

El cambio climático del presente, espejo con el pasado milenario

Climate change of the present, mirror with the millenary past

Roque García Ruíz

Universidad Católica Andrés Bello

Caracas, Venezuela

Correo: roquegarcia1@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7797-9793>



Resumen

La evolución del planeta está relacionada con el cambio climático, así como el desarrollo y desaparición de las civilizaciones. Se culpa a la era industrial por el actual calentamiento global, que comenzó hace un siglo, pero se olvidan de la gran variación de temperatura global que acompañó al desarrollo del planeta. Al final del primer milenio, la temperatura era alta y fue conocido como PCM, siglo X al XIV, y posteriormente precedido por bajas temperaturas, denominada la PEH, siglo XV al XX. Las altas temperaturas del planeta a finales del primer milenio originaron la disminución de la cubierta de hielo en las cordilleras, así como la reorientación de las áreas de cultivo hacia el pie de monte, hacia una menor temperatura. La periodicidad de alta y bajas temperaturas se asocia a unos 1.000 años, tiempo similar que la corriente Termohalina, termina su ciclo desde el Ártico. Las características de dicha corriente dependen de la AMOC, donde la magnitud del gradiente de temperatura, entre las aguas del Atlántico y del Ártico, controlan la densidad de las aguas, velocidad de sumergencia, profundidad y transporte, comenzando un recorrido que dura también unos 1.000 años. La transferencia de temperatura a la superficie del océano depende de la profundidad de la corriente Termohalina, cerca, enfriará dicha superficie, con menor evaporación y temperatura global, y si la corriente está profunda, no tendrá efecto hacia la superficie, con una gran evaporación, nubosidad y lluvias. La influencia por CO₂ de la era industrial puede representar en el aumento de temperatura global actual un porcentaje menor, pero el mayor peso lo tenemos en la periodicidad en la temperatura, que ha afectado al planeta en los últimos milenios, sin la presencia de la era industrial. La COP debe considerar que el actual cambio climático constituye un evento natural del planeta.

Palabras clave: cambio climático, calentamiento global, corriente Termohalina, AMOC.

Abstract

The evolution of the planet is related to climate change, as well as the development and disappearance of civilizations. The industrial era is blamed for the current global warming, which began a century ago, but they forget the large global temperature variation that accompanied the development of the planet. At the end of the first millennium, the temperature was high and was known as the PCM, 10th to 14th century, and later preceded by low temperatures, called the PEH, 15th to 20th century. The high temperatures of the planet at the end of the first millennium caused the decrease of the ice cover in the mountain ranges, as well as the reorientation of the cultivation areas towards the foothills, towards a lower temperature. The periodicity of high and low temperatures is associated with about 1,000 years, similar to the time that the Thermohaline current ends its cycle from the Arctic. The characteristics of this current depend on the AMOC, where the magnitude of the temperature gradient between the Atlantic and Arctic waters control

the water density, submergence velocity, depth and transport, starting a journey that also lasts about 1,000 years. The temperature transfer to the ocean surface depends on the depth of the thermohaline current, near, it will cool the surface, with less evaporation and global temperature, and if the current is deep, it will have no effect on the surface, with a large evaporation, cloudiness and rainfall. The CO₂ influence of the industrial era may represent a minor percentage of the current global temperature increase, but the greatest weight is in the periodicity in temperature, which has affected the planet in the last millennia, without the presence of the industrial era. The COP should consider that the current climate change is a natural event of the planet.

Keywords: climate change, global warming, thermohaline current, AMOC.

Introducción

El cambio climático constituye un tema de gran interés en la actualidad, donde la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en Kioto en 1997, atribuye el actual calentamiento Global, directa o indirectamente, a gases producto de combustible fósiles, con un efecto invernadero. Las reuniones anuales de la CMNUCC están representadas por las Conferencias de las Partes, COP, celebrada la última en el año 2023, la N°28, en Arabia Saudita, y como resultado, tal como las COP anteriores, sigue siendo su objetivo principal limitar el aumento de temperatura, reduciendo el uso de combustibles fósiles, proveniente de la llamada era industrial, que abarca desde finales del siglo XIX hasta nuestros días, asociado al término

periodístico Calentamiento Global. Véase Figura 1.

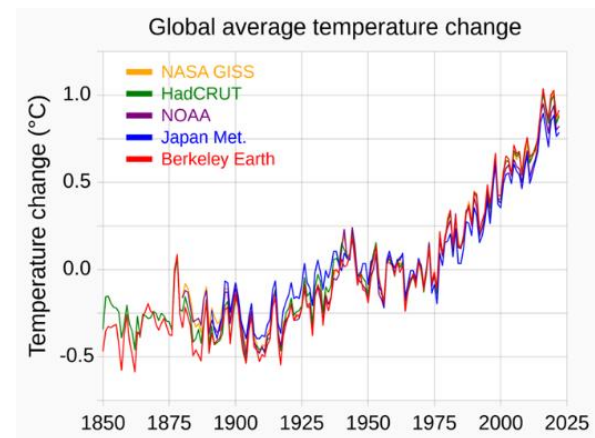


Figura 1. Variación de la temperatura global en los últimos 100 años.

El cambio climático ha afectado el planeta Tierra desde su origen, donde los elementos: agua, viento y temperatura han moldeado la superficie terrestre, permitiendo el desarrollo de la vida, pasando por las distintas eras del tiempo geológico, hasta la evolución del hombre.

Querer abarcar los distintos efectos del cambio climático en el tiempo geológico constituye un tema de gran volumen de investigaciones, por lo cual el presente artículo abarca el cambio climático en los últimos milenios y especialmente los últimos 1.000 años, donde se concluye que *El Cambio Climático del Presente es Espejo del Pasado Milenario*. Comenzaremos con un breve resumen de las investigaciones realizadas sobre la variación de la temperatura en los últimos 1.000 años, condiciones climáticas iniciales que se asemejan al actual denominado Calentamiento Global, y seguiremos con los efectos del cambio climático en el desarrollo de las civilizaciones. Por último, se relaciona La Circulación de Retorno Meridional del Atlántico (AMOC) y la Corriente Termohalina, con las condiciones de temperatura en ciclos de unos 1.000 años, donde el comienzo del llamado Periodo Cálido Medieval, hace 1.000 años, se encuentra en desarrollo en el presente, con la frase Calentamiento Global, el cual se asigna en el presente artículo como Periodo Cálido Moderno.

Variación de la temperatura en los últimos milenios

Sobre la variación de la temperatura a nivel mundial existen numerosas investigaciones, pudiendo destacar Thompson and Davis (2014), basada en perforaciones para obtener núcleos de hielo en el glaciar tropical de Quelccaya, ubicado en el altiplano sur de Perú, a unos 150 kilómetros al sureste de Pisac. Christopher M. Moy (2002), cuya investigación se basó en núcleos de sedimentos recuperados en la Laguna Pallcacocha en la parte sur de los Andes ecuatorianos. B. Christiansen y L. Jungqvist (2012), en su investigación, utilizó métodos de reconstrucción de conjuntos de pseudo-proxy, basados en modelos de regresión lineal. Craig Loehle (2008), quien utilizó únicamente los proxis que tenían al menos 20 fechas sobre los 2.000 años en estudio. J. Apaéstegui y otros (2015), en la investigación sobre la Variabilidad hidrológica, mediante registro $\delta^{18}O$ de un espeleotema, relacionan el Sistema de Monzón de América del Sur durante los últimos 1.600 años.

En la Figura 2 se muestran los resultados de las investigaciones anteriores, pudiendo concluir que para el comienzo del último

milenario se presenta, en general, un ascenso de temperatura, el cual fue descendiendo hacia el año 1200 y se mantiene estable hasta el año 1500. La temperatura desciende entre los años 1600 a 1800, cuyo periodo se conoce como Pequeña Edad de Hielo, ascendiendo progresivamente al comienzo del siglo XX, y acentuándose a partir de la década de los 80 hasta el presente 2024, lo cual ha sido designado como Calentamiento Global.

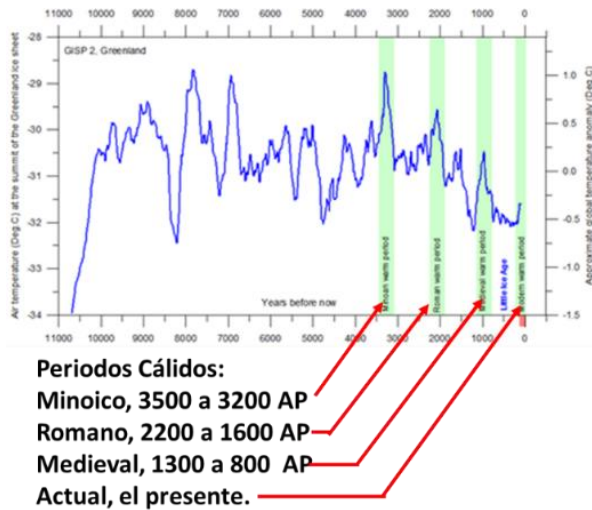


Figura 2: Correlación en tiempo de los resultados de las distintas investigaciones indicadas en el texto, estando delimitado los años 1000, 1200 y 1500.

De las investigaciones sobre el cambio climático se destaca la del geólogo Richard Alley (2000) en su libro *The two-mile time machine: Ice cores, abrupt climate change, and our future* (La máquina del tiempo de dos millas de núcleos de hielo, cambio climático

abrupto, y nuestro futuro), véase Figura N°3, analiza mediante la utilización de proxis en núcleos de hielo extraídos de Groenlandia, la historia climática de los últimos 11.000 años en la Tierra. En su obra se analizan los cambios bruscos en el clima y el futuro de la temperatura en el planeta Tierra. En la Figura N°3 se encuentran destacados los distintos periodos cálidos, desde el presente hasta unos 4.000 años atrás, que en general, se observan que los periodos de altos de temperatura, se repiten cada 1.000 años. El desarrollo de las civilizaciones se relaciona con las condiciones climáticas en el momento, las cuales se evidencian en la actualidad por las formas geomorfológicas, que constituyen proxis climáticos, tan evidentes en las excavaciones arqueológicas.

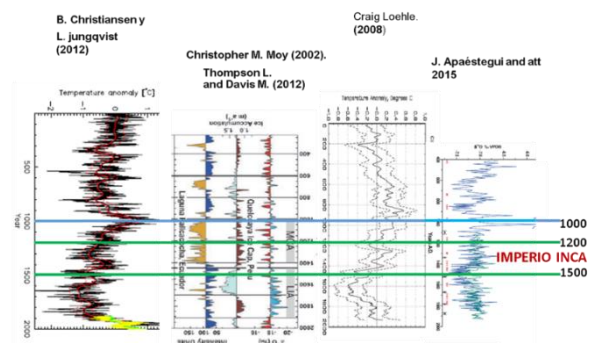


Figura 3. Gráfico de Richard Alley, *The two-mile time machine: Ice cores, abrupt climate change, and our future*, donde se destaca los periodos cálidos en los últimos 4.000 años.

Climatología y eventos durante el periodo cálido medieval

El desarrollo de civilizaciones debió estar acorde con las condiciones ambientales favorables, así como su desaparición debió estar relacionada con eventos destructivos o cambios en las condiciones climáticas, tal como lo indican García y García (2017-2018) y García (2019-2020-2022). En dichos artículos se analizan los desarrollos de las civilizaciones egipcia, romana e inca, abarcando desde 2500 AC a 1500 DC, donde las condiciones climáticas que favorecieron a dichos desarrollos fueron muy distintas al paisaje inhóspito actual o su ocultamiento por eventos naturales.

Durante el comienzo del periodo cálido medieval, existieron condiciones climáticas particulares, donde la temperatura global del planeta se encontraba en alza, que debió afectar las áreas frías del planeta, disminuyendo la cubierta de hielo en las cumbres de las cadenas montañosas, y tal como lo indica la historia de Groenlandia, las condiciones climáticas permitieron los primeros pobladores. Los eventos climáticos se pueden relacionar con historias que dependen de la imaginación del investigador. Cuando observamos en la isla de Pascua,

localizada en la mitad del gran océano Pacífico, en la actualidad con un ambiente semidesértico, con escasa vegetación, pero con las grandes estatuas de los moais sembradas en el terreno (Véase Figura 4). Debemos imaginarnos un periodo de lluvias torrenciales, con efectos de saturación e inestabilidad en las laderas, que movilizaron amplias masas de suelo en un estado fluido, que arrastraba lo que se encontraba a su paso, acabando con todo vestigio de una civilización pasada. En dicha civilización fueron esculpidos los moais, tal como indican los autores (2017), los cuales fueron enterrados por los deslizamientos. Estos eventos debieron predominar en el área que circunda el océano Pacífico, con un ambiente de largos periodos de lluvia. Con el tiempo las lluvias se equilibraron con los veranos, permitiendo la llegada de una segunda ola de polinesio, que pobló la isla nuevamente, rescatando los moais de la generación pasada.



Figura 4. La isla de Pascua y los moais con su cuerpo enterrado. Fuente Google.

Un periodo cálido, de altas temperatura, genera mayor evaporación en los cuerpos de agua, que debe formar parte del ciclo hidrológico. Por lo tanto, un periodo cálido debe de estar relacionado con mayor intensidad de la lluvia, generando problemas de estabilidad en las laderas montañosas y conformando al pie de las montañas áreas de pendiente suave, producto de los depósitos de materiales debido a la inestabilidad generada en las montañas.

El planeta, con un alza de temperatura global, tiene efecto en los climas conocidos alrededor del mundo, intensificando las épocas de calor o frío, en un panorama complejo donde distintas estaciones se mantienen, pero ajustada a una media de la temperatura. Cuando se analiza el desarrollo de la civilización inca, donde se construyeron complejas edificaciones en laderas montañosas de alta pendiente, y estamos observando amplios valles aluviales poblados y cultivados, nos preguntamos por qué la construcción en las laderas. La respuesta puede ser evidente, valles inhabitables, sometidos a constantes inundaciones. Pero con el tiempo le siguió un cambio climático, menor lluvia, pudiendo estar relacionado con un equilibrio entre

invierno y verano; los valles, con el ingenio del inca, se van controlando mediante canalizaciones, aunque el trabajo realizado fue aprovechado por el conquistador, fundando numerosas poblaciones a lo largo de los valles (Ver Figura 5).



Figura 5. Sector de Pisac, en el Cuzco, Perú. En área en el círculo encierra un área de andenes de unas 4 has., que se compara con el valle del río Vilcanota, donde en la actualidad se cultivan más de 200 has.

En Europa, en la actualidad, los descubrimientos arqueológicos marcan episodios de lluvias torrenciales, que pueden ser relacionados con el comienzo del periodo cálido medieval. Llama la atención la amplia área del foro romano, Roma, Italia, donde los niveles de las edificaciones romanas se encuentran a unos 10 metros por debajo del nivel actual de desarrollo. ¿Cuál fue la magnitud de los eventos relacionados con lluvias y grandes aportes de materiales?, son preguntas que no tienen respuesta, pero que

representa la llave para el conocimiento adecuado del actual cambio climático, pudiendo ser el complemento que falta al efecto de los gases contaminante relacionado con la era industrial (Ver Figura 6).



Figura 6. Roma, capital de Italia, destacándose en el sector del foro Romano un nivel de edificación de unos 10 metros por debajo del desarrollo medieval. Google Earth.

Hacia el año 1000 marca el comienzo del periodo cálido medieval. Desde finales del primer milenio y comienzo del segundo milenio existen numerosas evidencias de proxis geomorfológicos, relacionados con eventos catastróficos, siendo los más evidentes las llamadas excavaciones arqueológicas, donde por debajo de decenas de metros de materiales de tierra existen ciudades ocultas que fueron florecientes en un pasado cercano. Los materiales de tierra provienen de problemas de estabilidad de las

laderas de las cuencas, que se asocian a altos caudales de lluvia.

La investigación realizada por C. Ferreras F. (2005), luego de recopilar información de distintos autores, concluye que a partir del siglo V comienza un período donde las temperaturas empiezan a descender notablemente, especialmente en los glaciares escandinavos y alpinos. Para el comienzo del siglo VII, las temperaturas empiezan a aumentar progresivamente hasta el siglo X, donde se comienza a sentir una suavización climática. A partir del año 1000 hay una masiva fusión de hielos en el Ártico y posiblemente en Groenlandia, que posteriormente tomaría el nombre de Tierra Verde, que conserva con toda impropiedad. En Europa, empieza una retracción glacial y al parecer los viñedos llegaron a estar 5 grados más al norte que como se encuentran en la actualidad. Ferreras comenta intervalos de lluvias torrenciales, destructivas, principalmente al comienzo del siglo X.

De Ferreras (2005) se puede concluir que el comienzo del Periodo Cálido Medieval debió estar relacionado a un aumento de la temperatura global, deshielo en los polos y disminución de las áreas nevadas de las montañas, subiendo en cota. El aumento de la

temperatura trajo como consecuencia la ampliación de las áreas de cultivo hacia el pie de monte, donde las condiciones climáticas de temperatura eran más benévolas. Las lluvias y crecientes son frecuentes, destacando Ferraras en el año 1168 los desbordamientos de los ríos Tajo y Guadalquivir que ocasionaron, al parecer, 65.000 muertos.

Eventos climáticos del siglo XXI

García y García (2017, 2018) relacionan el alto de temperatura al comienzo del primer milenio con periodos de lluvias torrenciales de mayor duración e intensidad, que ocasionaron problemas de estabilidad en las laderas, con fenómenos de deslizamientos, y grandes aportes de sedimentos, los cuales conformaron amplias aéreas de sedimentos de relieve suave, sobre los cuales en la actualidad se encuentra importantes desarrollos urbanísticos. En los últimos 50 años, tal como lo analiza Munich RE (2016) (véase Figura 7), los eventos climatológicos se han ido intensificando, relacionados con altas precipitaciones y altas temperaturas, siendo noticias el aumento de la intensidad de

las lluvias que causan daños a amplias áreas habitadas, afectando la estabilidad de las laderas, asociados a caudales que pueden estar en periodos de retorno de 500 a 1.000 años. Así mismo en el periodo de calor, las altas temperaturas se hacen noticias, relacionándolas con el mal llamado calentamiento global, cuyo causante es asignado a la alta emisión actual de CO₂.

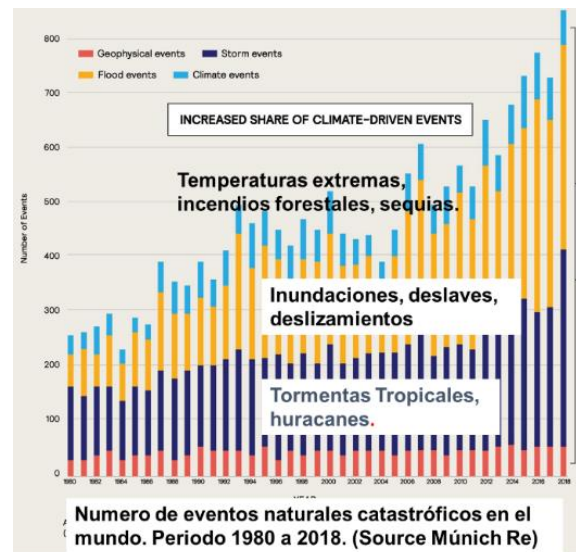


Figura 7. Gráfico de Múnich Re, que muestra los eventos catastróficos mundiales entre los años 1980 a 2015.

El clima lo podemos definir como un conjunto de condiciones atmosféricas promedio durante un periodo de tiempo en un área geográfica determinada, constituyendo un equilibrio de los elementos agua, viento y temperatura. El cambio climático se origina

por cambios en algunos de dichos elementos, repercutiendo en los restantes.

1) Circulación de Retorno Meridional del Atlántico (AMOC)

La Circulación de Retorno Meridional del Atlántico (AMOC) constituye la terminación del flujo del agua que se transporta a través del océano Atlántico, en contacto con el océano Ártico. Curry (2016) muestra en la Figura 8 el mapa de los mares nórdicos y cuencas subpolares con circulación esquemática de las corrientes superficiales (curvas continuas) y las corrientes profundas (curvas discontinuas) que forman una parte de la circulación meridional de vuelco del Atlántico. Uno hacia el norte, que abarca las capas superiores de aguas cálidas y saladas, que avanzan y recorren el Ártico, y otro ramal hacia el sur que abarca la sección de aguas frías y profundas, que formarán parte de la corriente Termohalina. La corriente superficial, durante su recorrido por el Ártico, se enfría y su salinidad aumenta, se devuelve hacia el sur, por el mar de Baffin, y se hunde nuevamente en el Atlántico. Esta corriente que viene de la superficie, junto con el ramal de corriente profunda, forman la

corriente Termohalina, comenzando un nuevo recorrido milenario.

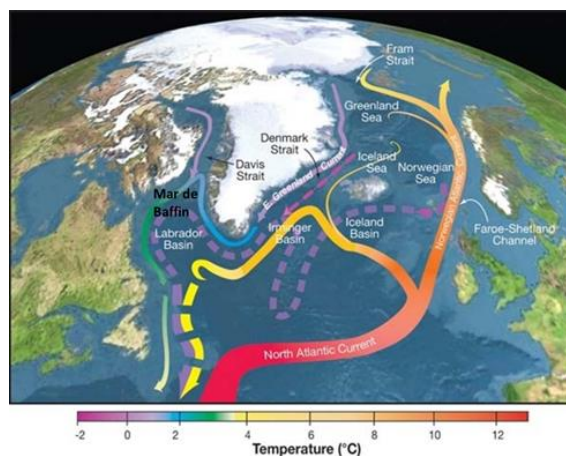


Figura 8. Mapa topográfico de los mares nórdicos y cuencas subpolares. R. Curry (2016). Archivo: OCP07 Fig-6.jpg. Wikipedia.

Durante el proceso de enfriamiento del agua en el Ártico se forma hielo marino, con expulsión de la sal. Como consecuencia, el agua de mar se vuelve más salada, su densidad aumenta y debido a la baja temperatura comienza a hundirse. Con lo cual se inician las corrientes oceánicas profundas que impulsan la cinta transportadora global.

La AMOC ha sido objeto de numerosas investigaciones donde indica que en la actualidad hay un debilitamiento en la velocidad de hundimiento, donde Thornalley et al. (2016) lo relacionan con el calentamiento del Ártico, con la era industrial y la emisión de gases efectos invernadero.

Stefan Rahmstorf del Instituto de Potsdam para la Investigación del Impacto Climático, coautor del estudio publicado en *Nature Geoscience*, indica que un debilitamiento del AMOC aumentaría la cantidad y la gravedad de las tormentas que golpean a Gran Bretaña y traerían más olas de calor a Europa. El autor concluye que el debilitamiento actual no se había observado durante al menos los últimos 1.000 años, tras estudiar sedimentos y núcleos de hielo de Groenlandia.

Circulación global de la corriente Termohalina

De acuerdo con NOAA (s/f), los vientos superficiales impulsan las corrientes oceánicas en los 100 metros superiores de la superficie del océano. Sin embargo, las corrientes oceánicas también fluyen a miles de metros bajo la superficie. Estas corrientes de aguas profundas son impulsadas por diferencias en la densidad del agua, que está controlada por la temperatura (termo) y la salinidad (halina). Este proceso se conoce como circulación Termohalina. (Ver Figura 9).

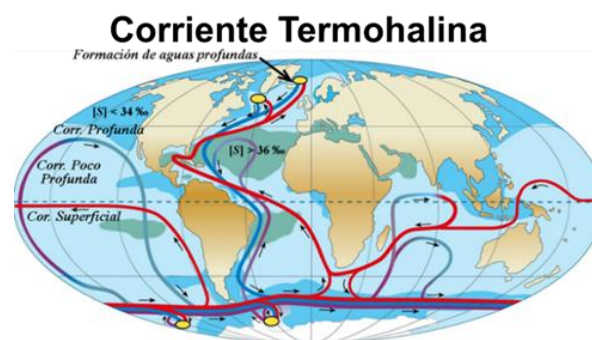


Figura 9. Recorrido de la corriente Termohalina. Tomado de Ferrer. Lección 4. Sistema subacuático.

Tal como se describió en el punto anterior, la circulación global de la corriente Termohalina se forma cuando las aguas cálidas superficiales de la corriente del Golfo llegan a las cercanías de Groenlandia, con salinas, que son enfriadas por la baja temperatura del océano Ártico, aumentando su densidad, las cuales se hunden a través de las aguas de menor densidad. De esta forma, se establece la corriente Termohalina que recorre el fondo de la cuenca del océano Atlántico hasta el océano Glacial Antártico, donde asciende de nuevo, se enfría hasta el punto de congelación y se hunden nuevamente en profundidad.

De acuerdo a Ferrer (s/f) en la amplia cuenca del océano Pacífico se redistribuye las corrientes de agua salada proveniente del océano Atlántico. Las corrientes poco profundas que circulan a través de los

océanos Pacífico e Índico son de aguas cálidas que fluyen de nuevo hacia el Atlántico Norte atravesando el Ecuador. Cuando la corriente se traslada hacia el norte por el Atlántico, la concentración de sal aumenta, debido a lo estrecha de la cuenca, limitada por los continentes de América y África.

Cuando se habla de la circulación Termohalina se habla de un proceso complejo en el espacio y en el tiempo, que comprende escalas que abarcan cientos de años. De acuerdo con la IA nova, el tiempo de residencia de la circulación de las aguas en el océano profundo y hasta que ascienden en la otra punta del globo es de unos 1000 años. En la página de español.libretexts.org (s/f), el tiempo de recorrido lo colocan entre 1000 a 2000 años.

Aunque la vida de una persona puede parecer insignificante en el tiempo anterior, podría ser determinante para entender los procesos que afectan y modelan el clima.

Se concluye que es un mecanismo vulnerable que podría arruinarse si parte de las masas de hielo polar se derritiera, inyectando un exceso de agua dulce en la cuenca del Atlántico Norte. Ferrer (s/f) indica que cuando estas masas de agua se hunden para formar la corriente Termohalina, ceden

su calor a los vientos superficiales del Oeste, lo cual controla el clima templado que disfruta Europa. Así mismo, indica que la corriente del Golfo transporta una cantidad enorme de calor hacia el Norte, si su flujo se interrumpiera caería la temperatura en 5°C o más.

El clima y la formación de la corriente Termohalina

El 70% de la superficie del planeta Tierra lo constituyen los océanos, donde la formación de la corriente Termohalina desde el Ártico, la gran masa de agua, de baja temperatura, se desplaza entre los continentes, con muy lentos movimientos, llevando condiciones de salinidad y temperatura que se distribuyen a lo largo de los distintos océanos. La velocidad de desplazamiento depende de su salinidad y de la temperatura del agua, cualquier cambio, ya sea por aumento o disminución de salinidad o de temperatura, el cuerpo de agua experimenta cambio de densidad, que se traduce en un cambio de volumen, experimentando un complejo movimiento de avance. Todo lo cual debe estar relacionado con el movimiento de rotación de la tierra.

Las características de densidad, velocidad y profundidad de la corriente Termohalina dependen del gradiente de temperatura entre el océano Ártico y la corriente marina cálida del océano Atlántico, que se desplaza hacia el norte. Las condiciones de temperatura del océano Ártico dependen de la climatología mundial, pudiendo tener una tendencia cálida, como la actual, o fría, como la pequeña Edad de Hielo. En la Figura 10 se muestra en forma esquemática la profundidad y características de la corriente Termohalina, cuya profundidad depende del gradiente térmico.

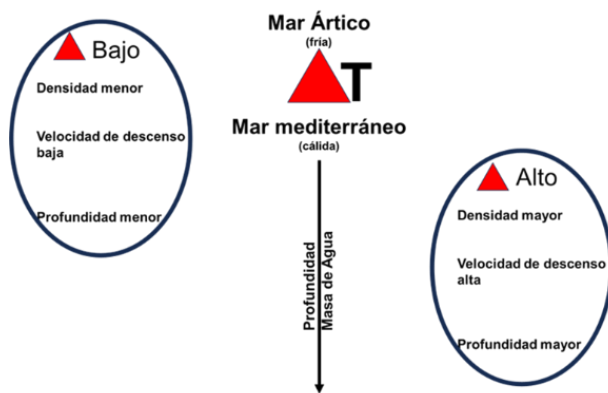


Figura 10. Posición de la corriente Termohalina de acuerdo a la diferencia de temperatura entre los mares Ártico y Mediterráneo. A mayor diferencia, la profundidad es mayor y con una diferencia baja, la profundidad es menor.

Del lado derecho de la figura, a un gradiente muy alto, la densidad del agua salina será mayor, con una velocidad de descenso más alta y alcanzando una profundidad mayor. Del lado izquierdo, debido a un gradiente menor, tendremos menor densidad, así como, velocidad de descenso y profundidades menores. Debido a la baja velocidad de desplazamiento de la corriente Termohalina, los efectos en los océanos dependerán de un tiempo largo, de varios siglos, con efectos en las amplias masas oceánicas, como el Pacífico. Las condiciones actuales de un calentamiento global tendrán como efectos en la formación de la corriente Termohalina menor velocidad de hundimiento y menor salinidad, condiciones climáticas similares de altas temperaturas al final del primer milenio, comienzo del Periodo Cálido Medieval.

Las masas de agua marina que forman la corriente Termohalina son masas frías, que se desplazan a muy baja velocidad a través de los océanos, que deben afectar las condiciones ambientales y transmitidas a los océanos después de siglos de su formación, cuyos efectos sobre el planeta deben ser transmitidas de los océanos a la atmósfera.

Relación entre la corriente Termohalina y la temperatura global del planeta

Las condiciones de formación de la corriente Termohalina, relacionadas con la profundidad y velocidad de descenso, dependen del gradiente de temperatura. Su desplazamiento a través del planeta abarca varios siglos, planteando que los efectos progresivos hacia la atmósfera, pueden tener una relación con los periodos cálidos y fríos de la historia climática en los últimos milenios.

En la Figura 11 se muestran, en forma de esquema, las condiciones climáticas que representan alternancia de periodos cálidos (C) y fríos (F), así como la relación con la profundidad de la corriente fría Termohalina, indicada en círculos azules. Para un periodo cálido, las condiciones climáticas debieron estar precedidas por un periodo frío anterior, con efecto en la formación de la corriente Termohalina a mayor profundidad, con un alto gradiente térmico, que se mantendría por varios siglos antes, hasta distribuirse en la mayor parte de los océanos. La superficie del océano estaría sometida a un efecto de radiación solar con mayor intensidad, pero con menor efecto del enfriamiento por

corriente Termohalina, que se encontraría a gran profundidad. Por lo tanto, predomina El Niño sobre La Niña.

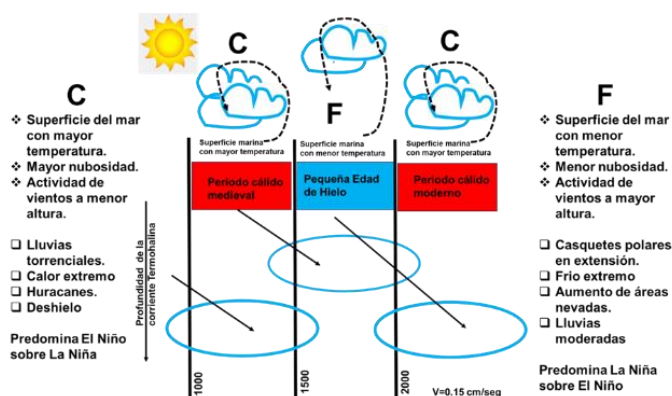


Figura 11. Esquema que muestra los efectos del paso de un periodo donde predomina una condición climática a otra, cuyos efectos se acentúan después de 500 a 700 años. En la actualidad estamos comenzando un Periodo Cálido Moderno.

La formación de la corriente Termohalina durante un periodo cálido, el agua fría tendrá menos profundidad, que, con el paso de los siglos, influiría en la superficie marina con una menor temperatura, que podría aminorar el calentamiento de dicha superficie por el sol. La nubosidad podría ser menor, pero alcanzaría mayor altura y estaría relacionada con eventos climáticos de lluvias y nieve, hacia el área montañosa, descenderían en cotas las cubiertas blancas. Por lo tanto, predomina La Niña sobre El Niño. Como ejemplo anterior, podemos aplicar el actual

calentamiento global, que fue procedido hace 600 años, por la pequeña edad de hielo, periodo en el cual la temperatura global del planeta se encontraba baja, las cumbres de los sistemas montañosos se cubrían de nieve, con presencia de glaciales que descendían lentamente hacia los valles. Ejemplo de extensión de los glaciares los tenemos en dos (2) puntos opuestos del planeta en el glaciar Quelccaya, altitud de unos 5000 m, en la Cordillera Vilcanota, Cordillera Oriental de Los Andes, Perú y el glaciar Upper Fremont, a una altitud de 4000 m, en la cordillera Wind River, Wyoming, EE.UU. los cuales alcanzaron la máxima extensión entre 1550 y 1850.

Climatología y eventos durante el Periodo Cálido Medieval

Durante el Periodo Cálido Medieval, existieron condiciones climáticas particulares, donde la temperatura global del planeta se encontraba en alza, que debió afectar las áreas frías, disminuyendo la cubierta de hielo en las cumbres y, tal como lo indica la historia de Groenlandia, las condiciones climáticas permitieron los primeros pobladores. Los eventos climáticos se pueden relacionar con historias que

dependen de la imaginación del investigador. Cuando observamos la isla de Pascua, localizada en la mitad del gran océano Pacífico, en la actualidad con un ambiente semidesértico, con escasa vegetación, pero con las grandes estatuas de los moais sembradas en el terreno, debemos imaginarnos largos periodos de lluvias torrenciales, con efectos de saturación e inestabilidad en las laderas, que movilizaron amplias masas de suelo en un estado fluido que arrastraba lo que se encontraba a su paso. Estos eventos debieron predominar hacia la terminación del primer milenio, en la amplia área que circunda el océano Pacífico, con un ambiente donde los periodos de lluvia predominaron al verano.

Un periodo cálido, de altas temperaturas, genera mayor evaporación en los cuerpos de agua, que debe formar parte del ciclo hidrológico. Por lo tanto, un periodo cálido debe estar relacionado con mayor intensidad de la lluvia, generando problemas de estabilidad en las laderas montañosas y conformando al pie de las montañas, áreas de pendiente suave, producto de los depósitos de materiales debido a la inestabilidad generada.

El planeta, con un alza de temperatura global, tiene efecto en los climas conocidos

alrededor del mundo, intensificando las épocas de calor o frío, en un panorama complejo donde distintas estaciones se mantienen, pero ajustadas a una media de la temperatura. Cuando se analiza el desarrollo de la civilización inca, donde se construyeron complejas edificaciones en laderas montañosas de alta pendiente, y estamos observando en las visitas turísticas amplios valles aluviales poblados y cultivados, nos preguntamos el porqué de las construcciones en las laderas. La respuesta puede ser evidente, valles inhabitables, sometidos a constantes inundaciones. Pero con el tiempo le siguió un cambio climático, menor lluvia, pudiendo estar relacionado con un equilibrio entre invierno y verano; los valles, con el ingenio del inca, se van controlando, mediante canalizaciones, aunque el trabajo realizado fue aprovechado por el conquistador, fundando numerosas poblaciones a lo largo de los valles.

En Europa, en la actualidad, los numerosos descubrimientos arqueológicos, principalmente relacionados con las obras del transporte subterráneo, mediante las excavaciones para el metro, marcan episodios de grandes aportes de tierra asociadas a lluvias torrenciales, que en la

actualidad están relacionadas con el término deslave. Dichos episodios pueden ser relacionados con el comienzo del periodo cálido medieval. Llama la atención la amplia área del foro romano, Roma, Italia, donde los niveles de las edificaciones romanas se encuentran a unos 10 metros y otras partes por debajo de la Roma medieval, hay calles a 20 metros del nivel actual de desarrollo. ¿Cuál fue la magnitud del evento relacionado con lluvias y grandes aportes de materiales?, son preguntas que no tienen respuesta, pero que representan la llave para el conocimiento adecuado del actual cambio climático, pudiendo ser el complemento que falta al efecto de los gases contaminantes relacionados con la era industrial.

El clima actual del planeta, espejo del Periodo Cálido Medieval

En la actualidad tenemos un calentamiento global, y los cuerpos de agua se están calentando, así como la cubierta de hielo está afectada por un derretimiento mayor que hace un siglo, todo lo cual está a la vista en cualquier parte del mundo. Pero es evidente que en la actualidad los eventos climáticos relacionados con lluvias, calor y vientos, también están afectando el planeta

con mayor intensidad que en el periodo pasado asociado a la denominada Pequeña Edad de Hielo, donde la temperatura global era hacia el frío.

La mayoría de las investigaciones que relacionan la variación de temperatura con el tiempo, evidencia durante la historia de las civilizaciones altos y bajos de temperatura, pudiendo considerarse como la reacción del planeta a condiciones climáticas, cuyo equilibrio depende del tiempo. Todo lo que se calienta se enfría, y lo que se enfría se calienta.

Durante el comienzo del Periodo Cálido Medieval hace un milenio, la población mundial era de 300 millones de habitantes, los eventos climáticos, lluvias torrenciales, tornados, incendios, debieron afectar gran parte de áreas no pobladas, y otros, cuyo reporte pudo ser transmitido en forma verbal o pueden estar evidenciados por las excavaciones arqueológicas, que constituyen en la actualidad proxis de eventos climáticos extremos del pasado.

Los eventos de hace 1.000 años, relacionados con el efecto de calor, obligó a distintos pobladores de Europa a expandirse hacia cotas más elevadas, ampliando el área de cultivo, pero el ocultamiento de poblados

para la época, que son descubiertos con las actuales construcciones de obras subterráneas, como las líneas de metro, indican eventos de lluvias catastróficos.

La isla de Pascua en la actualidad posee un paisaje semiárido, que contrasta con las condiciones encontradas durante la segunda llegada de los polinesios, hacia el año 1200, con un paisaje tropical y un nivel de agua subterráneo que fluía a cotas elevadas. Los famosos moais, de gran interés turístico en la actualidad, son obra de una generación anterior, pudiendo asignarse su destrucción hacia el final del primer milenio, donde lluvias torrenciosas acabaron con todo vestigio de vida, quedando los moais enterrados como evidencias de efecto de deslaves catastróficos.

El planeta en la actualidad está sometido a condiciones de calentamiento similares a hace 1.000 años atrás, por lo tanto, la climatología actual debe estar mejor relacionada con eventos catastróficos para la época, que con los eventos sucedidos durante el periodo llamado Pequeña Edad de Hielo, que abarcó desde el siglo XV hasta comienzo del siglo XX.

El calentamiento global actual se considera un espejo de las condiciones

climáticas que comenzaron con el inicio del segundo milenio, caracterizado también por un alto en las temperaturas globales. (Véase Figura 12).



Figura 12. Representa en forma esquemática la alternancia milenaria del clima, mediante dos (2) espejos, designados con los números 1.000 y 2.000, separados por un periodo cálido de color rojo, seguido por un periodo frío, azul.

¿Qué nos espera después del 2030?

No hay duda, los eventos climáticos se han intensificado en los últimos 50 años, pudiendo destacar lluvias torrenciales, asociados al término deslave, con amplias destrucciones de áreas pobladas que se desarrollaron en espacios que se formaron en un pasado cercano, por condiciones similares de eventos de lluvias.

Las tormentas tropicales en la actualidad han ido aumentando su frecuencia, con

mayor tiempo de velocidades sostenidas de viento, así como de categoría.

Los largos veranos, asociados a corrientes de aire, han originado incendios que han abarcado amplias áreas, quedando la superficie del terreno sin protección vegetal para el periodo de invierno, donde las lluvias originan fuertes procesos erosivos.

Las olas de calor han originado también un derretimiento de la cubierta de hielo en las cumbres nevadas de las cordilleras que circundan los continentes.

Estamos en un panorama climático complejo, donde el actual calentamiento global puede constituir, dentro de la historia climática del planeta, el comienzo de un periodo cálido que, de acuerdo con la historia climática del pasado, debemos convivir con él por varios siglos.

El planeta se puede considerar un sistema complejo interactuando la atmósfera con los mares y los continentes, generándose eventos locales por desequilibrios atmosféricos. Si observamos los resultados de las investigaciones en el glaciar de Quelccaya, Perú (Figura 13), se destaca que en el Periodo Cálido Medieval, delimitado entre los años 1000 y 1400, la alternancia de picos de calor con picos de baja temperatura, pudiendo

delimitarse en intervalos aproximados de 50 años. En la actualidad, el llamado Calentamiento Global se encuentra en desarrollo desde finales de la década de 1970, y si consideramos intervalos de cambio de calor a frío, se puede desarrollar un refrescamiento del planeta a partir de 2030.

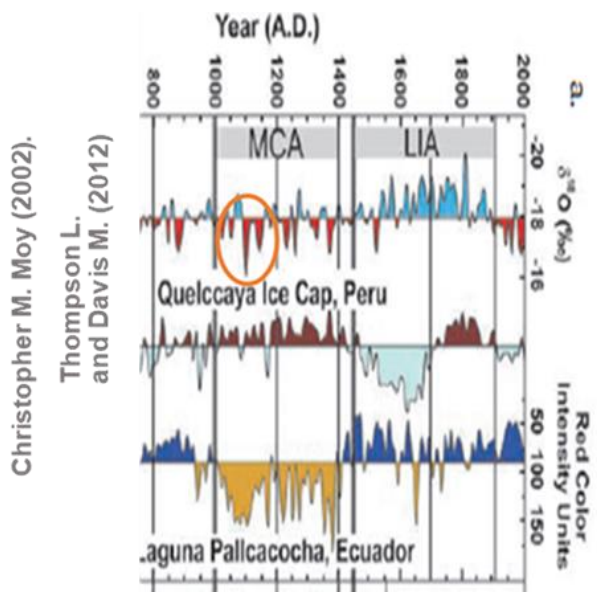


Figura 13. Detalle del gráfico de Thompson y Davis (2012), destacándose en el Periodo Cálido Medieval (MCA) intervalos de bajas y altas temperaturas, que puede ser asociado cada 50 años.

En la actualidad, el calentamiento global está originando altos volúmenes de vapor de agua, que formarán parte de la atmósfera y cuya precipitación en lluvia o nieve debe estar relacionada con la presencia de corriente de aire frío. Dichas corrientes de

aire deben estar desarrollándose a una altura mayor que la nubosidad que se suele acumular hacia las serranías montañosas. Es importante destacar que la concentración de nubes en un tiempo determinado y presencia de corrientes de aire frías constituyen la fórmula perfecta para lluvias tormentosas, asociadas a fenómenos de deslaves. Un caso particular lo constituye el vórtice polar, donde corrientes de aire frío pueden estar limitadas en altura, por el calentamiento del planeta, obligando a su propagación, como corrientes frías que afectan principalmente Norteamérica y Europa.

El desarrollo de tormentas y huracanes está asociado a la evaporación en el océano, con mayor humedad en la atmósfera, y la formación y concentración de nubes asociadas al frío por la altura, sumándole el efecto de rotación de la Tierra, hace girar la masa de nubes, desarrollando tormentas o huracanes. Como es lógico, en el actual periodo de calentamiento global, asociado a mayor evaporación, se debe esperar un número mayor de eventos y aumento en la magnitud.

Comentarios

La última Conferencia de las partes de la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), COP 28ª, llevada a cabo en Dubái, Emiratos Árabes, entre el 30 noviembre al 13 de diciembre 2023, representada por 154 países, al igual que las veintisiete conferencias anteriores, su objetivo principal sigue siendo limitar el aumento de temperatura, reduciendo el uso de combustibles fósiles. Es importante antes de entrar en las conclusiones describir de la CMNUCC (1992), su artículo 2, sobre el Cambio Climático, que indica lo siguiente: “se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (pág. 3).

Está ampliamente referenciado que el cambio climático ha formado parte de la historia del planeta Tierra, y en los últimos cuatro (4) milenios, donde detalladas investigaciones científicas, a partir de mediciones en Espeleotema, Anillos de

Árboles, Núcleo de Hielo, etc., han diferenciados a través de largos periodos de tiempo, siglos, altas temperaturas, que se alternan con bajas temperaturas, los cuales han sido designados respectivamente como Periodos Cálidos y Periodos Fríos. En el último milenio, se asocia entre los siglos X hasta el XIV, al Periodo Cálido Medieval y entre los siglos XV al comienzo siglo XX, como Pequeña Edad de Hielo.

Existe una aparente reciprocidad milenaria, que asocia un periodo cálido de unos 500 años con otro frío de otros 500 años, lo cual se evidencia en los gráficos de tiempo en años y variación de temperatura en °C.

De los gráficos que se muestran en las figuras 2 y 3, así como los valiosos comentarios de Calixto Ferrera F. (2005), se puede concluir que en el periodo cálido medieval (PCM), el planeta mantuvo, en general, temperaturas medias en alza, que debió estar asociada a una mayor evaporación, superficie del mar con mayor temperatura, mayor nubosidad y actividad de vientos a menor altura, lo cual trajo como consecuencias lluvias torrenciales, calor extremo, huracanes, deshielo, y se puede decir que predominó El Niño sobre La Niña. En contraste tenemos, después del siglo XV,

predominio de un periodo frío, denominado la Pequeña Edad de Hielo (PEH), donde la superficie del mar debió tener menor temperatura, menor nubosidad, asociado a actividad de vientos a mayor altura, lo cual mantuvo un planeta frío, con extensión de los casquetes polares, aumento en extensión de la nieve en la cumbre, así como lluvias moderadas, donde predominó La Niña sobre el Niño. De lo comentado en el capítulo 8, se relaciona el cambio climático con la formación y recorrido milenario de la corriente Termohalina, cuyos efectos se transmiten a la atmósfera después de un recorrido por más de cinco (5) siglos, cuya profundidad de formación controlan la temperatura de los océanos, principalmente el gran océano Pacífico. Los efectos actuales del clima en el llamado Calentamiento Global tuvieron su origen en el siglo XIV, donde la temperatura global del clima fue disminuyendo, por lo tanto, el alto gradiente de temperatura, entre las aguas de los océanos Ártico y Mediterráneo, produce mayor densidad de las aguas marinas, aumentando su profundidad de recorrido. Aunque se considera que el proceso es sencillo de entender, los efectos climáticos actuales corresponden a la formación de la corriente

Termohalina hace más de 6 siglos, cuando en su lento desplazamiento llega al océano Pacífico. Los efectos sobre el clima de la actual formación desde el siglo XXI, de la corriente Termohalina, serán conocidos dentro de 5 a 7 siglos, donde debería predominar un clima frío, similar a la pequeña edad de hielo.

Conclusiones

1. Las investigaciones climáticas realizadas de los últimos milenios, evidencian que el planeta ha pasado en forma alternante por periodos de altas y bajas temperaturas, muy relacionadas con el origen, evolución y desaparición de las civilizaciones. Por lo tanto, el actual cambio climático o mal llamado calentamiento global, no debe ser totalmente atribuible directa o indirectamente al hombre y sus actividades desde el comienzo de la era industrial.

2. Al final del primer milenio y comienzo del segundo, siglos IX al XIV, el planeta estuvo sometido a un periodo de altas temperaturas, denominado Periodo Cálido Medieval, con una masiva fusión de hielos en el Ártico y es cuando Groenlandia, toma el

nombre de *Tierra Verde*, que conserva en la actualidad con toda impropiedad, así como pérdida en extensión de las cumbres nevadas de las cordilleras del planeta. El aumento de la temperatura, trajo como consecuencia la ampliación de las áreas de cultivo hacia el piedemonte, donde las condiciones climáticas de temperatura eran más benévolas. Las lluvias, asociadas a altas crecientes, fueron frecuentes, donde amplias áreas de edificaciones fueron cubiertas por tierra, producto de importantes deslaves, que en la actualidad son objeto de excavaciones arqueológicas.

3. A partir del siglo XV y comenzando el siglo XX, el planeta tuvo un periodo frío, denominado Pequeña Edad de Hielo, donde las cumbres nevadas se extendieron a cotas más bajas, se congelaron ríos importantes a nivel mundial, los casquetes polares se extendieron, se puede considerar que los eventos de lluvias fueron moderados, destacándose que se constituyeron naciones y numerosas ciudades, pasando de una población mundial de 500 millones a más de 2000 para el año 1900. Se puede considerar que la baja temperatura global favoreció la construcción.

4. Existen numerosas evidencias en el último milenio de los efectos de las condiciones climáticas en el desarrollo de las civilizaciones, la mayoría se encuentran a la vista. Comenzando con la isla de Pascua en medio del inmenso océano Pacífico, donde lluvias intensas causaron deslaves que ocultaron los moais, desarrollando un paisaje subtropical. Seguimos con el desarrollo de la civilización Inca, con sus impresionantes construcciones en montañas, no ocupando los amplios valles, debido a grandes aportes de sedimentos causados por lluvias torrenciales, donde posteriormente a lo largo de dichos valles, ya estabilizados, los españoles fundaron numerosas ciudades. La estabilidad climática favoreció al conquistador español, con valles aluviales estables. Por último, son numerosas las áreas de importantes capitales de Europa, donde se encuentran la parte antigua de la ciudad, cubierta por tierra, producto de lluvias torrenciales durante el periodo cálido medieval.

5. En los últimos 50 años, tal como lo analiza Múnich RE [14] los eventos climatológicos se han ido intensificando, relacionados con altas precipitaciones y altas temperaturas, siendo noticias el aumento de la intensidad de las lluvias que causan daños

a amplias áreas habitadas, afectando la estabilidad de las laderas, asociados a caudales que pueden estar en periodos de retorno de 500 a más de 1000 años. Así mismo, en el periodo de calor, las altas temperaturas se hacen noticias, relacionándolas con el mal llamado calentamiento global, cuyo causante es asignado a la alta emisión actual de CO₂.

6. La Circulación de Retorno Meridional del Atlántico (AMOC) y la Corriente Termohalina son dos fenómenos de gran importancia en las condiciones ambientales del planeta. El AMOC, las aguas calientes del océano Atlántico, se devuelven al océano, frías, las cuales forman la corriente Termohalina, cuyo recorrido por los océanos del planeta controlan las condiciones ambientales, principalmente de salinidad y la transferencia de temperatura a la atmósfera.

7. Las condiciones de retorno de las aguas del océano Atlántico dependen del gradiente entre la temperatura de los océanos, Ártico y Atlántico, un gradiente muy alto, la densidad del agua salina será mayor, con una velocidad de descenso más alta y alcanzando una profundidad mayor. Un gradiente menor, tendremos menor densidad, así como, velocidad de descenso y profundidades

menores. Debido a la baja velocidad de desplazamiento de la corriente Termohalina, los efectos en los océanos, dependerán de un tiempo largo, de varios siglos, con efectos en las amplias masas oceánicas, como el Pacífico. El recorrido de la corriente Termohalina está estimado en unos 1.000 años.

8. Las condiciones actuales de un calentamiento global tendrán efectos en la formación de la corriente Termohalina, menor densidad, relacionada con menor velocidad de hundimiento, dichas condiciones climáticas deben ser similares a las altas temperaturas en el comienzo del Periodo Cálido Medieval, donde el tiempo de recorrido final puede estar en el orden del milenio.

9. Para un periodo cálido como el actual, las condiciones climáticas debieron estar precedidas por un periodo frío anterior, y haber pasado unos 600 años para sus efectos en los océanos se distribuyan y formen parte del control de temperatura hacia la atmósfera. El calentamiento del planeta se relaciona con los efectos de radiación solar con su intensidad hacia la superficie del océano, y su temperatura hacia la superficie por efecto de la corriente Termohalina. Cuando dicha

corriente de baja temperatura se ha formado por un alto gradiente térmico, esta se encontraría a gran profundidad, sin efecto de enfriamiento hacia la superficie del mar. Por lo tanto, predomina El Niño sobre La Niña. En caso contrario de un gradiente térmico bajo, la corriente Termohalina tendría menor profundidad, afectando la superficie marina a una menor temperatura, con baja evaporación y nubosidad más alta, manteniendo una condición climática hacia el frío.

10. El planeta en la actualidad está sometido a condiciones de calentamiento similares a las existentes hace unos 1.000 años atrás, por lo tanto, la climatología actual debe estar mejor relacionada con eventos catastróficos del Periodo Cálido Medieval que con los eventos sucedidos durante el periodo llamado Pequeña Edad de Hielo, que abarcó desde el siglo XV hasta comienzos del siglo XX. El calentamiento global actual se considera un espejo de las condiciones climáticas que comenzaron hacia el final del primer milenio, caracterizado también por un alto en las temperaturas globales.

11. No hay duda, los eventos climáticos se han intensificado en los últimos 50 años, pudiendo destacar lluvias torrenciales, asociados al término deslave, con amplias

destrucciones de áreas pobladas, que por coincidencia se desarrollaron en un relieve suave que se conformaron en el pasado milenario, por condiciones similares de eventos de lluvias. Las tormentas tropicales en la actualidad han ido aumentando su frecuencia, con mayor tiempo de velocidades sostenida de viento, así de categoría. Los largos veranos, asociados a corriente de aire, han originado amplios incendios y las olas de calor han originado también un derretimiento de la cubierta de hielo en las cumbres nevadas de las cordilleras que forman la columna vertebral de los continentes.

12. Estamos en un panorama climático complejo, donde el actual calentamiento global puede constituir dentro de la historia climática del planeta el comienzo de un periodo cálido que, de acuerdo con la información milenaria de la variación de temperatura con el tiempo, debemos convivir con él por varios siglos. Dentro del efecto de calentamiento global del planeta, tomando como base los gráficos de temperatura obtenidos de la relación O16/18, se observa que la temperatura aumenta y disminuye en intervalos de 50 años. Por lo tanto, a partir del 2030 se debe sentir un alivio en la temperatura global del planeta.

Recomendaciones

La recomendación más importante es para la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), y las COP que se realizan anualmente, donde se considera que el actual calentamiento global que afecta el planeta está relacionado con el desarrollo del hombre a partir de la era industrial. A lo cual se le debe evaluar la periodicidad climática milenaria del planeta, destacándose que hace un siglo terminó la llamada Pequeña Edad de Hielo, y estamos entrando en un periodo cálido, conocido en la actualidad como Calentamiento Global. Nos podemos preguntar: ¿Qué porcentaje puede representar la contaminación por CO₂ de la era industrial? Como respuesta consideramos que debe ser un porcentaje menor, donde el mayor peso lo tenemos en la periodicidad de la temperatura, que ha afectado el planeta en los últimos milenios, sin la presencia de la era industrial.

Estamos encaminando los recursos económicos y esfuerzos humanos al control de la temperatura, tratando de disminuir el uso de combustible fósil, el cual en forma natural está disminuyendo debido a las energías alternativas, menos contaminantes.

Pero todo es un proceso de tiempo, donde el actual cambio climático avanza con mayor rapidez, considerando que sería más fácil adaptarse al cambio climático, aceptándolo, previendo y anticipando situaciones.

En el pasado, hace 1.000 años, teníamos una situación de calentamiento del planeta, similar a la actual, calor extremo, lluvias torrenciales, deshielo, entre otros, la cual nos dejó una serie de evidencias que están a la vista, y hemos construido en el presente sin tomar en cuenta los eventos a la vista del pasado milenario. Hay que agregar que los factores climáticos mayores, no dependerán de las mediciones en los últimos 100 años, finalizando el segundo milenio, sino de los eventos que afectaron el comienzo del año 1000.

Se pide que en los próximos eventos COP consideren que el actual cambio climático es un evento natural del planeta, y que los grandes recursos económicos previstos para la disminución de los gases contaminantes sean invertidos en un plan mundial de investigación y control de los eventos climáticos en proceso, donde cada nación tendrá una institución particular, de evaluación de riesgos por el cambio climático. Así mismo, una logística particular

de obras prioritarias para aminorar daños, y entrenamiento de personal y ejército, en caso de un desastre como los ocurridos recientemente. Se debe promover a corto plazo el avance de las investigaciones meteorológicas, que permitan prever eventos

en forma anticipada, siendo importante que se tenga el control de la noticia y no que la noticia tenga el control por falta de prevenciones que están a la vista.

Referencias:

- Alley Richard B. (2000). "The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, And Our Future". Princeton University Press. 229 P.
- Apaéstegui, J. y otros (2015), Hydroclimate variability of the northwestern amazon basin near the andean foothills of peru related to the south american monsoon system during the last 1600 years. *Climate of the Past*, European Geosciences Union (EGU), 2014, 10 (6), pp.1967-1981. Hal-01139570.
- Caesar, L., McCarthy, G. D., Thornalley, D. J. R., Cahill, N. & Rahmstorf, S. (2021). Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. *Nature Geoscience*. doi:10.1038/s4.
- Christiansen, B. y Ljungqvist, Fc. (2012) "The Extra-Tropical Northern Hemisphere Temperature In The Last Two Millennia: Reconstructions Of Low-Frequency Variability" *Climate Of The Past*.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. CMNUCC.ONU. (1992). FCCC/INFORMAL/84*GE.05-62301(S)220705.
<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Curry, R. (2016). Woods Hole Oceanographic Institution/Science/USGCRP. - http://editors.eol.org/eoearth/wiki/File:OCP07_Fig-6.jpg.
- Ferreras Fernández, Calixto (2005). *Historia del Clima Mediterráneo*. Serie Técnica y de Estudio (29) Murcia.
- García, R. y García, E. (2017) La evolución del imperio inca y la civilización en la isla de Pascua, efectos similares hacia el 2030. *Rev. Tekhné*. Vol. 20, Núm. 3. Facultad de Ingeniería, UCAB. (2017):003-017.
- García R. y García, E. (2018) El clima hacia 2030. La geomorfología como proxy en el cambio climático. *Rev. Tekhné*. Vol. 21, Núm. 3:080-095.
- García, R. (2019). "El cambio climático y la sociedad durante el desarrollo de la civilización del Antiguo Egipto, 3000 a 2000 AC. *Revista Tekhné*. Vol.22, Núm. 2. 080-090.

- García, R. (2019) “El paisaje oculto del desierto del Sahara y el cambio climático. 2500 AC., Revista *Tekhné*. Vol. 22, Núm.4. Pag 08 a 14. Septiembre 2019. ISSN 1316-3930
- García, R. (2020). Condiciones topográficas ambientales durante el desarrollo del antiguo imperio egipcio. 2500 AC. Revista *Tekhné*. Vol, 23 Núm.2. Pag 13 a 19.
- García, R. (2022). Nazca y el Diluvio Universal, inicio del cambio Climático. Revista TEKHNE, N°25.1. Oct-Feb 2022. Loehle, Craig; Mcculloch, J. Houston (2008). "Correction To: A 2000 Year Global Temperature Reconstruction Based On Non-Tree Ring Proxy Data" (Pdf). *Energy & Environment*. 19 (1): 93–100.
- Moy Chistopher M. (2002) “Variabilidad De El Niño / Southern Actividad De Oscilación En El Milenio. Escalas De Tiempo Durante La Época Holocena”. *Naturaleza* | Vol 420 | 14 noviembre 2002.
- Múnich Re. (2016). (Münchener Rück Ag, Empresa Reaseguradora Alemana).” Eventos De Pérdida En Todo El Mundo 1980-2018”. Múnich.
- Thompson L. And Davis M. (2014) “An 1800 Year Ice Core History Of Climate And Environment In The Andes Of Southern Peru And Relationship With Higland/Lowland Cultural Oscillations”. Chapter 23. Bprc.Osu.Edu/Icecore.
- Thornalley D., Oppo W. and all (2018) “Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 2 years” *Nature* volume 556, pages 227–230.

Autor:

Roque García Ruiz: Ingeniero Geólogo por la Universidad Central de Venezuela, 1971. Cursos de especialización de Mecánica de Suelo USB, 1973. Especialista en estudios geológicos y geotécnicos, en represas y aprovechamiento hidráulico, autopistas y carreteras, ferrocarriles, líneas eléctricas, subestaciones eléctricas, túneles, gasoductos, fundaciones de puentes y viaductos. Investigaciones sobre la Geomorfología y su relación con el cambio climático. Asesor en instituciones del estado. Profesor de Geología Aplicada, Facultad de Ingeniería en la Universidad Católica Andrés Bello, desde 1985 hasta el presente. Autor del libro *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*, publicado en el 2014 por la UCAB. Diversos artículos sobre Cambio Climático y su relación con la evolución de las civilizaciones. Artículos sobre la optimización en el sostenimiento y revestimiento en túneles. Profesor guía de más de 40 trabajos especiales de grado.