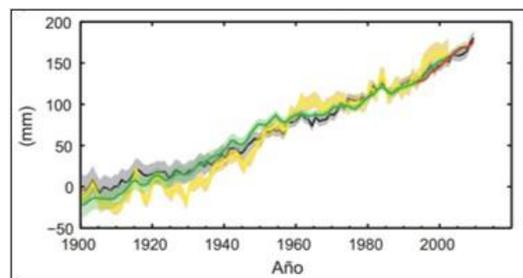


Figura 4. Elevación del nivel del mar entre 1900 y 2010

Fuente: IPCC. Informe Grupo I- Bases Físicas. 2014.

Reducción de la criosfera: Los componentes del sistema tierra que están congelados conforman la criosfera. Incluyen el manto de nieve, los glaciares, los mantos de hielo, los témpanos, el hielo marino, el hielo lacustre, el hielo fluvial, el permafrost y el terreno congelado estacionalmente. Alrededor del 10% de la superficie terrestre está cubierta por mantos de nieve y glaciares (IPCC, 2019).

Desde el siglo pasado los glaciares se están reduciendo en forma sostenida y global. Los glaciares de montaña son particularmente sensibles al cambio climático, ya que la temperatura en su frente está próxima al punto de congelación y derretimiento y es por ello que se consideran excelentes indicadores del calentamiento global. Los glaciares de Asia se están fundiendo a una velocidad constante desde la década de los 60 y en los Alpes han perdido 33% de su superficie y un 50% de su masa entre 1850 y 1980 (Heras, 2005). En la

cordillera de los Andes también se manifiesta el proceso de reducción, así en Perú, el área total de los glaciares ha retrocedido en un 22% y en Colombia un 80% (Bates, et al., 2008). En Venezuela podemos citar el caso del glaciar del pico Humboldt que ha disminuido 94% entre 1920 y 2003 (Boede, 2005) y esta tendencia no ha cesado hasta el día de hoy.

El manto de hielo de Groenlandia perdió masa de hielo a un ritmo medio de  $278 \pm 11$  Gt/año en el lapso 2006-2015 (equivalente a un aumento en el nivel del mar de 0,77 mm/año) y en el mismo lapso el manto de hielo de la Antártida experimentó una pérdida de masa de  $155 \pm 19$  Gt/año. La extensión del manto de hielo del Ártico disminuyó en un  $13,4 \pm 5,4$  % por decenio de 1967 a 2018, representando una pérdida total de alrededor de 2,5 millones de  $\text{km}^2$  debido principalmente al aumento de la temperatura del aire en superficie (IPCC, 2019)

También las temperaturas del permafrost han aumentado a niveles sin precedentes (desde la década de 1980 hasta la actualidad), incluido el reciente aumento de  $0,29 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,12 \text{ }^\circ\text{C}$  de 2007 a 2016, promediado en todas las regiones polares y de alta montaña del mundo. Con un nivel de confianza medio el IPCC expresa que el permafrost boreal y del Ártico contiene entre 1460 y 1600 Gt de carbono orgánico, es decir, casi el doble del carbono presente en la atmósfera. (IPCC, 2019). Evidentemente cualquiera disminución en el permafrost tendrá efectos muy negativos para la presencia de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.

En el 6º informe del IPCC (2021) se expresa que es muy probable que la influencia humana sea la causante principal del retroceso de los glaciares desde 1990 y de la disminución del hielo en el área del mar Ártico, el cual alcanzó su nivel más bajo desde 1850. A finales de este verano el área de hielo del Ártico fue la más pequeña en los últimos 1.000 años. Esta es una mala noticia para muchos de los animales cuyo hábitat era esa área de hielo. Aves marinas, focas, morsas y osos polares, entre otros, están disminuyendo su población por tal circunstancia.

El hielo marino juega un papel importante en la regulación de la temperatura del aire y el océano por el efecto albedo de esa superficie blanca que refleja la luz solar. Esa importante función, compartida con las masas de nieve existentes en

las islas vecinas, se ve afectada negativamente al disminuir el área de hielo y quedar más agua oscura expuesta al sol. Se produce lo que se llama una retroalimentación del efecto albedo que ahora es más bajo por la absorción de energía del agua que queda descubierta y en consecuencia se intensifica el calentamiento. A continuación, en la figura 5, se puede observar una clara demostración de la disminución de la extensión del hielo marino durante la estación veraniega en el Ártico, y además acelerada en las últimas décadas. Sin duda, un ejemplo importante de como se está afectando la criosfera por el calentamiento global.

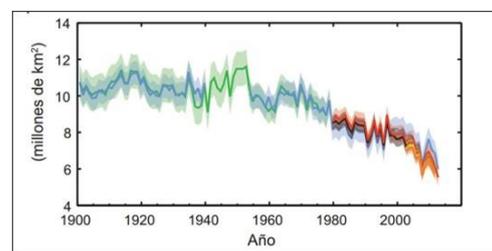


Figura 5. Extensión de hielo marino en verano en el Ártico.

Fuente: IPCC. Informe Grupo I-Bases Físicas. 2014

En muchas regiones del Ártico, los cambios en el manto de nieve, el hielo lacustre y fluvial y en el permafrost han repercutido de forma adversa en la seguridad alimentaria y el acceso al agua. Se ha obstaculizado el acceso a las zonas de pastoreo, caza, pesca y recolección y han afectado la disponibilidad de alimentos en dichas zonas, perjudicando los medios de subsistencia y la identidad cultural de los residentes de la zona ártica, incluidos los pueblos indígenas ancestrales. El retroceso de los glaciares y los cambios en el manto de nieve han incidido en las disminuciones locales del rendimiento agrícola en algunas regiones de alta montaña, como es el caso de los Andes tropicales y el de Hindu Kush en el Himalaya (IPCC, 2019).

**El cambio climático y la salud:** El cambio climático afecta elementos esenciales para la vida que son determinantes para la salud como el aire, el agua y la obtención de alimentos en cantidades suficientes. Según datos del IPCC se prevé que el cambio climático causará, entre 2030 y 2050, unas 250.000 defunciones adicionales cada año por la malnutrición, el

paludismo, las diarreas y el estrés calórico. Los trastornos de salud originados por el cambio climático dependen de numerosos factores que interactúan y coexisten: Circunstancias ambientales y socioeconómicas, régimen nutricional, régimen de inmunizaciones, densidad demográfica y acceso a servicios de salud de calidad (OPS/OMS, 2019). Sin duda son particularmente sensibles las poblaciones más vulnerables que mayoritariamente son las de menores ingresos.

Entre los efectos directos a la salud podemos citar que el incremento de la temperatura al adelantar la floración primaveral y alargar la producción de polen y esporas de algunas especies vegetales provoca afecciones de salud en la población sensible como es el caso de asmáticos y personas con problemas de alergia y muchas enfermedades respiratorias se agravan.

La mayor intensidad y duración de las olas de calor, que son períodos en los que las temperaturas son más altas que el promedio, incrementan la mortalidad y morbilidad, especialmente por enfermedades cardio-respiratorias en ancianos y enfermos, que son la población más vulnerable (Cuadros, 2017). En los recientes meses de junio y julio del actual año 2021 nos hemos enfrentado a olas de calor que han roto todos los récords de temperatura en la zona oeste de Canadá y noroeste de Estados Unidos, alcanzando hasta 49,5 ° C, con la consecuencia de decenas de defunciones por esa causa. Aún es muy pronto para tener mayores detalles de las personas afectadas por el evento de este año 2021, pero en épocas relativamente recientes, en la ola de calor que se produjo en Europa en 2003, se registró un exceso de mortalidad cifrado en 70.000 defunciones, que pudo correlacionarse con el exceso de temperatura ocurrido (OPS/OMS, 2018). Según la OMS durante los últimos 30 años en Estados Unidos, las olas de calor se cobraron la vida de más personas que los tornados, las inundaciones y los huracanes combinados. En estos episodios de calor extremo se generan alergias y enfermedades respiratorias, disminuye la tolerancia química y provoca agotamiento (OPS/OMS, 2017).

El último informe del IPCC (2021) presenta como virtualmente cierto que las ondas de calor y calores extremos se han hecho más frecuentes

y más intensos desde 1950 en la mayoría de las regiones mientras que los fríos extremos (incluyendo olas de frío) se han hecho menos frecuentes y menos severos y que existe certidumbre que son cambios inducidos por los humanos.

Efectos indirectos a la salud a través de los sistemas naturales incluyen la contaminación de los alimentos y el agua cuando se producen eventos catastróficos como inundaciones y deslaves ocasionados por las alteraciones al régimen climático y se incrementan las enfermedades infecciosas de transmisión hídrica y alimentaria, como gastroenteritis, amibiasis y fiebre tifoidea, ante la incidencia negativa de la prestación del servicio de agua potable que pone en peligro las prácticas de higiene e imperan condiciones de saneamiento deficientes. Este efecto es otra demostración de la interrelación entre los impactos del cambio climático a diferentes sectores, que finalmente quedan conectados.

El adelanto de las fechas de inicio de primavera y verano y la ampliación de los límites geográficos de los hábitats de vectores de enfermedades infecciosas como el paludismo y el dengue, que aparecen en latitudes y altitudes mayores al variar su dinámica estacional y ampliar su período de actividad resulta en un incremento de enfermedades metaxénicas que afectan a decenas de miles de personas en el mundo.

El fenómeno de la contaminación atmosférica, que por sí misma es un problema grave de contaminación ambiental al ocasionar alrededor de 7 millones de muertos anuales a escala global, comparte con el cambio climático un origen común, el modelo energético que arrastramos basado en la quema de combustibles fósiles y que produce gases contaminantes como el ozono troposférico (O<sub>3</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), y además benzopireno (BaP) y partículas en suspensión (PM). Los efectos sobre la salud de estas emisiones provocan, entre otras enfermedades, asma agravada, bronquitis crónica, enfermedades cardio pulmonares y ataques al corazón e infartos cerebrales, significando el 0,3% del PIB mundial en gastos sanitarios (OMS, 2019).

La acidificación de los océanos: De manera completamente natural los océanos intercambian gases con la atmósfera, entre ellos el dióxido de carbono. Forma parte del ciclo geoquímico del carbono. Se estima que un 30% del CO<sub>2</sub> emitido por cualquier fuente es absorbido por la atmósfera. La presencia en concentraciones cada vez mayores de este gas de efecto invernadero en la atmósfera, por las actividades antrópicas, tiene un efecto directo sobre su concentración en los océanos del mundo, que por tanto se está incrementando. Esta cualidad tiene el efecto benéfico de reducir los efectos del CO<sub>2</sub> en cuanto su papel en el incremento del efecto de invernadero. Los océanos al funcionar como un gigantesco sumidero de CO<sub>2</sub> han capturado miles de millones de toneladas de ese gas generadas por el hombre durante los últimos siglos, con lo cual su aporte al calentamiento global ha sido parcialmente controlado.

No obstante, la otra cara de la moneda es lo que sucede con el equilibrio químico del CO<sub>2</sub> que al disolverse en el mar se transforma en ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), un ácido débil, pero cuyo equilibrio se desvía hacia la formación de más hidrogeniones y por ende hay una disminución del pH y al mismo tiempo disminuye el ion carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) y el carbonato de calcio saturado (CaCO<sub>3</sub>), al tiempo que el ion bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) se incrementa. El resultado es que el pH de los océanos está disminuyendo. Este hecho es crítico para la intrincada trama de relaciones entre los océanos y los seres vivos que lo habitan. Desde la era preindustrial el pH promedio de los mares ha descendido 0,1 unidades. Debemos recordar que la escala de pH es logarítmica. Ese descenso del pH representa un incremento de la concentración de hidrogeniones (H<sup>+</sup>) del 26% y estamos cambiando el balance químico del agua de mar y en las próximas décadas pueden verse afectados procesos biológicos y químicos (Ferrara-Giner, 2018).

La acidificación está ocurriendo ahora cientos de veces más rápida que en los últimos 55 millones de años. Muchas especies no tendrán ninguna posibilidad de adaptarse a su nuevo entorno a través de la evolución. Un hecho relevante es que debido a que las temperaturas frías favorecen la disolución del CO<sub>2</sub> en comparación con los mares cálidos, la acidificación afecta especialmente a la vida en

las regiones polares. El descenso del pH junto con el del ion carbonato incide negativamente en el crecimiento de los corales, los crustáceos, los moluscos y ciertos tipos de plancton, en general seres vivos que son calcificadores y forman concha. La forma cristalina del carbonato de calcio producido por los seres vivos es la aragonita y su equilibrio de saturación se está alterando con el pH más bajo. Cuanto menor sea el estado de saturación de la aragonita en el agua, será más difícil para los corales producir su esqueleto. Es un hecho que los corales del mundo están disminuyendo, entre otras razones por la acidificación que sufren los mares (Rhein et al., 2013; IPCC, 2013; Mumby et al., 2014). Una muestra del impacto de la acidificación sobre el equilibrio del carbonato de calcio es la curva descendente del estado de saturación de la aragonita en una región del Caribe, que observamos en la figura 6.

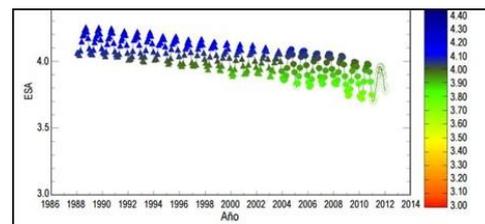


Figura 6. Estado de saturación de la aragonita para la región del Caribe.  
Fuente: Mumby et al., 2014.

Cambios en el patrón de distribución estacional de las precipitaciones y las sequías: El ciclo hidrológico ha comenzado a reaccionar ante el calentamiento global. Es un hecho, constatado a través de los registros climáticos, que el patrón de distribución estacional de las precipitaciones y las sequías está cambiando. Estos cambios no son uniformes. En algunas zonas la disponibilidad de agua puede aumentar entre un 30-40% y en otras reducirse entre un 10-30% (IPCC, 2014; IPCC, 2021). El contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas se acentúa. La intensidad de las lluvias está aumentando en algunas zonas y por ello la magnitud y los períodos de las escorrentías están siendo afectados, incidiendo en crecidas, inundaciones y deslizamientos de tierra, como ocurrió en el pasado en Bangladesh, en India y Nepal en 2007 y en Pakistán en 2010, todos eventos convertidos en desastres con miles de

mueritos y millones de damnificados. Muy recientemente, apenas hace unos meses, en julio 2021, en Europa central especialmente en Alemania, Bélgica y Holanda, sucedieron unas catastróficas inundaciones, con una secuela de miles de viviendas afectadas, centenares de mueritos y desaparecidos. Situación que es una novedad para esos países. La OMM advierte que estas inundaciones son el último indicador de que todos los países deben esforzarse más para enfrentarse a los desastres inducidos por el cambio climático. Desde 1950 la frecuencia e intensidad de eventos con precipitaciones fuertes se ha incrementado en la mayoría de las áreas terrestres observadas y los datos son suficientes para un análisis de tendencias (con alta probabilidad). Los cambios climáticos inducidos por el hombre están tras este hecho (IPCC, 2021).

En áreas urbanas, el aumento de la intensidad de las lluvias por el cambio climático sobrecarga los sistemas de drenaje convencionales, que no están diseñados para esos aportes extraordinarios de agua de lluvia y consecuentemente hay inundaciones no previstas.

Las inundaciones, además de las pérdidas de viviendas, provocan contaminación biológica y química de los cursos de agua incidiendo en la calidad de las fuentes de abastecimiento que normalmente son usadas por las comunidades y que podrían producir un repunte de enfermedades gastrointestinales, como en efecto sucedió en algunos de los eventos señalados. En algunas zonas se puede esperar, que la mayor escorrentía anual por el incremento de las precipitaciones genere un suministro de agua mayor, pero a nivel mundial este beneficio está contrarrestado por los efectos negativos en las áreas donde habrá reducción (Bates et al., 2008).

Al mismo tiempo, en otras regiones del mundo hay un incremento en la frecuencia y magnitud de las sequías, además de una tendencia a la aridez en la región interior continental durante el verano, especialmente en los subtropicos y en las latitudes medias y bajas, pudiéndose citar como especialmente graves las sufridas por África meridional en 2004, en Australia entre 2007-2012, en la cuenca del Amazonas en 2010. En la región centro-occidental de Estados Unidos, en 2012, sufrieron la peor sequía en 50

años, que hizo que la producción de maíz cayera en un 25% y ocasionó un alza del precio mundial de un 40% (FAO, 2012). Otra manifestación del efecto cascada que se origina con el calentamiento global. En la India, en 2016, se enfrentaron a una sequía extraordinaria que afectó a 300 millones de personas.

En muchas zonas del mundo, corrientemente afectadas por sequías, las temperaturas más altas, la sequedad y aridez de los suelos, favorecen las condiciones para la propagación de grandes incendios forestales. Durante este verano de 2021 en Norteamérica, Siberia y el Mediterráneo se han sucedido una oleada de incendios devastadores que han ocupado por días a los medios de comunicación (CAMS, 2021). Aparte de la destrucción de ecosistemas vegetales los incendios generan millones de toneladas de CO<sub>2</sub> que conforman un círculo vicioso con el cambio climático. Se ha notado un incremento de estos eventos catastróficos en la última década.

El incremento en frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones, por los patrones cambiantes de la precipitación, tienen incidencia directa sobre la producción agrícola y la distribución de los alimentos y por ende en la disminución en la cantidad y calidad de alimentos disponibles para consumo, en especial para los sectores menos favorecidos de la población, que serán siempre los más vulnerables y por lo tanto más expuestos a los rigores de la falta de alimentos. En el caso de las inundaciones existe otra faceta a considerar y es la incidencia negativa sobre las infraestructuras de distribución de los alimentos, como las vías de comunicación y el transporte que influyen en la cadena de suministro de alimento y por tanto en la disponibilidad de alimentos que no pueden llegar a los mercados naturales. Existen evidencias de que este factor impulsa los precios de los alimentos al alza, de forma aún más potente que la disminución de la producción por el efecto directo del evento. (Carty & Magrath, 2013).

Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas: Son múltiples los efectos que se notan en los ecosistemas por el calentamiento global. Y debe destacarse que existe una fuerte interrelación con los demás impactos y por eso en anteriores secciones ya se han adelantado

algunos de esos efectos. Todos los ecosistemas: terrestres, de agua dulce y marinos, han sido afectados. Hay ganadores y perdedores por el calentamiento global: los rangos geográficos de algunas especies se han expandido, mientras que otros se han contraído. Uno de los efectos más tangibles es el de los cambios de los ritmos estacionales de la flora y de la fauna. Muchas plantas y animales muestran alteración en sus ciclos de vida. En algunos casos iniciando su actividad reproductora antes o acabándola más tarde o modificando su área de distribución y asentándose en lugares que por efectos de temperaturas cada vez más cálidas, se han convertido en hábitats favorables para vivir y criar (Heras et al., 2006). Otro ejemplo es el caso de aves migratorias como la cigüeña que no están regresando a invernar en África, sino que se quedan en Europa.

En un estudio que cubre más de 50 años en Cardedeu, Barcelona, se encontró que muchas especies de árboles y arbustos han adelantado su fecha de floración y fructificación entre una y tres semanas y algunas hasta diez semanas. Dieciséis especies de mariposas de la Sierra de Guadarrama han buscado lugares a mayor altitud para vivir (un promedio de 212 m). En los últimos 30 años la temperatura de la zona ha subido un promedio de 1,3°C. (Heras et al., 2006).

Cuando anteriormente hablamos de los efectos sobre la salud mencionamos como se ha alterado el hábitat de vectores de enfermedades metaxénicas. En efecto, las variables ambientales tal como la temperatura, influyen la dinámica poblacional de estos vectores, así como los patrones de distribución geográfica y amplían el rango latitudinal y altitudinal de dispersión de estas especies, lo que permite que insectos transmisores de enfermedades como el dengue, la malaria o la chikungunya se diseminen hacia regiones donde antes no se encontraban.

El incremento de la temperatura en los ríos y corrientes provoca la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua (la constante de Henry, de solubilidad de gases, está inversamente relacionada con la temperatura). La biota acuática, especialmente los peces, es muy sensible a la disminución del oxígeno disuelto. La muerte de algunas especies vulnerables es un hecho en ríos y corrientes

afectados por el calentamiento. Por otra parte, existen evidencias que algunas cianobacterias podrían beneficiarse del aumento de la temperatura, particularmente en lagos y embalses donde se podrían producir floraciones de este nocivo microorganismo procariótico, que es un riesgo potencial de salud pública por su capacidad tóxica al ser humano, además de participar en problemas de eutrofización de cuerpos de agua lénticos (González et al., 2004). En definitiva, se puede establecer que puede haber cambios, muchos de ellos negativos con pérdida de la biodiversidad, en cuerpos de agua sometidos a disminución del oxígeno disuelto provocado por el calentamiento global.

En el caso de sistemas gestionados como el que atañe a la actividad agropecuaria también se notan los impactos del cambio climático. Aunque algunos cultivos en algunas regiones del mundo puedan beneficiarse por el incremento de las temperaturas, mayoritariamente los impactos serán negativos. Si las temperaturas superan los niveles óptimos para el cultivo, o si no hay disponibilidad de agua por el incremento de los fenómenos extremos, caso de inundaciones y sequías, el rendimiento de las cosechas disminuirá. Se combina el impacto del cambio climático sobre un ecosistema intervenido con otro manifestado a través de un sistema socioeconómico como son el riesgo de la inseguridad alimentaria y la desnutrición. Existen numerosas malas hierbas, plagas de insectos y enfermedades que crecen en condiciones de temperaturas más cálidas y niveles de dióxido de carbono más altos en la atmósfera, con el consiguiente impacto en el rendimiento de los cultivos. Las olas de calor que serán cada vez más frecuentes suponen una amenaza para el ganado y el calentamiento global y amenazan asimismo la capacidad ganadera de los pastizales y la producción de piensos para los sistemas sin pastoreo (FAO, 2016). En los países en vía de desarrollo el cambio climático reducirá el rendimiento de cultivos bajo riego tales como los cereales arroz, trigo, maíz y soja, lo que implica mayores precios y una menor disponibilidad de calorías incrementando la desnutrición infantil (Nelson et al., 2009).

La pérdida de la biodiversidad se ha convertido en uno de los límites planetarios críticos que hemos sobrepasado, según las conclusiones de Rockström y Steffen (Attenborough, 2021)

anteriormente citadas. Según el último estudio en 2019, del IPBES (The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services), citado por Attenborough (2021) el actual ritmo de extinción de especies es varios centenares de veces superior a la media registrada en los últimos diez millones de años. Existen varias causas que impulsan la pérdida de la biodiversidad en el planeta, tales como la pérdida de hábitats por el cambio del uso de la tierra, la sobreexplotación, la contaminación, la presencia de especies exóticas invasoras, pero el cambio climático tiene una cuota muy importante. Los diferentes impactos del calentamiento global y el cambio climático que hemos descrito anteriormente, influyen sobre las especies de animales y vegetales que conforman lo que llamamos la biodiversidad. Muchos de estos seres vivos no se pueden adaptar a cambios como incremento de la temperatura, olas de calor, eventos extremos como precipitaciones intensas y sequías y la acidificación de los océanos. Se pueden afectar la fisiología, el comportamiento durante las fases del desarrollo: crecimiento, reproducción y migración. El reporte conjunto entre IPBES e IPCC (2021), enfatiza la compleja y múltiple conexión entre la biodiversidad y el clima, en el contexto del cambio climático. Hay un mutuo reforzamiento entre el cambio climático y la biodiversidad, por ello la protección, manejo sostenible y restauración de ecosistemas tiene co-beneficios para la adaptación y la mitigación del cambio climático y los objetivos de la biodiversidad.

## Reflexiones finales

Como una reflexión final podemos compartir que sin duda la dimensión del cambio climático es planetaria y se ha convertido en un desafío para la humanidad. Al ser un factor desencadenante de múltiples y variados problemas negativos en el planeta, todos podemos vernos afectados en algún momento. Sin duda el efecto siempre será mayor en los sectores más vulnerables que generalmente son las comunidades de escasos recursos y que probablemente son los que menos contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero.

Aunque cada uno de los habitantes del planeta puede contribuir con sus aportes individuales y su cambio de actitud y conducta para enfrentar el calentamiento global con efectos nada

desdeñables, sin duda que existen otros sectores de la sociedad cuya intervención en las medidas de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero son primordiales: las industrias; el sector energético, tanto el basado en combustibles fósiles como el basado en las energías renovables, cada uno con sus aproximaciones propias; el transporte; la agricultura; la ganadería; los arrozales; la gestión de los desechos sólidos biodegradables. Todos están obligados a actuar ya, ante la emergencia climática que nos arropa. Y los políticos tomadores de decisiones, que tienen entre sus manos la posibilidad de legislar sobre el tema y ejecutar medidas en pro de ralentizar el incremento de la temperatura global están obligados a proceder de inmediato. Es urgente tomar las medidas que correspondan para descarbonizar el modelo de desarrollo en que está inmersa la humanidad y que es el principal factor detonante del cambio climático.

La meta de emisiones de carbono cero para 2050, que está en boca de todos, desde los diversos medios de comunicación social hasta gobiernos de muchos países, está siendo usada como hoja de ruta para los próximos años por una organización internacional para el sector energético de tanto prestigio como la IEA (2021), y que en los últimos años ya incorporó en su ADN el convencimiento de la realidad del cambio climático y la urgente necesidad de disminuir las emisiones carbonosas. Parece muy conveniente tomar en cuenta esta hoja de ruta para un sector como el energético que es la fuente de  $\frac{3}{4}$  partes de las emisiones de GEI, hoy en día (IEA, 2021).

En los últimos días de octubre de este año 2021, la cumbre de los países integrantes del G20, las veinte economías más grandes del mundo, reunida en Roma en la antesala de la reunión COP26, concluyó con un acuerdo de mínimos para enfrentar la emergencia climática, que incluía contener el calentamiento global en 1,5 ° C por encima de los niveles preindustriales y poner fin al financiamiento de plantas de generación eléctrica que usen carbón para el fin de 2021. Ambos acuerdos teóricamente son muy buenas noticias, pero el comunicado final no fue muy contundente y no incluye compromisos firmes. Expertos en el tema lo califican de “débil”. Pero es relevante conocer que en el documento final se reconoce la importante contribución de las emisiones de

metano al cambio climático y la necesidad de su reducción, que puede ser una de las formas más rápidas, factibles y rentables de limitar el cambio climático y sus impactos.

Como colofón de la 26ª Conferencia de las Partes (COP 26) que se llevó a cabo en Glasgow (Reino Unido) entre el 31 de octubre y 12 de noviembre, con asistencia de 196 países y la Unión Europea, y presentada como la última oportunidad para frenar el avance de la crisis climática, se firmó un texto consensuado entre las partes (más de 200 países) en discusiones que tardaron un día extra de lo esperado y que ha sido tildado de descafeinado por muchos de los críticos de la reunión. Muchas de las promesas de reuniones anteriores, no cumplidas al día de hoy, se vuelven a repetir. Pero ahora estamos en una situación de mucha mayor urgencia, como expresa el texto del documento final (aun en edición), cuando reconoce que *la deseada meta de limitar el calentamiento global a 1,5°C requiere de reducciones en las emisiones globales de gases efecto invernadero, rápidas, profundas y sostenidas, incluyendo una reducción de 45% para 2030 de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> con respecto a las de 2010 y llegar a emisiones netas cero alrededor de la mitad del siglo, así como profundas reducciones en otros GEI.* (Documento final COP 26, 2021). Este reconocimiento es una llamada de atención, a toda la humanidad, que nos enfoca en la urgencia de tomar medidas que sean capaces de ralentizar el calentamiento global.

En el texto al que se llegó, titulado: El Pacto Climático de Glasgow, ha quedado sin respuesta la pregunta crucial de cuantas emisiones debe recortar cada país y con cuanta rapidez, en la próxima década, cuestión que se aspira revisar en la próxima conferencia de las partes (la COP 27) a realizarse en 2022. Pero, se puede decir que algunas cuestiones que pueden considerarse positivas se han derivado de la reunión. Son pasos tímidos, pero van en la dirección adecuada. Por primera vez, en una de estas reuniones, salió a relucir el uso del carbón y de los subsidios a los combustibles fósiles y aunque la redacción final, por el tema del consenso, diluyó la conclusión originalmente propuesta de eliminarlo, quedó escrito que se hará una reducción progresiva del uso del carbón. En cuanto a los subsidios se decidió reducirlos solo en el caso de los combustibles

fósiles ineficientes, lo cual abre una puerta a la discrecionalidad de cada país para seguir dándolos. Por otra parte, más de 100 países acordaron reducir las emisiones de metano (un GEI que es alrededor de 23 veces más potente que el CO<sub>2</sub>) en un 30% para fines de esta década. Los líderes de países que representan casi el 85% de los bosques del mundo, prometieron frenar la deforestación para 2030. 30 países y 6 fabricantes llegaron a un pacto para poner fin al vehículo con motor de combustión desde 2035. El texto firmado por las partes (más de 200 países), pero que no es legalmente vinculante, hace énfasis en la necesidad de que los países desarrollados aumenten significativamente el apoyo a los países menos favorecidos económicamente más allá de la antigua promesa de US\$ 100.000 millones al año y los insta a duplicar los fondos de ayuda para adaptación al cambio climático. Esta referencia a la adaptación es un avance porque anteriormente la mitigación copaba las promesas de ayuda. (Planelles y Medina, 2021; BBC News Mundo, 2021).

Una poco usual reunión bilateral, fuera de la COP 26, entre USA y China (mundialmente los principales países emisores de CO<sub>2</sub>) anunció un acuerdo conjunto para reducir las emisiones esta década y China se comprometió por primera vez a desarrollar un plan de reducción del metano.

Aunque esta lista de intenciones, que finalmente no deja contento a casi nadie, no colme las expectativas para frenar el avance del cambio climático, contiene algunos progresos como se detallaron en el párrafo anterior. No obstante, para cumplir el Acuerdo de París con una meta de 1,5°C de elevación de la temperatura, la velocidad para reducir las emisiones de los principales gases de efecto invernadero en un 45% en 2030 con respecto a los niveles de 2010 (como se reconoce en el texto firmado) tendría que ser mucho mayor que la que se desprende de los acuerdos firmados. Hay que resolver a corto plazo, cuando aún estamos en capacidad de detener el calentamiento global, la disminución de las emisiones de estos gases. Esta es una tarea de todos, pero especialmente de los principales países emisores que tienen en sus manos el uso de las herramientas y la tecnología existentes para reducir las y la búsqueda de nuevas vías a través de la

investigación e innovación. Solo falta la voluntad política.

Para cerrar estas reflexiones, la descarbonización de nuestro sistema de desarrollo es un imperativo a cumplir antes de terminar este siglo, si no queremos que el cambio climático transforme el futuro de la especie humana en una catástrofe quizás irreversible.

## REFERENCIAS

1. ATTENBOROUGH, D., (2021). “Una vida en nuestro planeta. Mi testimonio y una visión para el futuro”. Ed. Planeta. España.
2. BATES B., KUNDZEWICS Z.W., WU S., PALUTIKOF J.P., (2008). “El Cambio Climático y el Agua”. Doc. Técnico VI, IPCC, Ginebra.
3. BBC NEWS MUNDO (2021). “COP26: 5 puntos clave del acuerdo final de la cumbre sobre el cambio climático”. Artículo en BBC News Mundo del 13-11-21. [COP26: 5 puntos clave del acuerdo final de la cumbre sobre el cambio climático - BBC News Mundo](https://www.bbc.com/news/mundo-cop26-5-puntos-clave-del-acuerdo-final-de-la-cumbre-sobre-el-cambio-climatico). Consultado el 14-11-21.
4. BERMUDEZ DE CASTRO, J.M. (2021). “Dioses y mendigos. La gran odisea de la evolución humana”. Editorial Crítica. Barcelona.
5. BOEDE E., (2005). “Testimonios Históricos y Gráficos del Deshielo de los Glaciares de la Sierra Nevada de Mérida, Venezuela”. *Revista Natura*, Nº 126. Sociedad de Ciencias La Salle.
6. CAMS. (2021). “Devastating fires in Russian Far East, British Columbia and western US”. Copernicus Atmospheric Monitoring Services. European Commission. <https://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-devastating-fires-russian-far-east-british-columbia-and-western-us>. Consultado octubre 2021.
7. CARTY, T., MAGRATH J., (2013). “Adversidad Creciente: Cambio Climático, alimentos y la lucha contra el hambre”. Informe temático de OXFAM International. Consultado el 16-07-2016 en el .
8. Cuadros Cagua T. A., (2017). “El cambio climático y sus implicaciones en la salud humana”. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 157-171. <https://doi.org/10.11144/Javeriana>. Consultado 12-5-2021.
9. FAO. (2016). “El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria”. <https://www.fao.org/3/i6030s/i6030s.pdf>. Consultado marzo 2019.
10. FERRARA-GINER G., (2018). “El recurso hídrico, su calidad y su protección a través de tecnologías de tratamiento biológico de líquidos residuales hasta nivel terciario: remoción de nitrógeno” Trabajo de Incorporación a la ANIH.
11. GARCÍA BARTUAL M., (2011). “Congelados” *Historia y Vida*. Nº 523. p.78-81. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4265436>. Consultado el 22-10-21.
12. GONZÁLEZ, E., ORTAZ, M., PEÑAHERRERA C., MATOS, M. (2004). “Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): Abundancia, biomasa y producción primaria”. *Interciencia*. Vol. 29, Nº 10, 548-555.
13. HERAS HERNÁNDEZ F., VALLADARES ROS, F., GONZÁLEZ SAEZ, M., (2006). “Cambio climático ¿Estamos cambiando el clima?” Cartilla de divulgación. Caja España.
14. IBÁÑEZ FERNÁNDEZ R., (2019). “La minería romana aumentó diez veces el plomo atmosférico en Europa”. Europa Press-Cienciaplus. <https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-mineria-romana-aumento-diez-veces-plomo-atmosferico-europa-20190508170453.html>. Consultado 10-9-2019.
15. IPBES-IPCC. (2021). “Co Sponsored Workshop Biodiversity and Climate Changed. Workshop Report”. [https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/20210609\\_workshop\\_report\\_embargo\\_3pm\\_CEST\\_10\\_june\\_0.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/2021-06/20210609_workshop_report_embargo_3pm_CEST_10_june_0.pdf). Consultado octubre 2021.
16. IPCC. (2013). 5º Informe. “Resumen Técnico Grupo I Bases Físicas”. Editado por Stocker T., Qin D., Kasper-Planer G., Tignor M., Allen, S., Boshung, J., Yu Xia, N., Bex, V., Midgley, P. Cambridge University Press, Cambridge Reino Unido y Nueva York, NY, EEUU.
17. IPCC. (2014). “Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

18. IPCC. (2019). “Resumen para responsables de políticas. En: El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres” [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)]. En prensa.
19. IPCC. (2021). “Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” [Masson-Delmotte et al. (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
20. MARQUARDT B. (2006). “Historia de la sostenibilidad. Un concepto medioambiental en la historia de Europa central (1000-2006)”. Historia Crítica N° 32, julio-diciembre 2006, Bogotá. p. 18-64.
21. MUMBY P. et al. (44 COAUTORES). (2014). “Cambio climático y su efecto sobre los arrecifes coralinos del Caribe”. En el libro: hacia la resiliencia del arrecife y medios de vida sustentables. Universidad de Exeter, Devon, UK. [www.marinespatialecologylab.org/force/cambio%20climatico%20p.52-63.pdf](http://www.marinespatialecologylab.org/force/cambio%20climatico%20p.52-63.pdf). Consultado 8-3-2017.
22. NELSON G (+13 coautores). “Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación”. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D.C. Actualizado en octubre 2009. [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf). Consultado en marzo 2014.
23. OMM. (2021). Boletín de prensa octubre 2021. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/un-a%C3%B1o-m%C3%A1s-las-concentraciones-de-gases-de-efecto-invernadero-volvieron>. Consultado en octubre 2021.
24. ONU. (2018). “Noticias mayo 2018. Departamento de asuntos económicos y sociales”. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>. Consultado: julio 2018.
25. OPS/OMS. (2017). “La salud en las Américas y el cambio climático”. <https://www.paho.org/salud-en-las-americas-2017/mhp-climate-es.html>. Consultado 15-6-2021.
26. OPS/OMS. (2018). “Olas de calor y Salud”. <https://www.paho.org/es/campanas/olas-calor-salud>. Consultado 15-6-2021.
27. OPS/OMS. (2019). “Annual Report of the Director. Advancing the sustainable health agenda for the Americas 2018-2019”. <https://www.paho.org/annual-report-of-the-director-2019/en/>.
28. OMS. (2019). “Cambio climático y salud humana”. Nota de prensa. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/climate-change-and-health>. Consultado 4-8-2021.
29. PÉREZ PASCUAL A. (2015). “¿Por qué falla la economía?”. Economía Informa. Vol. 393. P. 82-98. <https://www.google.es/search?q=curva+de+crecimiento+de+la+poblacion+del+mundo&tbn=isch&ved=2ahUKEwiB4OaZsOrzAhUQmhoKHU5CmYQ2-cCegQIABAA&oiq>.
30. Planelles, M., Medina, M.A., (2021) “La UE, EE UU y Reino Unido aplauden los avances del acuerdo de Glasgow mientras los ecologistas critican la falta de ambición” Artículo en El País 14-11-21. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/cambio-climatico/2021-11-14/la-ue-ee-uu-y-el-reino-unido-aplauden-los-avances-del-acuerdo-de-glasgow-mientras-los-ecologistas-critican-la-falta-de-ambicion.html>
31. QUINTANA SOLÓRZANO F. (2019). “Crisis climática y descarbonización el desarrollo”. Las Ciencias Sociales y la Agenda Nacional. Vol. 5 Medio ambiente, sustentabilidad y vulnerabilidad social. <https://www.comesco.com/ciencias-sociales-agenda-nacional/cs/article/view/1998/502>.
32. RUIZ DE ELVIRA A., (2007). “Los científicos y el cambio climático actual”. Ambiente. Septiembre. p. 21-24. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_AM%2FAM\\_2007\\_69\\_21\\_24.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%2FAM_2007_69_21_24.pdf). Consultado: 20-10-2021.

33. RHEIN M., RINTOUL S.R., CAMPOS, A., CHAMBERS D., FEELY R.A., GULEV S., JOHNSON G.C., JOSEY S.A., KOSTIANOY A., MAURITZEN C., ROEMMICH, D., TALLEY L.D. Y WANG F. (2013). "Observations: Ocean in Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the 5<sup>o</sup> Assessment Report of the IPCC". Ed. T.F. Stoker et al. Cambridge University Press. [www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_Chapter03\\_Final.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter03_Final.pdf). Consultado:
34. STEPHENS L., FULLER D., BOVIN N., RICK T., GAUTIER N., KAY S.A., MARSWICK B., GERALDA M., BARTON M. + 111 AUTORS. (2019). "Archaeological assesment reveals Earth's early transformation through land use". Science. August 30. Vol. 365. P. 897-202. [https://www.researchgate.net/publication/335481432\\_Archaeological\\_assessment\\_reveals\\_Earth's\\_early\\_transformation\\_through\\_land\\_use](https://www.researchgate.net/publication/335481432_Archaeological_assessment_reveals_Earth's_early_transformation_through_land_use). Consultado: 13-8-2021.
35. UNFCCC Conference of the Parties (COP). 2021. "Draft Text on Decision 1/CP.26. Proposal by the President". UNFCCC Sites and Platforms. Version 12-11-2021. <https://unfccc.int/documents/310987>. Consultado 13-11-21.
36. VILLAMIZAR A., (2018). "Cambio Climático" Capítulo X del libro "Fundamentos de la Ingeniería Ambiental". Editorial Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.
37. WMO/OMM. (2020)." State of the Global Climate 2020. Provisional Report. Unpacking the indicators". <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>. Consultado 9-8-2021.
38. WORLDOMETER (2021). <https://www.worldometers.info/world-population/> Consultado: 10-10-2021.