

Cambio Climático Actual, Lluvias Torrenciales Y Deslaves Previo A La Evolución Del Imperio Inca Y La Civilización En La Isla De Pascua, Efectos Similares Hacia El 2030.

Roque Garcia Ruiz¹

roquegarcia1@gmail.com

Eduardo Garcia Romero²

agenciaambiental@gmail.com

¹Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

²Agencia Ambiental. Caracas, Venezuela.

Historia del Artículo

Recibido 10 de Octubre de 2017

Aceptado 13 de Diciembre de 2017

Disponible online: 14 de Diciembre de 2017

Resumen: El cambio climático que se viene apreciando en la actualidad, se relaciona con procesos similares ocurridos en el Perú y en la isla de Pascua, antes de su evolución a partir del siglo XIII, posterior a efectos de lluvias torrenciales y deslaves que modificaron el relieve topográfico en los lugares donde se desarrollaron ambas culturas.

Los Incas a partir de su primer rey Manco Capac en el siglo XIII, llevaron a cabo la conformación de terrazas de cultivo en laderas de alta pendiente mediante andenes o muros de piedras, construidos en su mayoría en formas topográficas de anfiteatros producto de inestabilidad en el pasado. Los moais en la isla de Pascuas fueron parcialmente ocultos por deslaves en el pasado, cuyos habitantes procedente de la polinesia poblaron por segunda vez la islas al comienzo del año 1200 organizándose mediante áreas de cultivo, con deforestación local de la isla, destacándose después de la visita inca en el siglo XV la construcción de los ahu donde fueron recuperados y colocados los moais.

En isla de Pascua gran parte de los moais se encuentran cubiertos por tierra, con espesores de hasta 7 metros, relacionándose este gran aporte de sedimentos a problemas de estabilidad en el relieve prominente volcánico, originado por lluvias de mayor duración e intensidad. Similares condiciones climáticas de lluvias predominaron en el área andina, originando problemas de estabilidad en las laderas montañosas, con el desarrollo de amplias formas topográfica de anfiteatros, y grandes aportes de sedimentos hacia los valles de los ríos, con una conformación de conos coluviales. Lo anterior se origina por efectos de saturación por lluvias entre los siglos XI y XII, posteriores a un incremento de la temperatura a nivel mundial, relacionado por varios investigadores con el actual calentamiento global.

En la actualidad el aumento exponencial de eventos hidrológicos desde el año 1980 hasta el 2017, relacionado con lluvias torrenciales y deslaves, predice un mayor número de evento hacia el 2030, posiblemente con una disminución progresiva de la temperatura. Desde la presente fecha hacia el 2030, los organismos competente de cada nación deberán evaluar los riesgo de las áreas pobladas al pie de monte, de forma tal de construir obras para aminorar los efectos de los deslaves y la reubicación en caso necesario.

Palabras Clave: deslaves, cambio climático, calentamiento global, lluvias torrenciales

Current Climate Chance, Torrential Precipitations And Landslides Previous The Evolution Of Inca Empire And Eastern Island Civilization, Similar Effects Towards 2030

Abstract: Climatic change that is being felt actually, is related to similar processes that occurred in Peru and on the island of Easter, before its evolution from XIIIth century, after the effects of torrential rains and landslides that modified the topographic relief in the places where both cultures developed.

The Incas from their first king Manco Capac in the XIIIth century, conformed cultivation terraces on the high grade slopes, using terraces or stone walls, built mostly in topographic forms of amphitheatres product of instability in the past. Moais on the island of Pascuas were partially hidden by mudslides in the past, whose inhabitants from Polynesia populated for the second time the islands at the beginning of the year 1200 being organized by areas of cultivation, with local deforestation of the island, standing out after the Inca visit in the XVth century the construction of the ahu where were recovered and placed the moais.

The Incas conformed cultivation terraces on the high grade slopes, using terraces or stone walls, built mostly in topographic forms of amphitheatres product of instability in the past, whereas the Pascuenses were organized by areas of culture, with local deforestation of the island, standing out after the Inca visit in the XVth century the construction of

the ahu where the moais were placed.

On Easter Island, a large part of the moais are covered by land, with thicknesses of up to 7 meters, relating this huge thickness of sediments to stability problems in the prominent volcanic relief, caused by rains of greater duration and intensity. Similar rainfall climatic conditions predominated in the Andean area, causing stability problems on mountain slopes, with the development of amphitheater topographic forms, and large sediment inputs to river valleys, with conformation of colluvial cones. This is due to rainfall saturation between the 11th and 12th centuries, following a global increase in temperature, related by several researchers with the current global warming.

At present, the exponential increase of hydrological events from 1980 to 2017, related to torrential rains and landslides, predicts a greater number of events by 2030, possibly with a progressive decrease in temperature. From this date to 2030, the competent bodies of each nation will have to assess the risks of the populated areas at the foot of mount, in order to construct works to lessen the effects of landslides and the relocation if necessary.

Keywords: mudslides, climate change, global warming, torrential rains

1) INTRODUCCIÓN

La **Isla de Pascua** denominada como **Rapa Nui**, es una isla que pertenece a la República de Chile, que se encuentra a unos 3700 kilómetros al Oeste de sus costas. Tiene una superficie de 163,6 Km², con una población actual de 5035 habitantes, concentrados en su capital Hanga Roa, siendo el único poblado existente en la isla. El domingo 5 de abril de 1722, día de la Pascua de Resurrección, el navegante holandés Jakob Roggeveen llegó a la isla e inició el proceso de comunicación con el resto de la civilización occidental.

La isla es uno de los principales destinos turísticos del país debido a su belleza natural y su misteriosa cultura ancestral de la etnia rapanui, cuyo más notable vestigio corresponde a enormes estatuas conocidas como moái. La UNESCO declaró la Isla de Pascua como patrimonio de la humanidad en 1995. El gobierno de Chile administra a través del Conaf, como parque nacional de Rapa Nui.

La topografía de la isla de Pascua se asemeja a una forma triangular controlada por tres volcanes hacia sus vértices, Figura N°1, denominados Terevaka, el mayor volumen que ocupa el vértice norte, Poike hacia el Este y Rano Kau en el extremo suroeste. Las rocas son tipo volcánicas, basaltos y hawaitas, con alta riqueza en hierro, además de rocas piroclásticas que son las empleadas en el emplazamiento de los moais.

En el relieve más suave, fuera de los vértices montañosos, se resaltan colinas pequeñas en forma de cono, que corresponden a una especie de volcanes en forma de ombligo y de ojos.



Figura 1. Isla de Pascua, relieve y localización de acuerdo a Sur América. (Google Imágenes)

El gran **Imperio Inca** se desarrolló en el área montañosa andina, en la parte oeste del continente de América del Sur, a lo largo de más de 6000 kilómetros desde Colombia hasta Argentina, observándose su extensión en la Figura N°2. El presente artículo se relaciona con observaciones de visitas turísticas a los distintos monumentos Incas a lo largo del valle del río Urubamba, mediante un recorrido por carretera y tren a lo largo de dicho valle, pasando por los poblados de Pisac, Calca, Urubamba, Ollantaytambo y Aguas Calientes, este último aledaño al monumento Machu Picchu. A lo largo de las laderas que limitan el ancho valle aluvial del río Urubamba, entre Pisac y Ollantaytambo, así como hacia valles secundarios que confluyen hacia dicho río, se destacan extensas zonas de terrazas de cultivos, en laderas pendiente, las cuales están asociadas a formas de anfiteatros. Dichas formas corresponden a los resultados de problemas de estabilidad en el pasado producto de saturación de las laderas donde la zona de roca con mayor meteorización pierde resistencia con problemas de deslizamiento y deslaves.



Figura 2. Extensión del Imperio Inca, desde Colombia hasta Argentina. (Google Imágenes)

La mayor parte de las terrazas de cultivos coinciden con amplios anfiteatros topográficos de formas convexas, producto en el pasado cercano de inestabilidad o deslaves en las laderas, sobre las cuales debido a la menor pendiente y mayor resistencia de la fundación fueron construidas las amplias terrazas, mediante el uso de altos muros.

El diseño de los muros constituye obras de ingeniería que su estabilidad se adapta a los cálculos modernos, evitando problemas de saturación debido a la zonificación interna, y con estabilidad debido a la alta resistencia de su fundación.

En la imagen al Noreste de Pisac, Figura N° 3, se observan las terrazas en las laderas pendientes, que coinciden con la convexidad del terreno, donde largos muros de piedra se encuentra adaptada al anfiteatro topográfico, cuya construcción debió avanzar de cota superior a inferior, con excavaciones laterales hacia la ladera. Cuando la pendiente de la ladera aumenta, la distancia entre muros disminuye, debiendo cambiar su construcción de abajo hacia arriba, de forma tal de garantizar el confinamiento inferior. Los muros están asociados con una serie de obras de canalización y control de las aguas de lluvia que constituyen ingeniería hidráulica avanzada. A lo anterior hay que sumarle el riego, con largas conducciones y tanques de almacenamiento.



Figura 3. Detalle de terrazas en Pisac Inca. Google Earth.

Las amplias áreas de terrazas que se observan entre Pisac y Ollantaytambo, evidencian una población importante que alimentar. Lo anterior tiene un gran contraste con las poblaciones coloniales fundadas por los españoles en el valle del río, el cual se presenta en la actualidad totalmente cultivado.

2) EL CLIMA DE HACE 1000 AÑOS

La reconstrucción del clima en el pasado cercano constituye un tema de gran interés, que abarca los resultados de grandes investigadores, a partir de los denominados proxies mediante el análisis en núcleos de hielo, anillos de árboles, corales etc. Entre los investigadores del clima en el pasado cercano se mencionan los siguientes:

2-1) Thompson L. and Davis M. (2012).

La investigación se basó en perforaciones para obtener núcleos de hielo en el glaciar tropical de Quelccaya, ubicado en el altiplano sur de Perú. Este es uno de los campos más extensos en el planeta para la obtención de núcleos de hielo, que ha permitido la investigación unos 1800 años aproximadamente. [1].

Los resultados se muestran en la Figura N° 4, donde se destaca la variación de la temperatura según la relación O18/O16, así como la acumulación de hielo, diferenciando un periodo cálido medieval (MCA) y la pequeña edad de hielo (LIA)

Sus resultados los relacionan con la investigación de Moy [2] la cual se describe a continuación.

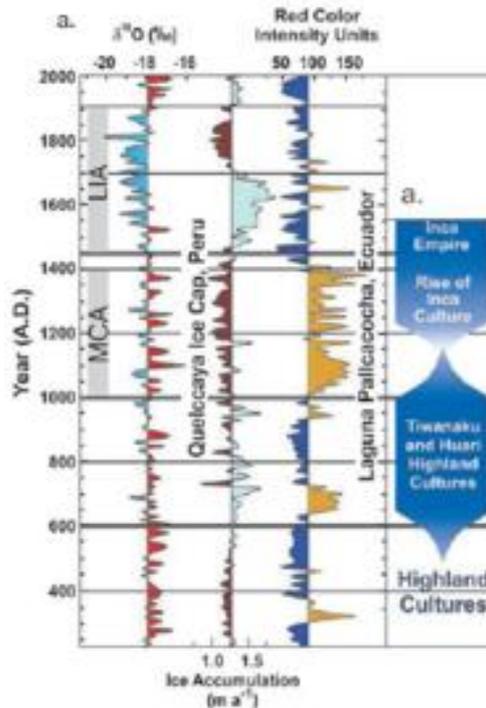


Figura 4. Thompson L. and Davis M. (2012) M. Moy (2002).

2-2) Christopher M. Moy (2002).

La investigación se basó en núcleos de sedimentos recuperados en la Laguna Pallcacocha en la parte sur de los Andes ecuatorianos, mediante el análisis espectral de cientos de láminas de sedimentos clásticos inorgánicos analizados con la intensidad del color rojo. Los sedimentos probablemente fueron depositados durante distintos episodios aluviales hacia el drenaje a la laguna. Moy [3] también correlaciona sus resultados con conocidos eventos de El Niño en registros instrumentales e históricos. En sus resultados en la Figura N° 4, se destaca un periodo entre los años 1000 a 1200, de intensidad continua del color rojo, que se diferencia de la forma discontinua en picos entre 1200 a 1400.

2-3) B. Christiansen y L. jungqvist (2012).

Para la investigación se utilizaron métodos de reconstrucción de conjuntos de pseudo-proxy, basados en modelos de regresión lineal. [4] Entre esos destaca el método LOCAL (LOC) con modelado directo de proxies, que toman en cuenta las temperaturas locales. Estas temperaturas locales reconstruidas son promediadas para obtener una gran escala. Se compiló un grupo de 91 proxies del

hemisferio norte extra-tropical, el cual contiene registros de al menos 1.500 años, y 32 de ellos, de 2.000 años aproximadamente. Véase Figura N°5

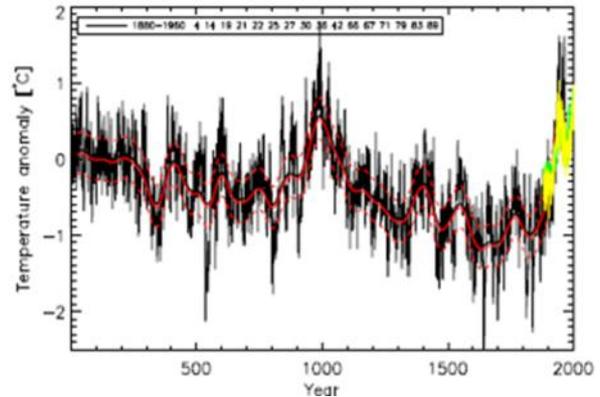


Figura 5. B. Christiansen y L. jungqvist. Variación de la temperatura en el hemisferio Norte. 2000 años.

Finalmente, con los datos obtenidos de dichos proxies los autores reconstruyeron las anomalías de temperaturas de los últimos dos milenios, concluyendo: *"El nivel de calor durante el pico de la PCM (medieval Período Cálido) en la segunda mitad del siglo 10, igualando o superando ligeramente el calentamiento mitad del siglo 20, está de acuerdo con los resultados de otros más reciente a gran escala de múltiples reconstrucciones de temperaturas proxy ".....*

2-4) Craig Loehle. (2008)

Craig Loehle realiza su primer estudio o análisis en el 2007, utilizando proxies que no incluyen anillos de árboles. Durante ese año salieron a flote algunos errores, por lo que en 2008 se genera una corrección, y a lo cual se le añadió un intervalo de confianza, para una evaluación más detallada. [5]

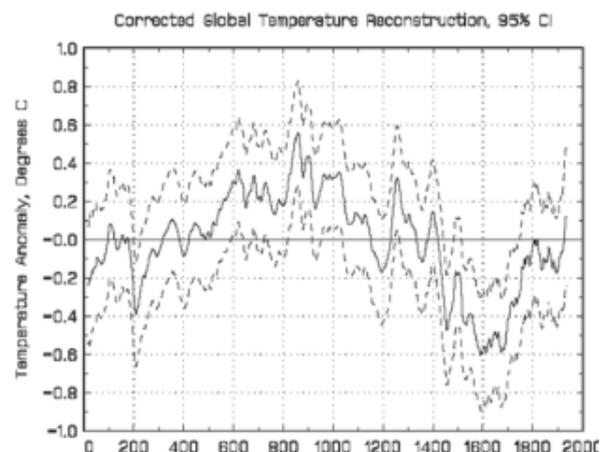


Figura 6. Craig Loehle. (2008)

Se obtuvieron datos que habían sido previamente calibrados, por sus respectivos autores, sin embargo se utilizaron únicamente los proxies que tenían al menos 20 fechas sobre los 2000 años en estudio. En la Figura N°6 se observa el descenso de la temperatura entre 1400 y 1800, que contrasta con el ascenso tanto para el año 1000 y 2000. [6]

2-5) Richard Alley (2000)

El geólogo Richard B. Alley [7], 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), analiza mediante la utilización de proxies 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.

De los resultados de Alley, en sus grafico de la Figura N° 7, se observan desde el presente hasta unos 4000 años atrás, periodos con altos de temperatura aproximadamente cada 1000 años, destacándose entre los años 800 a 1200 un alto de temperatura, seguido por un descenso entre los años 1200 a 1900, asignado a una pequeña edad de hielo. [8]

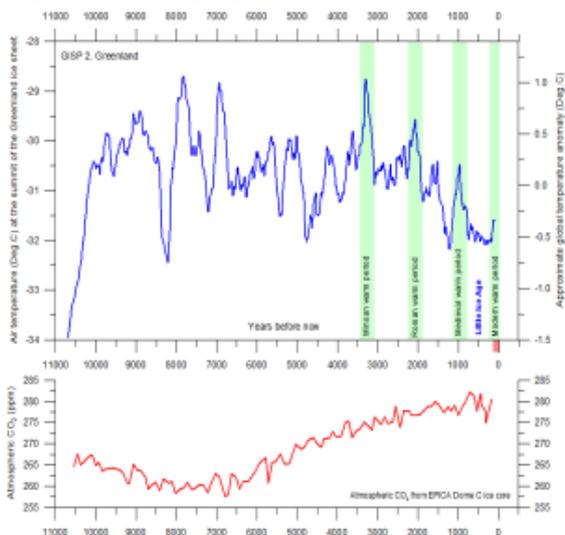


Figura 7. Resultados de Richard B. Alley. Parte superior Variación de la temperatura 11000 atrás e inferior variación del CO₂.

2.6) Michael Mann, Raymond Bradley y Malcom Hughes (1999)

El trabajo de investigación climática se basa en el análisis de proxies de anillos de árboles y núcleos de hielo, para reconstruir el clima desde el año 1000, cuyo grafico final se muestra en la Figura N° 8. Dicho gráfico mantiene el clima estable, lo cual no está de acuerdo periodos de alta y bajas temperaturas. Ésta se mantuvo estable hasta el año 1900, donde comenzó a ascender, siendo la década de los 90 la más calurosa. Sus resultados difieren de los investigadores anteriores, en el hecho de que hace 1.000 años, la tierra pasó por una época de temperaturas bastante elevadas, inclusive más altas que las registradas en la actualidad.

El gráfico concluyente de Mann et al., [9] es el famoso “Palo de Hockey”, véase Figura N° 8. En él, se muestra como las temperaturas mantuvieron una tendencia algo estable desde el año 1000 al 1900 con variaciones de temperatura de $\pm 0.2^\circ\text{C}$ y el rango de ppm de CO₂ se encuentra entre 265 y 300. Hacia el año 2000, la temperatura asciende 0.6°C por encima del promedio del período antes mencionado, y el CO₂ aumenta a 390 ppm. Este gráfico fue presentado por primera vez en el año 2001 por el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (I.P.C.C. por sus siglas en inglés).

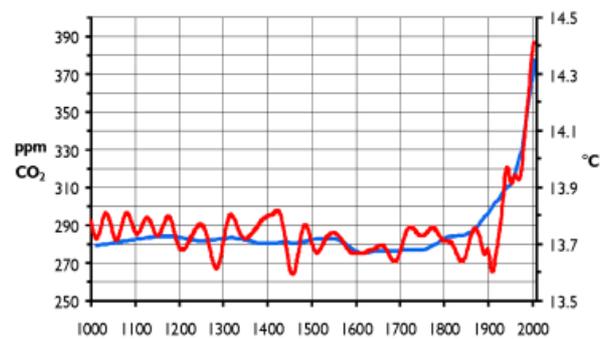


Figura 8. Variación de la temperatura desde el año 1000 por: Michael Mann, Raymond Bradley y Malcom Hughes, representada en el llamado “Palo de Hockey”.

3) HISTORIA DEL I.P.C.C.

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (I.P.C.C.) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En el mismo se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo. (Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático. IPCC).

Las conclusiones del I.P.C.C. alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, firmada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en Río de Janeiro en el año 1992, conocida como Cumbre para la Tierra.

En la conferencia de Paris (2015) se concluye lo siguiente: *“...se observa con preocupación que los niveles estimados de las emisiones agregadas de gases de efecto invernadero en 2025 y 2030 resultantes de las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional no son compatibles con los escenarios de 2 °C de menor costo sino que conducen a un nivel proyectado de 55 gigatoneladas en 2030,.....”*

El 8 de noviembre de 2016, la “Organización Meteorológica Mundial” publica un análisis detallado del clima mundial durante el período comprendido entre 2011 y 2015. En éste se destaca dicho período como *“...el quinquenio más cálido que se haya registrado, donde los efectos del cambio climático se han apreciado de forma sistemática a escala mundial desde el decenio de 1980, tales como: el aumento de la temperatura global, tanto en la tierra como en los océanos; el aumento del nivel del mar, y la fusión generalizada del hielo en los glaciares.”* (Organización Meteorológica Mundial, 2016)

El cambio climático ha intensificado los fenómenos extremos, como las olas de calor, el récord de precipitaciones y las crecidas de efectos perjudiciales. (Organización Meteorológica Mundial, 2016)

4) CAMBIO CLIMÁTICO DESDE EL AÑO 1000

En general la mayor parte de los investigadores sobre el clima en el pasado llegan a la conclusión de un alto de temperatura en el año 1000, el cual desciende hacia el año 1200, manteniéndose un clima estable hasta el año 1450, asociado con el denominado Periodo Cálido Medieval, designado por sus siglas en inglés MWP. Entre los años 1450 a 1900, la temperatura desciende, asociado con el periodo Pequeña Edad de Hielo, (LIA, por sus siglas en inglés), con el periodo más frío en el siglo XVII.

En la Figura N° 9, se muestra la variación de temperatura del último milenio, del artículo de Christiansen & Ljungqvist (2012) y se detalla el siglo XX a través del gráfico del GISS (NASA), donde indica la temperatura media global, tierra-océano. Dichos autores concluyen que, el nivel de calor en el MWP (Período Cálido Medieval) durante el siglo X, iguala o supera ligeramente el calentamiento al final del siglo XX. con un pico entre los años 950 y 1050, que alcanza los 0.6° C de anomalía relacionada con el período de referencia 1880-1960.

A pesar de que las concentraciones de CO₂ en la atmósfera hoy en día son hasta 40% mayores a las indicadas durante el MWA y la afirmación de algunos autores de que “sin gases de efecto invernadero, el mundo no estaría calentándose de ésta manera” (IPCC, s.f.) o que “la tasa de calentamiento visto recientemente no tiene precedentes” (Mann, Osborn, Bradley, Briffa, Hughes, & Jones, 1999), gran numero de investigadores de paleoclimatología, difieren, indicando que la naturaleza por sí sola en el pasado alcanzo temperaturas como las que vemos hoy en día. [10], [11]

En el gráfico de GISS (NASA), se muestra el índice de temperatura media global tierra-océano a partir del año 1900 hasta 2015, donde se pueden diferenciar periodos de 40 años, empezando en 1900, cuando la temperatura se encontraba a -0.4°C por debajo del valor de referencia 0°C, asciende hasta dicho valor hacia el año 1940, le sigue un período que en general se mantiene estable hasta el año 1980 y vuelve ascender

rapidamente alcanzando valores de 0.6°C por encima del valor de referencia 0°C . [12]

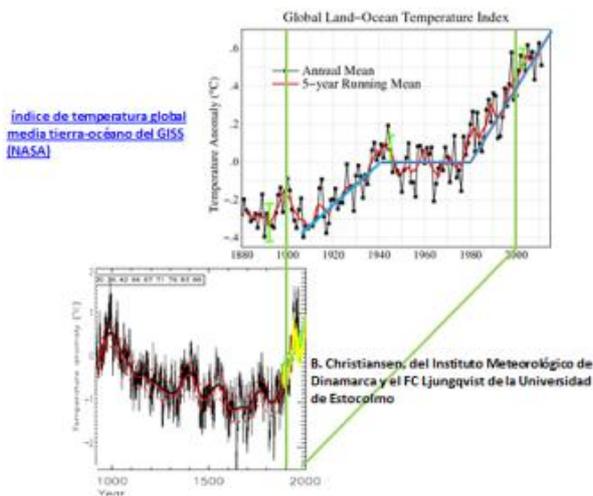


Figura 9. Variación de la temperatura en el último milenio de Christiansen y Ljungqvist, y los últimos 100 años de GISS (NASA) 1900 a 2015.

El ascenso de la temperatura desde el año 1980 al 2017 se reporta con un rápido aumento anual a los 0.6°C en 37 años, valor similar al comienzo del milenio pasado.

5) BALANCE HIDRICO

El balance hídrico en general relaciona las aguas superficiales, con la evapotranspiración y la infiltración de las aguas subterráneas. Los caudales de verano de ríos y quebradas tienen relación con las recargas por lluvias de invierno, cuya duración e intensidad puede alimentar el flujo subterráneo, con mesas de aguas alta, que descargan hacia manantiales y drenajes superficiales. Así mismo un descenso global de la temperatura repercute en menor evaporación.

En la actualidad el agua para consumo de la isla de Pascua se obtiene de pozos, diseminados a lo largo del relieve suave al pie de los tres volcanes que definen la forma triangular de la isla, y con mayor número hacia el centro poblado de Hanga Roa. [13].

Ernst H. y att. [14], indica que las condiciones de evapotranspiración son menores que la precipitación, lo cual contribuye a la alimentación del agua subterránea, destacándose en el estudio de Errol L. M. and att., (2011) que existe un equilibrio entre el volumen de agua extraída y la recarga, estando el nivel del agua subterránea cercano al nivel del mar. El balance hídrico en la isla

de Pascua es más fácil de establecer que en la amplia área que ocupó el Imperio Inca. Para el desarrollo de la civilización en la isla de Pascua, al comienzo del siglo XIII, la misma debió estar cubierta por una vegetación importante, contar con madera para el fuego y viviendas, así como con afluentes superficiales y manantiales para los cultivos, que permitieran la vida y su evolución. Si consideramos lluvias de mayor duración e intensidad en los siglos XI y XII, las cuales originaron los problemas de estabilidad en las laderas, debió haber mayor aporte de agua por infiltración lo cual permitió el ascenso del nivel de agua subterránea, encontrándose a partir del siglo XIII, a cotas mayores que las actuales, cuyas condiciones debieron mantenerse en los siglos siguientes.

Las grandes obras de los incas en las montañas, áreas de cultivos y viviendas, debieron contar con fuentes de suministro de agua permanente, muy distintas a las condiciones actuales, donde los caudales de verano alimentaban en forma adecuada los excelentes sistemas de almacenamiento y conducciones. Debió existir una importante vegetación, de donde se obtenía la madera para las viviendas y el combustible, la cual debió ir desapareciendo en parte por la extensión de las áreas pobladas y por el efecto del cambio climático. Los paisajes actuales que se observan entre Pisac y Ollantaytambo, caracterizados por una escasa vegetación, en partes árida, debió ser muy distinto durante el desarrollo del Imperio Inca, contando con una abundante vegetación y la presencia de caudales constantes, provenientes de cotas superiores que permitían alimentar las amplias áreas de cultivos y los centros poblados.

5-1) El Clima Actual

La climatología es una ciencia que estudia los fenómenos del clima, estableciendo su comportamiento de acuerdo con las variaciones que se han presentado en el tiempo. El clima actual es distinto al de hace 40 años, con temperaturas más altas, que han obligado al uso de equipos de aire acondicionado, o intensificando las lluvias en época de invierno, con efectos de inundaciones y deslaves. Podemos decir que

basado en lo ocurrido en el pasado y conociendo lo que ocurre en el presente, se prevé lo que sucederá en el futuro. Aunque la climatología tiende a ser confundida con la meteorología (Ciencia que estudia el tiempo atmosférico), ambas utilizan los mismos parámetros de evaluación, pero la meteorología realiza previsiones a corto plazo o de manera inmediata, mientras que la finalidad de la climatología está en el estudio y previsiones del comportamiento del clima a futuro.

Las variaciones de la temperatura a través del tiempo deben influir en las condiciones de lluvia y/o sequía. Así, un período de altas temperaturas debe tener como consecuencias altos volúmenes de evaporación procedente de mares, ríos, glaciares y continentes de hielo, cuyos efectos deben formar parte del ciclo hidrológico. Los efectos de cambios climáticos en el pasado, pueden estar representados por lluvias de mayor duración, las cuales debieron estar relacionadas con problemas de estabilidad en las laderas asociados a deslizamientos. Lo anterior trajo como consecuencia el ocultamiento de civilizaciones y la modificación de balances hídricos, que alimentaron los acuíferos, regulando caudales en ríos y quebradas. Posteriormente el clima se estabiliza equilibrando períodos de lluvia y verano, con menor temperatura y con abundante vegetación en las laderas.

6) EL OCULTAMIENTO DE CIVILIZACIONES Y LOS DESLIZAMIENTOS

Gran parte del imperio Romano, se encuentra oculto por tierra y las ciudades, tal como las conocemos en las visitas turísticas, están construidas sobre sus ruinas, las cuales en la actualidad son investigadas mediante excavaciones arqueológicas. R. García, [15][16], concluye la existencia de condiciones climáticas previas al siglo XIII, relacionadas con lluvias de larga duración e intensidad, las cuales originaron problemas de estabilidad en las cuencas, asociados con deslizamientos, con grandes aportes de sedimentos, que inundaron zonas construidas conformando superficies planas a mayor cota,

sobre las cuales se desarrollaron en parte las ciudades medievales. En la Figura 10 se aprecia que en el sector del foro romano, el nivel de calle del arco romano de Séptimo Severo y la calle actual de la iglesia Santi Luca e Martina posee un desnivel de unos 10 metros.



Figura 10. Foro Romano. Desnivel entre la calle del arco romano de Séptimo Severo y la calle actual de la iglesia Santi Luca e Martina.

La historia menciona la iglesia desde el siglo VII, destruida, restaurada y nuevamente consagrada en 1256, con trabajos de reconstrucción en el siglo XVII.

Por otra parte, en las zonas montañosas andinas, los problemas de estabilidad en las laderas están representados por formas topográficas de anfiteatro, los cuales pueden ser identificados fácilmente en las grandes áreas de andenes construidos durante el imperio Inca. Véase Figura N°11. Dichas superficies de apoyo debieron estar ausentes del perfil de meteorización en las rocas, con gran resistencia para las altas cargas de altos muros y rellenos en forma escalonadas sobre las laderas.



Figura 11. Vista de laderas en forma de anfiteatros, conformadas en el imperio inca en terrazas limitadas por muros de piedras. Oeste de Pisac. Google Earth

Todo el material producto de inestabilidad en las laderas debió ocupar los valles de los ríos y quebrada, conformando un relieve de conos coluviales con obstrucción del cauce y la formación de lagunas. Con el tiempo los procesos de erosión fueron actuando, removiendo los materiales coluviales y desapareciendo las lagunas, desarrollando el valle aluvial, tal como lo conocemos desde la llegada de los españoles, destacándose el gran contraste entre los andenes incas a cotas superiores y las actuales áreas de cultivos en el amplio valle aluvial del río Urubamba, donde lateralmente se encuentran varios pueblos fundados durante la conquista [17].

El ocultamiento de los moais también está relacionado con problemas de estabilidad en las prominentes montañas que limitan el área topográfica de menor pendiente en la isla de Pascua, donde grandes volúmenes de materiales saturados por lluvias se desprendieron en forma de flujo o deslave, transportado ladera abajo. No hay forma de explicar el ocultamiento por tierra del cuerpo de los moais, sino por fenómenos naturales de aporte de grandes volúmenes de materiales debido al transporte por efectos de saturación, donde la geometría de cuerpo ensanchado hacia la parte inferior de la estatua, bajo la altura del centro de gravedad, pudo ser transportado como mezclas viscosas, manteniéndose casi vertical en su movimiento horizontal. Posiblemente existan un número importante de moais ocultos por tierra. Véase Figura N°12.



Figura 12. Cabezas de moais sobre la superficie del terreno. Google isla de pascua.

7) DESARROLLO INCA Y PASCUENSE

De acuerdo con las leyendas, el imperio Inca comienza su expansión luego de un gran diluvio, mencionándose su desarrollo al comienzo del siglo XIII, con su primer gobernante Manco Capac, coincidiendo con la fecha de la segunda llegada de los polinesios a la isla de Pascua posterior al año 1200. Se destaca que de acuerdo con distintas investigaciones, la primera colonización en isla de Pascua por los polinesios, denominada Rapa Nui, se sitúa entre los años 400 a 800, procedentes de la isla Polinesia Hiva, guiada por su rey Hotu Matua.[18].

Según investigadores como: Christiansen y Ljungqvist (2012), L.Thompson y M.Davis (2012), Craig Loehle (2008) y Richard Alley (2000), durante el año 1000 se indica un alto en la temperatura que se podría semejar al actual calentamiento global, seguido por un descenso. R. García (2016), relaciona dicho descenso con eventos de lluvias torrenciales asociados a deslaves, que han ocultado gran número de monumentos romanos sobre los cuales se desarrollaron los cascos urbanos a partir del siglo XIII de las actuales ciudades de Europa. Posteriormente las condiciones climáticas se estabilizaron permitiendo un gran desarrollo agrícola con abundantes fuentes de agua, producto de recargas en el pasado de los niveles de agua subterránea, donde los paisajes actualmente áridos debieron tener una frondosa vegetación.

Un gran avance en el desarrollo del imperio Inca se lleva a cabo principalmente en el siglo XV, donde de acuerdo al historiador José Antonio del Bulto [19], Túpac Yupanqui, hijo del emperador Pachacutec, organiza una expedición hacia la lejana Polinesia, cuya escala en la Isla de Pascua, está representada en los ahu o plataformas ceremoniales donde fueron colocados las famosas estatuas de piedra denominadas moais. Dichas plataformas están constituidas por bloques de roca, biselados y ajustados con gran precisión, iguales a las que se observan en las construcciones Incas principalmente en Cuzco, Ollantaytambo y Machu Picchu. Dicha construcciones con bloques de roca

tallada, como la denominada Ahu Akivi, han sido datadas de acuerdo a W. Mulloy (1960) posterior al año 1400. Véase Figura N°13

Como se ha mencionado, el desarrollo del Imperio Inca y de la isla de Pascua comienza en el siglo XIII, durante el llamado Periodo Cálido Medieval, donde a nivel mundial las civilizaciones alcanzan alto grado de tecnología, con condiciones climáticas y balances hídricos equilibrados que facilitaron el aprovechamiento de amplias extensiones de cultivo.



Figura 13. Muros de bloques de roca, imperio inca- isla de pascua.

8) CONDICIONES GEOLÓGICAS Y LAS LLUVIAS DE LOS SIGLOS XI-XII

El imperio inca se desarrolló sobre laderas montañosas mediante la construcción de andenes o muros de piedra, con alturas de 4 a 5 metros. Estos conforman amplias zonas de terrazas de cultivos, salvando desniveles de cientos de metros, localizadas principalmente en formas topográficas de anfiteatros, los cuales fueron en el pasado producto de inestabilidad de las laderas. Figura N° 14.

Dichas inestabilidades se desarrollan por la saturación de los materiales que conforman las montañas, sumado a los efectos de meteorización, cuyo debilitamiento en la resistencia del macizo rocoso originan problemas de estabilidad, asociados a

deslaves. Lo anterior trae como consecuencia grandes aportes de sedimentos hacia los valles de ríos y quebradas, conformando relieves de forma irregular asociados a conos coluviales, muy distinto a las amplias áreas planas de los valles aluviales existentes durante la llegada del conquistador español.

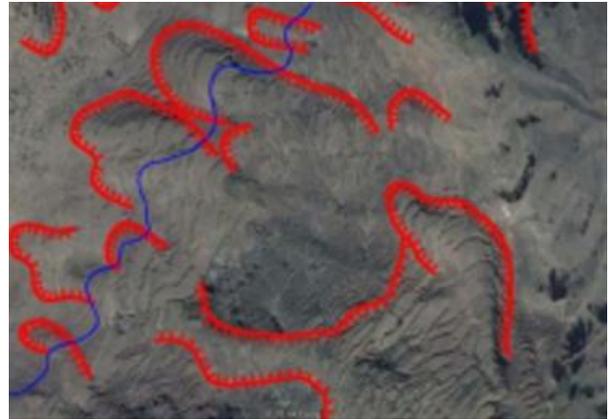


Figura 14. Delimitación de formas topográficas en anfiteatros, producto de inestabilidad previo a su conformación en terrazas limitadas por muros de piedras. Oeste de Pisac. Google Earth

La gran extensión de terreno al pie de los volcanes en isla de Pascua, aparenta estar relacionado con grandes aportes de materiales saturados provenientes de las elevaciones mayores de la isla, los cuales debieron ser el resultado de problemas de estabilidad que afectaron el perfil de la roca meteorizada en los amplios conos volcánicos, cuya corta distancia al mar no permiten el desarrollo de cuencas importantes de drenaje.

Periodos de lluvias continuas, debieron saturar las laderas en la isla, originado grandes aportes de sedimentos que ocultaron gran número de moais.

Al igual que los efectos de lluvias torrenciales y deslaves en la conformación de gran número de anfiteatros en el relieve topográfico en los andes, la isla de Pascua debió ser afectada por un clima similar previo a la segunda llegada de habitantes procedentes de la isla Polinesia Hiva, guiada por su rey Hotu Matua.

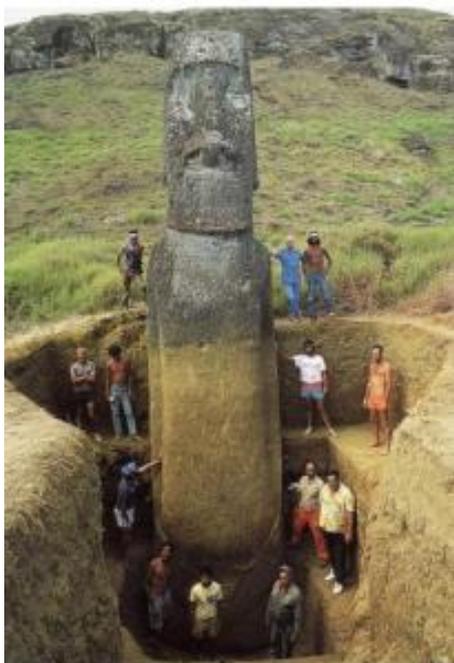


Figura 15. Excavación de un moais isla de pascua.
Google.

La isla posee una historia particular de un gran desarrollo de sus distintas comunidades a partir del año 1200, cuyas áreas de cultivos de acuerdo a distintos investigadores, principalmente Mulrooney Mara [20] fueron deforestadas localmente con el fin de crear campos agrícolas y plantar cultivos mucho más útiles, como la batata y el taro. Las investigaciones realizadas, con datación de distintos elementos, abarcan perfiles de suelo de poca profundidad, no mayor al metro, lo cual contrasta con los grandes espesores de suelo que cubren los cuerpos de los moais, que deben de estar relacionados con lluvias torrenciales que debieron borrar la mayor parte de los cultivos antes del siglo XII, afectando bruscamente la construcción de estos monumentos. Figura N° 15

9) ESTABILIDAD CLIMÁTICA A PARTIR DEL SIGLO XIII

Tanto en las laderas montañosas donde se localizó parte del imperio Inca, como en la conformación topográfica actual de Pascua, se puede establecer la ocurrencia de eventos relacionados con un cambio climático brusco, manifestados en lluvias continuas, torrenciales. Lo anterior debió afectar la estabilidad regional de las laderas, ejerciendo grandes aportes de sedimentos, cuyas superficies se estabilizaron, con la generación de vegetación, adaptado a condiciones

climáticas balanceadas, invierno y verano, a partir del año 1200, comienzo de ambas civilizaciones.

Mulroney M. A.[21], en su trabajo de doctorado en la isla de Pascua, *Continuity or Collapse?* analiza un gran número de investigaciones, destacándose que la evolución de los rapa nui comienza a partir del año 1200, y se asocia el periodo de asentamiento inicial entre los años 400 a 1100.

De acuerdo con el cambio climático en el pasado, la construcción de los moais en la isla de Pascua pueden estar relacionada con el periodo inicial del año 400 al 1100 y que al comienzo del siglo XIII, nuevamente Hotu Matu'a y su gente salieron desde Rapa Iti con rumbo a Rapa Nui, donde dieron origen a la cultura Rapa Nui que hoy conocemos.

A partir de la segunda llegada de los polinesios guiados por su rey, estos se dedicaron a las siembras y a la recuperación de los moais existentes. Posteriormente, la llegada de los incas al comienzo del siglo XV, podría relacionarse con la construcción de los ahu, como estructuras de exposición.

Cuando se indica a partir del siglo XIII la ocurrencia de la deforestación en Pascua para obtener áreas de cultivos, se relaciona con la existencia de una vegetación exuberante, la cual dependió de condiciones climáticas distintas a las actuales, con mayor humedad y periodos de lluvias más largos.

Las comunidades en Pascua debieron contar con fuentes de agua potable, posiblemente asociadas con algunos cauces de agua y manantiales debido a una mesa de agua cercana a la superficie. Lo anterior puede ser el resultado de periodos de lluvias de alta intensidad y duración, seguidos por condiciones climáticas de estabilidad, donde el balance hídrico debió ser húmedo, cambiando en forma progresiva con el tiempo, a un balance con pocos excedentes de lluvia, y baja alimentación de los acuíferos.

A nivel mundial se limita entre los años 1200 a 1450 un periodo de temperatura conocido como Periodo Cálido Medieval, seguido por un descenso de la temperatura hasta 1900 conocido como Pequeña Edad de Hielo. La Europa actual presento un gran desarrollo a

partir del siglo XIII, destacándose parte de las edificaciones de los centros históricos construidas sobre ruinas romanas ocultas por sedimentos, que en la actualidad constituyen excavaciones arqueológicas de gran interés. Aparentemente en Europa entre los siglos X y XII, fue sometida a efectos de lluvias torrenciales asociados con material procedentes de deslaves, cuya deposición ocultó gran número de edificaciones, sobre las cuales se construyeron nuevas viviendas e iglesias.

Los mismos efectos de lluvias ocurridos en Europa entre los siglos X y XII, debieron afectar al trópico, pero con mayor intensidad, donde se llevó a cabo una intensa modificación del relieve. Esto puede estar representado por los numerosos anfiteatros topográficos que fueron utilizados a partir del siglo XIII para la construcción de amplias zonas de andenes para cultivos por los Incas. Así mismo, las distintas zonas de cultivos en Pascua desde 1200 pueden estar relacionadas con el Periodo Cálido Medieval, con la presencia de bosques que se fueron degradando a partir de 1500 en la denominada Pequeña Edad de Hielo, descrita durante su descubrimiento en 1722.

10) EL CALENTAMIENTO GLOBAL Y EVENTOS DE LLUVIAS TORRENCIALES

La variación de temperatura a nivel mundial se encuentra reportada con excelente información a partir del año 1880 y muy detallada a partir del año 1947, cuando se crea la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En los distintos gráficos de variación de temperatura en el siglo XX, se destaca una forma escalonada que puede ser asociada en lapsos de 40 años. En el gráfico de GISS (NASA), véase Figura N° 9, descrita en el punto 4), se muestra el índice de temperatura global media tierra-oceano desde 1900 a 2015, diferenciándose tres periodos de variación de temperatura. Un primer periodo desde 1900 a 1940, donde la temperatura se encontraba a $-0,6^{\circ}$ por debajo del valor de referencia 0, le sigue un periodo que en general se mantiene estable hasta el año 1980, desde donde la temperatura vuelve a ascender

alcanzando para el 2015 valores de $0,6^{\circ}$ por encima del valor de referencia 0, dicho valor es similar al registrado para el año 1000.

Münchener Rück AG, [22] empresa reaseguradora alemana con sede en Múnich (Munich RE), evalúa eventos catastróficos, destacándose en sus análisis entre 1980 a 2015, los eventos de tipo hidrológicos (lluvias y movimiento de masa) con no menos de una pérdida de vida, los cuales van de unos 50 eventos para el 2008 a unos 200 en el 2015, y esperan para el 2030 su duplicidad. Véase Figura N°16. El aumento progresivo de eventos hidrológicos hacia el 2030 puede estar relacionado con el actual ascenso de la temperatura y su posterior descenso progresivo, similar a lo ocurrido en los siglos X-XII.

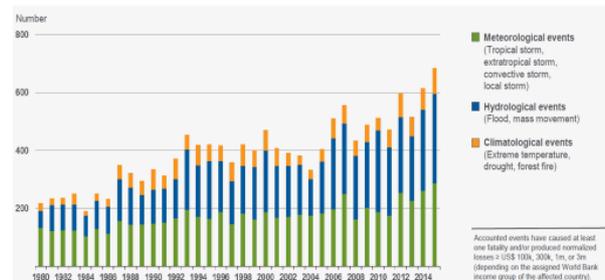


Figura 16. Representación eventos relacionado con el clima realizado por la empresa Munich RE (2016). (Münchener Rück ag, Empresa reaseguradora alemana. "Eventos de Pérdida en todo el mundo 1980-2015").

Del siglo XIII al siglo XVI, la relación entre la extensión del Imperio Inca y el desarrollo de la isla de Pascua, distanciados unos 3500 kilómetros, lo constituye el clima, con un balance hídrico húmedo que permitió en las montañas la siembra mediante andenes con caudales de riegos permanentes provenientes de cotas superiores, los cuales en la actualidad han desaparecido. Así mismo en Pascua, su desarrollo se extendió en toda la isla, donde los niveles de agua subterránea estarían cercanos a la superficie, con una vegetación de bosque, la cual localmente fue deforestada para siembras, con una estabilidad climática que facilitó una amplia ocupación, hoy está restringida a su capital Hanga Roa.

El mal llamado Calentamiento Global, puede representar un alto de temperatura similar al del comienzo del milenio pasado, que disminuyó progresivamente, y está relacionado con eventos de lluvias y saturación de las laderas, que originaron

problemas de estabilidad, resultando el relieve topográfico actual para el desarrollo de las civilizaciones Incas y Pascuense.

De acuerdo con el desarrollo de la investigación, desde el alto de temperatura en el año 1000, comienza un periodo de descenso durante el siglo XII, previo al desarrollo de la historia de las civilizaciones Inca y Pascuense en el siglo XIII. En dicho largo periodo pudo haber diversas condiciones climáticas, desde gran sequía hasta lluvias intensas, con predominio de estas últimas con efectos de saturación del sub-suelo, originando los problemas de estabilidad, eliminando la cubierta existente y creando condiciones para la generación de una nueva cubierta de vegetación, cuya deforestación fue la fuente de energía para el fuego y viviendas.

11) ¿QUÉ DEBEMOS ESPERAR?

En el actual año 2017, los efectos hidrológicos se han acentuado, tal como se evidencia en las noticias cotidianas.

La conferencia de París (2015) concluye:... *“se observa con preocupación que los niveles estimados de las emisiones agregadas de gases de efecto invernadero en 2025 y 2030 resultantes de las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional no son compatibles con los escenarios de 2 °C de menor costo sino que conducen a un nivel proyectado de 55 gigatoneladas en 2030, y observa también que, para mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, mediante una reducción de las emisiones a 40 gigatoneladas, o por debajo de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, mediante una reducción de las emisiones a un nivel que se definirá en el informe especial mencionado en el párrafo 21 infra, se requerirá un esfuerzo de reducción de las emisiones mucho mayor que el que suponen las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional.”*

Los estudios de empresas como Munich RE, mencionada en el capítulo anterior, claramente evidencian una tendencia que los eventos hidrológicos de 1980 se multiplicarán por 10 para el 2030. Véase Figura N°17.

Posiblemente la temperatura global no siga ascendiendo, manteniéndose estable, lo que difiere de las conclusiones del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de la ONU, cuyo efecto está siendo ejercido principalmente por las emisiones de CO₂, debido a la llamada Era Industrial, lo cual según esta declaración irá en aumento.

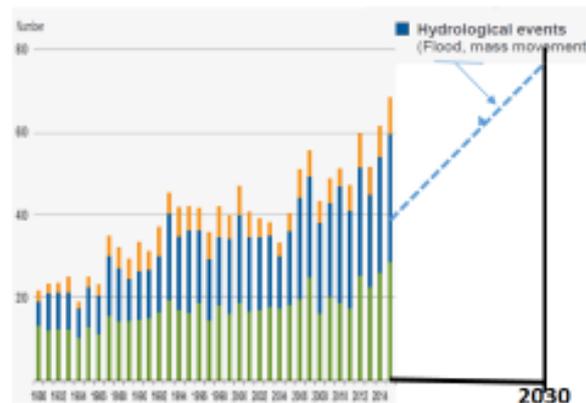


Figura 17. Posible tendencia de los eventos hidrológicos, inundaciones y movimientos de masa

Son evidentes las observaciones del IPCC sobre las emisión de gases durante el periodo industrial, y su control debe ser conciencia de todos los países en nuestro planeta Tierra, pero también el cambio climático aparece como eventos periódicos cada milenio en los últimos 4.000 años, que coinciden con el desarrollo de las civilizaciones China, Egipto, Imperio Romano, Época Medioeval, Imperio Inca y desarrollo Pascuense. Esa civilizaciones debieron contar con una vegetación importante cercana al área de desarrollo, tanto para la madera como la energía, así como balances hídricos húmedos con recargas permanente en los acuíferos. Lluvias intensas previas con desarrollos de fenómenos geológicos de estabilidad de cuencas, con grandes aportes de sedimentos al pie de monte, conformando áreas de pendientes suaves, con suelos ricos en restos de vegetación, que generaron en muy corto tiempo bosques que permitió un avance de las civilizaciones con deforestación para suelos agrícolas y obtener la madera para la construcción y la energía.

En la actualidad el cambio climático y las altas emanaciones de CO₂, coinciden, aunque los efectos hidrológicos se encuentran

predominando a corto plazo relacionados con lluvias o nieve, lo cual podría comenzar a enfriar el planeta.

El año 2030, [23] se ha tomado como el año del cambio que deberá ser reconocido a nivel mundial hacia la disminución de temperatura, con variación en la climatología mundial relacionado con periodos más largos de lluvias, originando problemas de deslaves asociados a altos caudales, que afectaran áreas pobladas. Si tomamos como referencia lo acontecido previo al imperio Inca y la isla de Pascua centro de gran océano Pacífico, donde se desarrollan los eventos del Niño y la Niña, podemos estar al comienzo de un cambio climático muy distinto del actual, relacionado con periodos de lluvia que deberán aumentar su intensidad y duración hacia finales del siglo XXI, debiendo el ser humano con su ingenio contrarrestar los efectos.

REFERENCIAS

La mayor información obtenida corresponde a la gran cantidad de artículos que pueden ser consultado por vía internet mediante el navegador de **Google Académico**. Así mismo las imágenes de **Google Earth**, permiten ampliar las observaciones visuales locales a una visión integral de las condiciones geológicas- topográficas, a nivel mundial.

- [1] **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 Highland/Lowland Cultural Oscillations”. Chapter 23. *Bprc.Osu.Edu/Icecore*
- [2] **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 De Noviembre De 2002*.
- [3] **Moy, C.M., Et Al., (2002)** “Laguna Pallcacocha Sediment Color Intensity Data”, *Igbp Pages/World Data Center For Paleoclimatology Data Contribution Series #2002-76*.
- [4] **B. Christiansen And Fc Ljungqvist (2012)** “The Extra-Tropical Northern Hemisphere Temperature In The Last Two Millennia: Reconstructions Of Low-Frequency Variability” *Climate Of The Past*.
- [5] **Loehle, Craig (2007)**. “[A 2000 Year Global Temperature Reconstruction Based On Non-Tree Ring Proxies](#)” (Pdf). *Energy & Environment*. 18 (7 & 8): 1049–1058.
- [6] **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.
- [7] **Alley Richard B. And Att (2008)** “Understanding Glacier Flow In Changing Times”. *Science Vol 322*. [Www.Sciencemag.Org](#)
- [8] **Alley Richard B. (2000)**. “The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, And Our Future”. Princeton University Press. 229 P.
- [9] **Mann, M., Osborn, T., Bradley, R., Briffa, K., Hughes, M., & Jones, D. (1999)**. Northern Hemisphere Temperatures During The Past. Amherst Y Tucson. Departamento De Geociencia De La Universidad De Massachusetts.
- [10] **Climate Prediction Center (2012)**. “What Is El Niño. Climate Prediction Center” . [Http://Www.Cpc.Noaa.Gov/Products/Analysis/Monitoring/Ensostuff/Ensofaq.Shtml](#)
- [11] **NASA (2005)**. Paleoclimatology: The Oxygen Balance. Earth Observatory – Nasa. [Https://Earthobservatory.Nasa.Gov/Features/Paleoclimatology_Oxygenbalance](#).
- [12] **NOAA(S.F.)**. “What Are “Proxy” Data? National Oceanic And Atmospheric Administration”. [Https://Www.Ncdc.Noaa.Gov/News/What-Are-Proxy-Data](#)
- [13] **Condiciones Hidrogeológicas Isla De Pascua, Chile**. Water Resource Consultants S.I.T. N° 229. Gobierno De Chile. Ministerio De Obras Públicas. Dirección General De Aguas. División De Estudios Y Planificación
- [14] **Ernst Hajek Y Guillermo A. Espinoza (1987)** “Meteorology, Climatology And Bioclimatology Of The Chilean Oceanic Islands”. Pontificia Universidad Católica De Chile. Facultad De Ciencias Biológicas. Departamento De Biología Ambiental Y De Poblaciones. Casilla 114-D, Santiago, Chile.
- [15] **García R.R (2016)** “Los Deslaves En La Evolución De Las Civilizaciones Desde Los Romanos Hasta Los Incas” *Revista Tekhne N°18*, Universidad Católica Andrés Bello (Ucab). Caracas. Venezuela.
- [16] **García R.R. (2014)** “Geología Aplicada A La Ingeniería Civil”, Universidad Católica Andrés Bello (Ucab). Caracas.
- [17] **Acosta G.V. (1997)** “Historia Y Desastres En America Latina Vol.2”. Red De Estudios Sociales De Prevención De Desastre En América Latina.
- [18] **Bustamante, P., Viguí, P., Adoue, M., & Tuki, R. (2008)**. “Rapa Iti Como Candidata A Ser Identificada Como Hiva, Tierra De Origen Del Pueblo Rapa Nui”. **Web:** [Http://Www.Rupestreweb.Info/Rapa.Html](#)
- [19] **Del Busto Jose Antonio (2008)** “Tupac Yupanqui: Descubridor Histórico De Oceanía”.

Publicado En '[Historia Y Cultura Peruana](#)'
Por [Karin](#), 11 Abr 2008.

- [20] **Mulrooney, Mara Anna (2013).** “Una Evaluación De Toda La Isla De La Cronología Del Asentamiento Y El Uso En Rapa Nui (Isla De Pascua), Basado En Datos De Radiocarbono”. Bernice, Honolulu, Hawai.
- [21] **Mulrooney, Mara Anna (2012)** “Continuity Or Collapse? Diachronic Settlement And Land Use In Hanga Ho‘Onu, Rapa Nui (Easter Island)”. Auckland, Nueva Zelanda: Departamento De Antropología De La Universidad De Auckland.
- [22] **Munich Re. (2016).** (Münchener Rück Ag, Empresa Reaseguradora Alemana).”Eventos De Pérdida En Todo El Mundo 1980-2015”. Munich.
- [23] **Circelli, A. L. Y Gomez, M. G. (2017)** “Análisis De Cambios Climáticos Y Deslaves Desde El Año 1000 Al 2016, Y Evaluación De Posibles Desastres A Nivel Mundial Hacia El Año 2030”. Universidad Católica Andrés Bello, Ucab, Caracas, Venezuela. Trabajo Especial De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Civil.