

**Estado actual del “Antropoceno” como la última Época  
de la Escala Cronoestratigráfica Internacional**

**Current status of the “Anthropocene” as the last Time  
of the International Chronostratigraphic Scale**



Trabajo de Fin de Grado

**PABLO PADRÓN ACUÑA**

Tutorizado por Agustina Ahijado Quintillán. Grado en Biología. Junio 2017.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
Antecedentes .....	2
Definición del Antropoceno .....	2
Contexto temporal del Holoceno .....	2
OBJETIVOS .....	4
DISCUSIÓN .....	4
¿Cómo se determina una nueva etapa geológica? .....	4
Determinación de la base del Antropoceno .....	6
1- Antropoceno temprano. ....	6
2- La revolución industrial .....	7
3- La “Gran Aceleración” .....	8
Evidencias estratigráficas. ....	11
CONCLUSIONES .....	25
CONCLUSIONS .....	25
Referencias Bibliográficas .....	26

## RESUMEN

En el año 2000 el biólogo Eugene F. Stoermer y el químico y premio nobel Paul J. Crutzen acuñaron el término “Antropoceno” debido a la creciente incidencia humana en los procesos naturales, así como la gran huella que dejamos a nuestro paso.

El *Anthropocene Working Group* (AWG) propone el año 1945 como posible inicio del Antropoceno, haciéndolo coincidir con la caída de la primera bomba atómica y con ello dando comienzo a la era atómica.

En este trabajo se pretende revisar la bibliografía existente acerca del Antropoceno poniendo de manifiesto la actual disparidad de opiniones, así como ejemplificar y analizar las posibles evidencias estratigráficas más significativas de la acción humana sobre la Tierra, como son la presencia a nivel global de materiales antropogénicos, las evidencias bioestratigráficas junto a la elevada tasa de extinción de especies y al cambio climático, además de los cambios geomorfológicos y los cambios atmosféricos que han provocado la quema de combustibles fósiles y que desencadenaron la denominación del término “Antropoceno”.

**Palabras clave:** Antropoceno, AWG, Radionucleidos, Holoceno, GSSP, “Gran Aceleración”.

## ABSTRACT

In 2000 biologist Eugene F. Stoermer and Nobel Prize chemist Paul J. Crutzen coined the term "Anthropocene" due to the increasing human incidence in natural processes, as well as the great trace left in our path.

The Anthropocene Working Group (AWG) proposes the year 1945 as the possible beginning of the Anthropocene, making it coincide with the fall of the first atomic bomb and with the beginning of the atomic era.

This paper aims to review the existing literature of the Anthropocene revealing the current disparity of opinions, as well as to exemplify and analyze the most significant stratigraphic evidences of human action on Earth such as the global presence of anthropogenic materials, the biostratigraphic evidence along with the high rate of extinction of species and climate change, as well as the geomorphological and atmospheric changes that have caused the burning of fossil fuels and triggered the term "Anthropocene".

**Keywords:** Anthropocene, AWG, Radionuclides, Holocene, GSSP, Great Acceleration.

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

### Definición del Antropoceno

Desde hace miles de años, con el inicio de la agricultura y la ganadería, los humanos hemos ido modificando las condiciones naturales de nuestro planeta como la concentración de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) en la atmósfera (Smith y Zeder, 2013), hasta el punto en que “Hoy día, los efectos de las actividades humanas han alcanzado dimensiones mundiales: cada gota de lluvia, cada planta y animal de la tierra y del mar, contienen indicios de sustancias radiactivas o estables descargadas por los seres humanos en el medio ambiente”(Z. Jaworowski, 1982).

En el año 2000 el biólogo Eugene F. Stoermer y el químico y Premio Nobel Paul J. Crutzen acuñaron el término Antropoceno (Crutzen y Stoermer, 2000). Tenían el propósito de destacar la clara acción que realizamos los humanos y la presión que ejercemos sobre el medio y concretamente sobre la superficie terrestre. Esto sucedió en el contexto del Programa internacional Geosfera-Biosfera (IGBP). Los seres humanos comenzamos a actuar como un agente geológico de gran importancia a partir de mediados del siglo XX, debido al gran incremento en la población humana tras la Segunda Guerra Mundial, la quema de combustibles fósiles, la transformación y contaminación de la superficie terrestre, el desplazamiento de miles de especies alrededor del mundo y el lanzamiento de bombas nucleares provocando la difusión de radionucleidos artificiales a nivel planetario entre otros (Cearreta, 2015).

### Contexto temporal del Holoceno

El término “Holoceno” fue acuñado por Paul Gervais en 1867 y fue en 1885 cuando fue aceptado como unidad de la escala internacional de tiempo geológico por el Congreso Geológico Internacional. Se ratificó en 2005, con el establecimiento de un GSSP (Sección estratotipo y punto límite global) en varios núcleos de hielo tomado en Groenlandia a gran profundidad (Walker et al., 2009).

<i>Periodo</i>	<i>Época</i>	<i>Edad</i>	<i>Años</i> <i>(Ma)</i>	<i>Inicio</i>	
<i>Cuaternario</i>	¿Antropoceno?				
	Holoceno		0.0117		
	Pleistoceno	Superior		0.126	
		Medio		0.781	
		Calabriense		1.806	
Gelasiense			2.588		

**Fig. 1:** Extracto de la Escala Cronoestratigráfica para el periodo Cuaternario (ICS, 2015).

La presente época geológica, el Holoceno, comenzó hace 11.700 años con el fin del periodo conocido como Dryas reciente (Pleistoceno superior), que supone la última glaciación, dando paso al periodo interglaciar en el que nos encontramos.

El Holoceno inferior se caracterizó por un aumento de la temperatura global y un aumento del nivel del mar hasta estabilizarse dando lugar a una meseta que representa el intervalo más largo de estabilidad climática y del nivel del mar en los últimos 400.000 años (Zalasiewicz et al., 2008).

Más tarde se produjo el óptimo climático del Holoceno, en el intervalo comprendido entre 9000 y 5000 años atrás. En este periodo la temperatura subió hasta 3°C por encima de la actual, pero no de manera uniforme en todo el planeta. Este periodo acabó dando lugar al Neoglacial donde las temperaturas empezaron de nuevo a caer progresivamente hasta finales del siglo XIX, donde situamos el inicio del calentamiento global que hoy vivimos.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es la revisión bibliográfica de los numerosos trabajos publicados en los últimos años, en los que se muestran evidencias que apoyan la idea de establecer oficialmente el Antropoceno como una nueva etapa de la Escala Cronoestratigráfica.

En primer lugar, se resumirá el procedimiento formal que se debe seguir para aprobar una modificación de este calibre en la Escala Cronoestratigráfica.

A continuación, se resumirán las características y datos más importantes relacionados con la influencia humana en el planeta, concretamente todo aquello que podría quedar inscrito en el registro estratigráfico y, por lo cual, permita definir el Antropoceno.

## DISCUSIÓN

### ¿Cómo se determina una nueva etapa geológica?

Para determinar una nueva etapa en la Escala Cronoestratigráfica deben definirse una serie de muestras, ejemplos o evidencias que determinen el inicio de esa etapa. Estas evidencias se señalan en forma de GSSA (Edad Estratigráfica Global Estándar) o de GSSP (Sección Estratotipo y Punto de Límite Global).

Un GSSP (*Global Boundary Stratotype Section and Point*); también conocido como “pico dorado” o “clavo dorado”, es una sección estratigráfica que sirve de referencia para señalar un límite en la escala estratigráfica internacional. Estos límites pueden estar están basados en cambios paleontológicos, cambios geoquímicos y/o en cambios geomorfológicos principalmente.

GSSA (*Global Standard Stratigraphic Age*): Se trata de un punto de referencia cronológico y un criterio en el registro geológico, que se utiliza para definir los límites entre diferentes etapas geológicas en la escala de tiempo geológico total en una capa de roca cronoestratigráficamente útil. Es decir, a diferencia del GSSP, el GSSA implica una

fecha (ej.: 1945, GSSA potencial para señalar la base del Antropoceno) que se expresa en la escala de tiempo.

El uso de los GSSP para definir la base de una etapa se ha generalizado hasta el punto de que su uso es altamente mayoritario frente a los GSSA.

Centrarse en la definición del comienzo de una etapa transmite la idea de que las unidades de la escala de tiempo geológico se definen únicamente por sus comienzos, más que por su contenido (Zalasiewicz et al., 2004).

En el año 2009 la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS) designó a 38 geocientíficos para formar el Grupo de Trabajo del Antropoceno (AWG-*Anthropocene Working Group*) dentro de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario, para que examinaran las distintas evidencias que existen del cambio global y su traducción en el registro estratigráfico (C. Finney, 2008).

El proceso para ratificar un GSSA o un GSSP parte de la propuesta del grupo de trabajo, en este caso del AWG, que está compuesto de especialistas en el tema y están trabajando en ese periodo de la Escala Cronoestratigráfica. El desarrollo de una propuesta formal requiere extensas investigaciones de las secciones de estratotipos candidatos y los niveles de frontera en todo el mundo. Una vez se desarrolla la propuesta, el órgano inmediatamente superior valora la propuesta, en el caso del Antropoceno sería la Subcomisión sobre Estratigrafía del Cuaternario (SQS-*Subcommission on Quaternary Stratigraphy*). Si esta comisión emitiera una valoración positiva, pasaría a ser votada en la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS-*International Commission on Stratigraphy*), para finalmente ser ratificado por el Comité Ejecutivo de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS-*International Union of Geological Sciences*). Una vez ratificado por el IUGS, tendríamos oficialmente una nueva Época, la Época Antropoceno. (Finney y Edwards, 2016; Cearreta, 2016a).

El AWG se ha reunido hasta en 3 ocasiones para discutir profundamente acerca del Antropoceno y considera que el concepto es geológicamente justificable (Cearreta, 2016b).

Según la opinión mayoritaria del AWG, el concepto Antropoceno se comenzó a definir desde el punto de vista estratigráfico a partir del artículo de Zalasiewicz et al.,

(2008). El AWG considera que el Antropoceno debería ser adoptado, si se aprueba, como una Época, es decir, al mismo nivel que el Holoceno.

Según el AWG el impacto humano comenzó hace miles de años, pero es durante el siglo XX con la denominada “Gran Aceleración” donde los cambios se tornaron de mayor importancia y de carácter sincrónico, por lo que parece aquí el lugar óptimo para el inicio de esa posible nueva Época Antropoceno.

En este momento el AWG trabaja en identificar y seleccionar sitios candidatos de GSSP para designar el comienzo del Antropoceno. Cuando encuentren un sitio favorable someterán a votación la validez del mismo hasta la aceptación por el IUGS

A pesar de la gran aceptación del concepto Antropoceno por parte del público general y de algunos políticos, también existen voces críticas.

Según Finney y Edwards (2016), la denominación de una nueva etapa en la escala Cronoestratigráfica debe sustentarse en la existencia de evidencias en el registro estratigráfico y la presencia de materiales de origen antropogénico sería para algunos autores despreciable (Walker et al, 2015). La mayoría de los registros que se han mencionado son registros potenciales que en un futuro pueden ser de utilidad, pero no en la actualidad. Las estructuras humanas, las excavaciones, las perforaciones, la bioturbación de los suelos (agricultura) y el fondo marino (arrastre de la red de pesca) no son estratos.

## Determinación de la base del Antropoceno

Se han desarrollado tres posibles alternativas desde la introducción del concepto de Antropoceno en el año 2000 por Stoermer y Crutzen para señalar el posible inicio de esta Época: el Antropoceno temprano, la Revolución industrial y la “Gran Aceleración” (Cearreta, 2015).

### 1- Antropoceno temprano.

El planeta ha sido sometido a la presión antropogénica a nivel global desde la introducción de la agricultura y la tala de bosques desde hace 8000 años. Con el comienzo



de la tala de los bosques hace 8000 años los niveles de CO<sub>2</sub> sufrieron un aumento, al igual que los niveles de CH<sub>4</sub> (metano) con el comienzo de los regadíos de las plantaciones de arroz hace 5000 años. El aumento del CH<sub>4</sub> hace 5000 años está estimado en unos 100 ppb, lo que unido al aumento del CO<sub>2</sub> provocaron que, en los últimos milenios, debido al efecto invernadero producido principalmente por gases como el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub>, o el H<sub>2</sub>O (gases de efecto invernadero), el aumento global de temperatura se situase en un valor medio de 0.8°C y aproximadamente 2°C en latitudes altas. Estos cambios ejercen una gran presión sobre el planeta y podrían dejar huella en el registro estratigráfico (Ruddiman, 2003; Ruddiman y Thomson, 2001).

Antes incluso de la acción antropogénica producida por la tala de árboles y la introducción de la agricultura, hay una hipótesis que sitúa que las primeras acciones antropogénicas datan de hace 13800 años, antes del inicio del Holoceno.

La presión provocada por los humanos con la caza de mamuts provocó la extinción de este gran herbívoro, provocando a su vez el crecimiento descontrolado de uno de los alimentos de estos mamíferos, los bosques de abedules (*Betula*). La hipótesis habla de que las especies de la familia de la *Betula* crecieron de manera rápida debido a la ausencia de herbívoros unido a un aumento de las temperaturas, provocando un cambio en la superficie del suelo dando como resultado un aumento de la temperatura promedio de aproximadamente 0.021°C (Doughty et al, 2010).

Otra hipótesis dentro del llamado Antropoceno temprano corresponde con la alteración de la superficie terrestre a causa de las civilizaciones humanas desde hace 2000 años desde el presente. Certini y Scalenghe (2011) exponen que el comienzo del Antropoceno coincide con el momento cuando el estado natural de gran parte de la superficie terrestre del planeta comenzó a verse alterada de forma significativa por las civilizaciones hace 2000 años. Concluyen que “la pedosfera es indudablemente el mejor registrador de las modificaciones inducidas por el hombre en el medio ambiente”.

## 2- La revolución industrial

Cuando se propuso el término Antropoceno, Crutzen y Stoermer (2000) establecieron el posible inicio de esa nueva etapa coincidiendo con el inicio de la revolución industrial (1750-1800), debido al gran incremento poblacional, la urbanización, la mayor presión

sobre los paisajes, la depredación a gran escala y el gran aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> con el uso de combustibles fósiles a niveles globales. Este es el periodo en que los datos obtenidos de los núcleos de hielo glacial muestran el comienzo de un crecimiento en las concentraciones atmosféricas de varios "gases de efecto invernadero", en particular CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Esta fecha de inicio coincide también con la invención de la máquina de vapor por James Watt y el consiguiente aumento del uso de los combustibles fósiles (Crutzen y Stoermer, 2000).

Estos autores proponen como justificación del inicio del Antropoceno el aumento en los gases de efecto invernadero correlacionados con la revolución industrial, lo que es rechazado por Certini y Scalenghe al considerar que un "cambio en la composición atmosférica es inapropiado como criterio para definir el comienzo del Antropoceno", tanto porque los niveles de gases de efecto invernadero no reflejan el impacto sustancial total de los humanos en el ambiente total, y porque las capas de hielo, con sus burbujas de aire contaminadas y selladas, carecen de permanencia, ya que son propensas a ser canceladas por el calentamiento climático en curso (Certini y Scalenghe, 2011).

Lo que nos lleva a la última opción planteada, y la más aceptada en la actualidad, para definir el comienzo del Antropoceno.

### 3- La "Gran Aceleración"

El final de la Segunda Guerra Mundial dio paso a un incremento brutal de la población mundial a la vez que a un enorme crecimiento económico, dando como resultado un cambio ambiental muy notorio y de gran envergadura (Steffen et al, 2007; Steffen et al, 2015). La acción de la "Gran Aceleración" se vislumbra en diferentes parámetros, como la duplicación del almacén de nitrógeno reactivo como resultado de la producción de fertilizantes; el enorme crecimiento de las personas que viven en ciudades, pasando de un 27% a un 53%; la distribución a nivel global de nuevos materiales antropogénicos como los plásticos, el aluminio o el cemento; la difusión de radionucleidos artificiales a partir de la primera bomba atómica en 1945 y en las pruebas atómicas que se sucedieron entre ese año y 1981, que inyectaron en la atmósfera diferentes isótopos, entre los que destacan <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>137</sup>Cs, <sup>222</sup>Rn y <sup>239</sup>Pu (Z. Jaworowski, 1982).

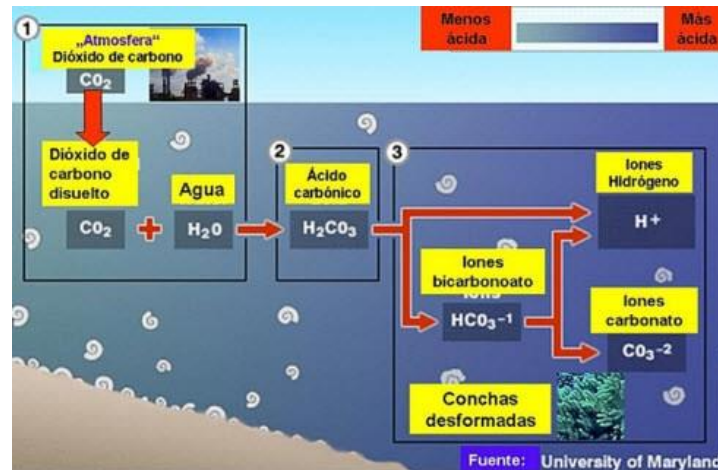
Además de lo citado, podemos señalar como marcadores antropogénicos el aumento de las concentraciones de metales pesados; las invasiones y extinciones de especies que modifican las comunidades bióticas que alteran la “homeostasis” natural de los ecosistemas; el exponencial crecimiento del consumo de combustibles fósiles que se resume en un aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> de unos 120 ppm (partes por millón) desde tiempos preindustriales, además de un incremento de otros gases de efecto invernadero como el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), etc.

Como consecuencia de todas estas variaciones atmosféricas se está produciendo un cambio climático que implica un notable calentamiento global de la Tierra.

El cambio climático actual está provocado principalmente por la quema de combustibles fósiles, lo que está cambiando las características de la atmósfera haciendo aumentar los gases de efecto invernadero, que retienen una mayor cantidad de calor aumentando la temperatura global hasta ahora 0.8°C (American Meteorological Society).

Desde la época preindustrial, la concentración de los gases de efecto invernadero se ha visto incrementada de manera notable, por ejemplo, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en la época preindustrial era de 280 ppm y actualmente se sitúa en valores cercanos a 400 ppm, lo que supone un aumento de más de un 40 %. Hay claras evidencias científicas de que es la concentración de CO<sub>2</sub> más alta de al menos los últimos 800.000 años, lo que es un claro indicador de una alteración en el ciclo natural del carbono con la quema de combustibles fósiles y la deforestación en menor medida (Antal, 2004)

Este aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> implica el aumento de la presión parcial de este gas con el consiguiente desequilibrio en el flujo de CO<sub>2</sub> existente entre la atmósfera, la tierra y los océanos. La mayor concentración de este gas en la atmósfera está intensificando un proceso natural, el efecto invernadero; además, esta mayor concentración en la atmósfera influye en el balance de ganancia/pérdida de CO<sub>2</sub> con los océanos, los cuales ven aumentada la concentración de gas disuelto el cual acidifica el medio tal como apreciamos en la figura 2 (Ciais et al, 2013).



**Figura 2:** Acidificación oceánica debido al aumento de la presión parcial de  $\text{CO}_2$ . Fuente: <https://geoinnova.org/blog-territorio/acidificacion-los-oceanos-se-puede-solucionar/>

El aumento de las temperaturas como efecto secundario del aumento de los gases de efecto invernadero está provocando la desaparición de gran parte de la capa de hielo de los glaciares y del hielo marino del ártico, el cual cada año se ve más mermado. Esto provoca una serie de reacciones en cadena que alteran la homeostasis de los procesos naturales.

Por una parte, la disminución del hielo y nieve perpetuos en glaciares y en los polos provoca una disminución de una zona de mayor reflexión de la radiación solar, lo cual se resume en un aumento de las temperaturas. Por otro lado, el agua resultante del deshielo del ártico está provocando un ascenso del nivel del mar y un cambio en las corrientes marinas del planeta, debido a la entrada de agua fría y de escasa salinidad, influyendo en el normal funcionamiento de la “cinta transportadora oceánica” denominada circulación termohalina.

El ártico se está calentando a un ritmo mayor que las latitudes más al sur y eso es una de las principales causas de la ralentización de la corriente en chorro (viento fuerte de la parte superior de la atmósfera que dirige los sistemas meteorológicos de oeste a este en todo el hemisferio Norte.) Esto provoca que cambien de manera radical los ecosistemas lo que podría quedar registrado en la estratigrafía (Beltrá, 2013).

Quizás el resultado más contundente e influyente del aumento de las temperaturas es el derretimiento del permafrost (suelo permanentemente congelado de las regiones muy frías o periglaciales). A medida que se derrite el permafrost, la turba presente en él

se expone al ambiente, dónde los microorganismos la descomponen liberando CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> lo que incide positivamente en el aumento de la acción del efecto invernadero desarrollándose un sistema de retroalimentación positiva.

Podemos resumir que la acción antropogénica es de carácter global modificando de manera notoria los ecosistemas, los ciclos geoquímicos naturales, realizando cambios de gran envergadura en la superficie terrestre

### Evidencias estratigráficas.

En este apartado se revisará cómo los importantes cambios que el ser humano está ocasionando en la Tierra podrían quedar reflejados en el registro estratigráfico y ser visibles dentro de millones de años. Este es un tema controvertido y motivo de un interesante debate dentro de la comunidad científica en la actualidad: ¿qué quedará del presente una vez que el mundo contemporáneo quede reducido a fragmentos? ¿cómo será la “huella estratigráfica” de nuestra especie?

### Evidencias geoquímicas

No cabe duda que uno de los parámetros más significativos y más señalados en los últimos tiempos son los cambios geoquímicos que están provocando las acciones antropogénicas.

Con la caída de la primera bomba atómica en 1945, lo que supone el inicio de la era atómica, se descargaron a la atmósfera ingentes cantidades de radionucleidos que se dispersaron por todo el planeta quedando almacenados en suelos y sedimentos.

El isótopo radiactivo más reconocido como resultado de las pruebas atómicas es el cesio-137, el cual es utilizado para datar sedimentos recientes. Su corta vida hará que en las próximas décadas se reemplace por otro isótopo radioactivo de mayor duración, el plutonio-239, el cual se considera el radionucleido artificial más detectable del planeta y el mejor marcador cronológico del Antropoceno (Z. Jaworowski, 1982).

El momento de la caída de la primera bomba atómica en 1945 se postula para muchos como el mejor inicio para el Antropoceno (para el cual se requeriría un GSSP).

ya que a pesar de que carece de una clara firma en el registro geológico global al tratarse de una única detonación, si ha dejado evidencias estratigráficas localizadas al convertir la arena en una sustancia similar al vidrio conocida como “Trinitite”. La designación de este GSSP se basaría en las evidencias de isótopos radiactivos como el plutonio-239, el cual es raro en la naturaleza. Es un marcador estable en capas de roca sedimentaria y suelo, posee una vida larga, baja solubilidad y alta reactividad de las partículas, en resumen, es un excelente marcador.

El Grupo de trabajo del Antropoceno ha propuesto que el “Golden Spike” o Pico de Oro correspondiente al límite entre el Holoceno y el Antropoceno debería estar situado en alguna parte situada entre 30 y 60 grados al norte del ecuador, donde la precipitación es máxima, y donde se encuentran las mayores concentraciones de estos isótopos radiactivos en los estratos. Aproximadamente el 76 por ciento de todas las precipitaciones de radionucleidos se produjeron en el hemisferio norte, donde la mayoría de las pruebas se realizaron. La distribución geográfica de los radionúclidos asociados con las precipitaciones ha sido medida para los componentes más comunes, como el estroncio 90 y el cesio 137. La precipitación de Sr 90 se concentra en las latitudes medias (30-60 grados) de cada hemisferio (Fig. 3) y es menor en los polos y el ecuador. (Waters et al, 2015)

**Figura 3:** (Waters et al, 2015)

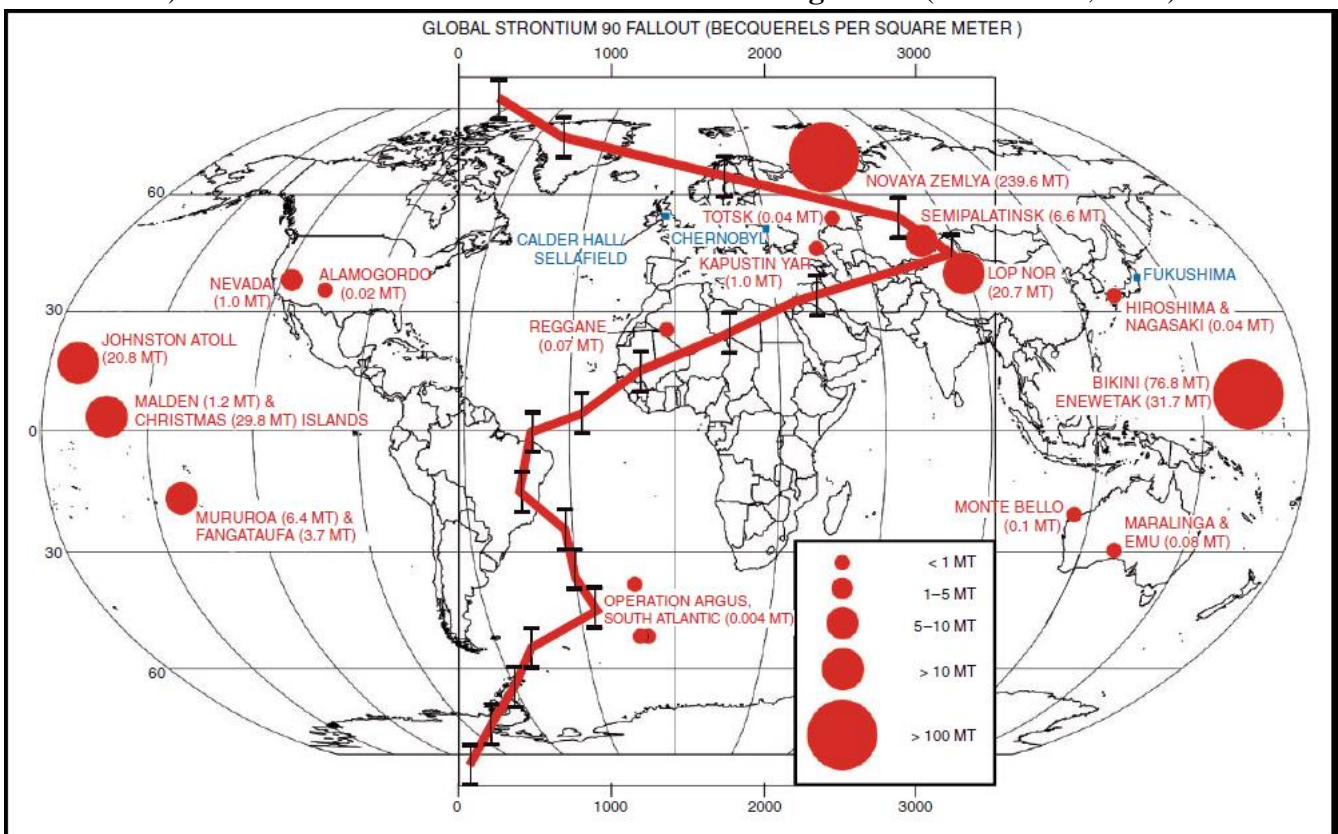


Fig. 3: Distribución y producción total de fisión y fusión, en megatones, de test de armas nucleares atmosféricas (rojo); y localizaciones importantes de accidentes nucleares significativos (azul); con la variación latitudinal superpuesta de las precipitaciones globales de Estroncio 90 en becquerels por metro cuadrado

Otro ejemplo de cambio geoquímico es el uso de fertilizantes para la mejora de cosechas y mayor producción de los campos, que ha provocado la duplicación del almacén de nitrógeno (Z. Jaworowski, 1982).

En el año 2014 el uso de fertilizantes a nivel global según el Banco Mundial se situaba en 138 kg por hectárea de tierras cultivables, lo que implica una gran modificación de los terrenos cultivables provocando en muchos casos las siguientes consecuencias medioambientales:

- Infertilidad de los suelos
- Suelos ácidos
- Aumento de los microorganismos
- Contaminación de las aguas subterránea

### *Nuevos materiales*

La creación de nuevos materiales por parte de los humanos está provocando que el desecho de estos quede como “Tecnofósiles” (Zalasiewicz et al, 2014b) o “xenolitos antropogénicos” (Hazen et al, 2017).

Antes de las actividades humanas, el evento de formación de compuestos cristalinos más significativo fue el Gran Evento de Oxidación, etapa en la que se produjeron 2/3 de las más de 5000 especies minerales de la Tierra a causa del aumento del oxígeno. En comparación, la producción de 18000 compuestos cristalinos inorgánicos refleja la gran influencia de los humanos sobre los procesos naturales.

Las fases minerales más persistentes son probablemente aquellas empleadas en la construcción de edificios y carreteras, especialmente el hormigón armado. Los materiales policristalinos resistentes, incluyendo ladrillos, loza, porcelana y cemento, junto con varios cristales, sirven como obsoletas "litologías" del Antropoceno. Ejemplos de conservación de estos materiales bajo condiciones geológicas son las ciudades romanas de Pompeya y Herculano, enterradas bajo ceniza volcánica en el año 79 dC y la antigua ciudad de Alejandría enterrada bajo el mar Mediterráneo (Hazen et al, 2017).

Un claro ejemplo de nuevos materiales son las playas de Arrigunaga, Tunnelboca y Gorrondatxe, tres playas de Vizcaya las cuales quedaron cementadas debido a un proceso antropogénico.

El vertido de materiales de residuo de origen industrial por parte de empresas siderometalúrgicas (en mayor medida de la extinta empresa Altos Hornos de Vizcaya) por un periodo comprendido entre el inicio del siglo XX y finales de los años sesenta, se estimó entre los 24 y 30 millones de toneladas de vertidos, provocando la deposición de materiales en zonas donde la deposición es escasa o al menos de menor espesor que el que se dio debido a este aporte de materiales que podríamos definir como “Tecnofósiles”(Pujalte et al, 2015; Zalasiewicz et al., 2014b)

A continuación se hablará de los plásticos, uno de los materiales antropogénicos con más uso, y de la creación de nuevos minerales debido a acciones humanas.

#### - Plásticos:

Desde la invención del plástico en 1860 por John Wesley Hyatt, este ha desarrollado un brutal incremento de su producción y uso, convirtiéndose en una de las principales fuentes de contaminación antropogénica tanto en el proceso de creación de este tipo de materiales, como en el proceso de descomposición del mismo. Los plásticos son fundamentales para la higiene contemporánea, como el envoltorio de productos para el hogar y otros materiales, o los guantes desechables, abrigos y encapsulaciones de medicamentos utilizados en hospitales y en la provisión de sistemas de agua limpia baratos a través de botellas de agua y tuberías. Los plásticos también son componentes de muchos de nuestros edificios, herramientas y máquinas.

La distribución de los plásticos es prácticamente mundial, encontrándose en cualquier parte de la tierra, desde la cima del Himalaya hasta en las zonas más profundas de los océanos.

Los plásticos son abundantes y generalizados como fragmentos macroscópicos y también como partículas microscópicas. Estos últimos se encuentran dispersos por procesos tanto físicos como biológicos, en particular a través de la cadena alimentaria.



Estos materiales son una amenaza para los seres vivos debido a su acumulación, ahogamiento, o en algunos casos toxicidad. La magnitud de la incidencia de los plásticos se pone de manifiesto en Holland et al, (2016), donde encontraron desechos en el 55% de las especies recolectadas en hábitats de agua dulce en Canadá.

Los plásticos debido a su largo periodo de descomposición y al volumen de utilización y desecho de este material, es un elemento que deja claras evidencias estratigráficas y por lo cual, están empezando a utilizarse como marcadores estratigráficos en la práctica arqueológica de campo, como indicadores de depósitos modernos o recientemente perturbados (Fig. 4). Incluso pequeñas cantidades de plástico que se encuentran como inclusiones dentro de una capa, pueden usarse como evidencia de la fecha de deposición. Esto puede proporcionar restricciones precisas sobre la edad del depósito específico dentro del cual se encuentra y también confiere información relativa a la datación en capas que están estratigráficamente por encima ('más tarde que') y por debajo ('antes que') de la capa portadora de plástico (Zalasiewicz et al., 2016).



**Fig. 4:** Bolsas de Plástico de los años 80 en el relleno de un foso ornamental en jardines de Tudor de la evaluación en Cedars Park, Broxbourne, Herts Fuente: <http://www.mola.org.uk/blog/cedars-park-archaeological-evaluation>

## - Minerales del Antropoceno:

Antes de la influencia de las tecnologías humanas, la diversidad y distribución de minerales en la superficie de la Tierra o cerca de ella se daba a través de procesos físicos, químicos y / o biológicos. Desde el advenimiento de la minería y la manufactura humana y especialmente desde la revolución industrial de mediados del siglo XVIII, los compuestos de tipo mineral han experimentado una puntuación en la diversidad y distribución debido al impacto omnipresente de las actividades humanas.

Se han catalogado 208 especies minerales aprobadas por la Asociación Mineralógica Internacional que se producen principalmente o exclusivamente como consecuencia de procesos humanos.

Al menos dos tipos de actividades humanas han afectado a la diversidad y distribución de minerales y compuestos minerales de formas que podrían reflejarse en el registro estratigráfico mundial.

La influencia más evidente es la presencia generalizada de compuestos sintéticos de tipo mineral, algunos de los cuales se fabrican directamente para aplicaciones (por ejemplo, cristales YAG para láseres, cemento Portland) y otros que surgen indirectamente (por ejemplo, vertederos y escorias).

De los minerales nuevos que se han catalogado, encontramos que han sido formados a causa de actividades humanas y, o no se encuentran de manera natural o en cambio, se encuentran o se sospecha que se encuentran de manera natural en otras localidades.

A continuación, se muestran unos ejemplos de minerales asociados a minas que han sido formados por acciones humanas y que no se encuentran de manera natural.

<i>Nombre del mineral</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Localidad</i>
<b>Minerales asociados a minas</b>		
<b>Alteración asociada a desechos minerales</b>		
Delriote	$\text{Sr}(\text{V}_5+\text{O}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mina Jo Dandy, Valle Paradox
Smrkovecite	$\text{Bi}_2\text{O}(\text{PO}_4)(\text{OH})$	Smrkovec, República Checa
Widgiemoolthalite	$\text{Ni}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4-5\text{H}_2\text{O}$	Mina 132 Norte, Widgiemooltha, Australia
<b>Alteración asociada con las paredes de las minas</b>		
Canavesite	$\text{Mg}_2(\text{HBO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Mina Brosso, Italia
Calciodelrioite	$\text{Ca}(\text{VO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mina West Sunday, Colorado
Zýkaite	$\text{Fe}_{3+4}(\text{AsO}_4)_3(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	Kaňk, República Checa
<b>Precipitados de agua en minas</b>		
Fluckite	$\text{CaMn}_2+(\text{AsO}_3\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mina Gabe Gottes, Alsace, Francia
Phosphorrösslerite	$\text{Mg}(\text{PO}_3\text{OH}) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mina Stübibau, Schellgaden, Austria
Postite	$\text{MgAl}_2(\text{V}_{10}\text{O}_{28})(\text{OH})_2 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Minas Vanadium Queen and Blue Cap, Utah
<b>Minerales asociados con sistemas de tuberías geotérmicas</b>		
Ammonioborite	$(\text{NH}_4)_3\text{B}_{15}\text{O}_{20}(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Larderello, La Toscana, Italia
Biringuccite	$\text{Na}_2\text{B}_5\text{O}_8(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	Larderello, La Toscana, Italia
Nasinite	$\text{Na}_2\text{B}_5\text{O}_8(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Larderello, La Toscana, Italia

Tabla de minerales nuevos asociados a actividades humana. Elaborada con datos tomados de Hazen et al. (2017)

Por otro lado, los seres humanos se han vuelto incansablemente eficientes en la redistribución de ciertos minerales naturales, como piedras preciosas y especímenes minerales finos, en todo el mundo.

Es probable que las dos influencias se conserven como distintos marcadores estratigráficos en el futuro (Hazen et al., 2017)



**Figura 5:** Ejemplar de Calciodelriote, un mineral nuevo de los depósitos de uranio-vanadio de la meseta oriental de Colorado en los EE.UU Fuente: Bourging, V. (2013), Mindat. [www.mindat.org/min-43345.html](http://www.mindat.org/min-43345.html)

#### *Evidencias geomorfológicas:*

Recientemente han comenzado a estudiarse las presiones antropogénicas sobre la geomorfología. La topografía emerge como resultado de las fuerzas motrices naturales, pero algunas actividades humanas (como minería, prácticas agrícolas y construcción de redes de carreteras) directa o indirectamente mueven grandes cantidades de suelo, que dejan firmas topográficas claras incrustadas en la morfología de la Tierra. Estas firmas pueden causar cambios drásticos en la organización geomorfológica del paisaje, con consecuencias directas en los procesos de la superficie terrestre.

La evidencia de la acción humana es grande, hasta tal punto que, la gran mayoría de los desastres por inundaciones y deslizamientos podrían ser una característica del Antropoceno y ser debido al cambio geomorfológico inducido por el ser humano, en lugar

de por el cambio climático, el cuál es inducido por el hombre también.(Bruschi et al., 2013)

#### BIOTURBACIÓN HUMANA

La bioturbación producida por los seres humanos es un fenómeno sin precedentes en la historia de la Tierra y es órdenes de magnitud mayor en escala que cualquier tipo anterior de bioturbación no humana (Zalasiewicz et al, 2014a). Según Wilkinson, (2005), los seres humanos mueven cantidades cada vez mayores de roca y sedimento durante diversas actividades de construcción y por lo tanto se convierten en un importante agente geológico.

La bioturbación humana la podemos clasificar en tres tipos según su profundidad (Zalasiewicz et al., 2014a):

- Bioturbación superficial: está constituida por las excavaciones superficiales, construcciones y alteraciones de los patrones de sedimentación y erosión superficial.

A día de hoy, más del 50% de la superficie terrestre libre de hielo ha sido modificada por los humanos de alguna manera (movimientos de tierra, cambios en el flujo de sedimentos, agricultura, construcciones...) (Hooke et al, 2012).

- Bioturbación subsuperficial: se distribuye desde un metro a decenas de metros debajo de la superficie e incluye toda la compleja edificación subterránea de las ciudades modernas (sistema de alcantarillado, electricidad, metros, túneles, etc.). La distribución de esta clase de bioturbación coincide con la extensión de las superficies de las tierras urbanas (alrededor del 3% de la tierra).

También incluye pozos, minas poco profundas, tuberías enterradas de larga distancia.

Estos sistemas al estar protegidos de la erosión tienen una probabilidad mucho mayor de preservación a corto y medio plazo con respecto a las estructuras hechas por los humanos en superficie. Su conservación a largo plazo está supeditada a que estén presentes en las partes descendentes de la corteza, como en las planicies o deltas costeros.

- Bioturbación profunda: se extiende de cientos a miles de metros por debajo de la superficie. Incluye la minería profunda y perforaciones profundas,

principalmente para hidrocarburos. También otros tipos de bioturbación como son los depósitos profundos para desechos nucleares, sitios de prueba de bombas nucleares subterráneas.

Con el fin de la búsqueda de hidrocarburos, en el año 1974 la compañía petrolera realizó la perforación Bertha Rogers de Oklahoma, convirtiéndose en la perforación más profunda de la historia con 9583 metros. Más tarde en la península de Kola, al norte de Rusia en 1989, tras años de perforación, y dentro del programa alemán de perforación profunda, se logró llegar a la increíble profundidad de 12262 metros. Este tipo de perforaciones son candidatas casi con toda seguridad de convertirse en registros antropogénicos debido a su gran profundidad y a los restos de maquinaria que dejaron a su paso.

La bioturbación humana junto con otras actividades antropogénicas trae como consecuencia la formación de suelos antropogénicos (Antrosoles). Se encuentran en todo el mundo en los paisajes urbanos y en los paisajes naturales que han sufrido la acción humana. Los antrosoles pueden formarse por el sellado de un suelo natural por un pavimento u otro material impermeable fabricado artificialmente; la transformación de un suelo natural por la acción humana; o por la adición de sedimentos o materiales antropogénicos de forma directa o indirecta. (Howard, 2017)

Los principales tipos de antrosoles son los siguientes:

- Antrosol hidrágico: se forma normalmente asociado a cultivos encharcados como el arroz. Muy abundantes en el sudeste y este de Asia.
- Antrosol irrágico: caracterizado por la presencia de un horizonte irrágico. Creación del uso prolongado del suelo con explotaciones agrícolas de regadío. Se forma una capa finamente estratificada en superficie de materiales depositados por el agua de riego. Común en Oriente medio.
- Antrosol térrico: se trata de un suelo que presenta un horizonte térrico, el cual está caracterizado por una textura poco uniforme al cambiar de profundidad, y está producido por la adición continuada de estiércoles muy terrosos, compost o lodos.

- Antrosol plágico: con un horizonte plágico que se caracteriza por una textura uniforme, usualmente arenosa o areno-franca. Tiene su origen en la aplicación prolongada de enmiendas orgánicas al suelo, utilizadas como fertilizante. Son los suelos antropogénicos más comunes en el nordeste de Europa.
- Antrosol hórtico: presenta un horizonte hórtico, cuyo color es oscuro y con un contenido en carbono del 1% o más. Tiene su origen en la aplicación prolongada de enmiendas orgánicas al suelo, utilizadas como fertilizante. El tipo de material añadido es más orgánico que en el térrico por lo que su contenido orgánico suele ser mayor.

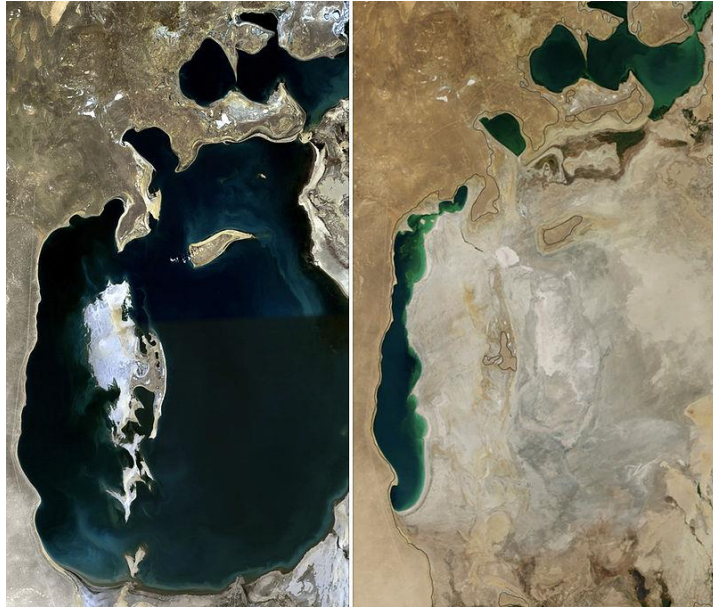
El calentamiento global está provocando un rápido retroceso y desaparición de las masas de hielo del planeta, lo que está provocando que el nivel de los océanos aumente. Actualmente la subida del nivel del mar se estima en un total de 7.2 cm según la NASA desde 1992. El deshielo completo de Groenlandia provocaría un aumento del nivel del mar de 7 metros, y el deshielo de la Antártida oriental haría que los océanos se elevaran entre 60 y 80 metros (Fernández-Palacios, 2015)

El aumento del nivel del mar provoca múltiples consecuencias como la desaparición de playas, atolones e islas enteras, desaparición de ecosistemas como los manglares, etc.

Otra de las consecuencias del calentamiento global es la desecación de muchos lagos y ríos. En este caso, la subida de las temperaturas viene acompañada en muchos casos de acciones humanas directas como en el caso del lago Owens, situado al este de California, que desapareció a principios del siglo XX por canalizaciones para abastecimiento humano.

El lago Poopó, el segundo más grande de Bolivia, se secó casi por completo en diciembre de 2015 debido al calentamiento global, el fenómeno de El Niño y al abuso del uso del agua para abastecimiento humano. Actualmente ha recuperado un tercio de su superficie.

El Mar de Aral, situado entre Europa y Asia, era el cuarto lago más grande del mundo, pero actualmente ocupa la posición 17ª debido a que consta con el 10% del agua que lo formaba. En la Figura 6 podemos ver la pérdida de agua del Mar de Aral entre los años 1989 y 2014.



**Figura 6** Fuente: El Hiffington Post

#### *Evidencias bioestratigráficas:*

Los seres humanos estamos modificando de manera radical los ecosistemas de todo el mundo mediante el cambio climático y diversas acciones como la tala de bosques, la caza furtiva o la redistribución de la biota.

El proceso de mezcla de la fauna y flora del mundo, que comenzó lentamente siguiendo las rutas de las primeras migraciones humanas, se ha acelerado en décadas recientes hasta el punto de que en algunas zonas las plantas alóctonas ya superan en número a las autóctonas o nativas. Se estima p.ej. que cada día se mueven alrededor del mundo con el agua de lastre unas 10.000 especies distintas (“fouling”). Ricciardi (2007) considera que la actual reorganización de la biota de la Tierra como un evento de invasión en masa sin precedentes en la historia del planeta.

Una de las consecuencias inmediatas de la introducción de nuevas especies es la posible transmisión de enfermedades o patógenos que sean desconocidos para las especies autóctonas y que por ello no dispongan de las defensas correspondientes, por lo que provocaría el desarrollo de enfermedades que contribuyen a la desaparición paulatina de numerosas especies.

Otra de las consecuencias sería el aumento de la competencia y, en muchos casos, el desplazamiento de las especies autóctonas por parte de las alóctonas. En algunos casos se produce la extinción de especies perdiendo riqueza biológica. Todo esto provoca la



homogenización de especies alrededor del mundo y la disminución de la biodiversidad, la cual es fundamental en casos como pandemias.

Esta globalización es similar a la que se ha producido en otros momentos de la historia de la Tierra mediante la formación periódica de enormes supercontinentes (Pangea) que también han supuesto una disminución de la biodiversidad terrestre. En la llamada “Gran Mortandad” (extinción masiva del Permo-Trias), se produjo la extinción del 95% de las especies. Según Yin y Song. (2013) esta extinción estuvo claramente condicionada por la unión de los continentes formando Pangea y provocando así la mezcla de gran parte de las especies.

En la actualidad la homogenización de los ecosistemas está siendo provocado por los humanos y como se ha dicho está provocando una serie de problemas que afectan a la biodiversidad.

Por otro lado, el cambio climático está alterando de forma notable los ecosistemas terrestres. En la actualidad, un gran porcentaje de las especies se encuentran clasificadas como “en peligro de extinción”, concretamente un tercio de todas las especies de anfibios, un tercio de los corales que generan arrecifes, un cuarto de todos los mamíferos y una octava parte de las aves (Kolbert, 2014).

No existe un consenso sobre cuál es la tasa de extinción actual, pero se estima que entre el 10 y el 24 % de las especies conocidas están condenadas a desaparecer (Thomas, 2012). Se ha llegado incluso a comparar las condiciones ambientales extremas que sufrió la Tierra a finales del Pérmico con un importante calentamiento global, acidificación y anoxia de los océanos con la situación que viviremos en los próximos siglos debido al cambio climático (Payne y Clapham, 2012)

Los arrecifes de coral, a pesar de la escasa superficie del planeta que ocupan, tienen efectos muy importantes sobre la atmósfera, la química del océano y sobre la biodiversidad marina. Estos ecosistemas llegan a albergar hasta a 30 filos de animales diferentes, por lo que es uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad del mundo. Además, son unos “sumideros de carbono” de grandísima importancia debido a los esqueletos calcáreos ( $\text{CaCO}_3$ ) de los que se forman. (Birkeland, 2015)

El calentamiento global y la acidificación de los océanos provocan alteraciones masivas en los arrecifes de coral, ecosistemas muy vulnerables a los cambios ambientales.

Los corales están siendo sometidos a un gran estrés, que tiene como resultado el proceso de blanqueamiento, que consiste en la desaparición de las zooxantelas que viven en simbiosis con los corales, provocando la decoloración de los arrecifes y con el tiempo su muerte (Hoegh-Gulberg, 1999).

La muerte de estos ecosistemas provoca una gran reducción de la biodiversidad marina, un desequilibrio en el ciclo del carbono y una reducción notable de la producción de oxígeno a causa de la desaparición de las zooxantellas.

A lo largo de la historia de la Tierra se han producido cinco grandes extinciones masivas y diversas extinciones de menor entidad. Es precisamente esta evidencia paleontológica la que se ha utilizado en diversas ocasiones para definir la escala cronoestratigráfica. La reducción de la biodiversidad que comenzamos a apreciar en la Tierra en la actualidad podría llegar a ser por lo tanto la principal traza bioestratigráfica del Antropoceno.

## CONCLUSIONES

La incidencia humana actual sobre el planeta Tierra no cabe duda que es de una magnitud abismal y sincrónica, y que la huella que estamos dejando en el planeta perdurará durante un largo periodo de tiempo, dando lugar posiblemente a una evidencia estratigráfica y bioestratigráfica en el futuro.

El Antropoceno, se convierta o no próximamente en una nueva etapa de la Escala Cronoestratigráfica, implica el comienzo de una fase de la historia de la Tierra sin precedentes, caracterizada por la presencia y acción humana. Por lo tanto, los estudios científicos sobre este tema constituyen un motivo de reflexión sobre la influencia de las acciones humanas y de cómo pueden paliarse las graves consecuencias de nuestros actos.

## CONCLUSIONS

The current human impact on the planet Earth is undoubtedly of an abysmal and synchronous magnitude, and that the trace we are leaving on the planet will last for a long period of time, allowing the stratigraphic evidence in the future and giving rise to a series of global changes. However, the scarce current stratigraphic record should make us wonder if the Anthropocene deserves to be named as a Stage of the Chronostratigraphic Scale.

The Anthropocene, whether or not it becomes a new stage of the Chronostratigraphic Scale, implies the beginning of a phase of unprecedented Earth history, characterized by human presence and action. Therefore, scientific studies on this subject are a reason for reflection on the influence of human actions and how the serious consequences of our actions can be mitigated.

## Referencias Bibliográficas

- Antal, E. (2004). *Cambio climático* Plaza y Valdés, S.A. de C.V.
- Beltrá, D. (2013) El ártico y los efectos del cambio climático en España. Greenpeace.
- Birkeland, C. (2015). *Coral reefs in the anthropocene* (1st ed. 2015 ed.). Dordrecht: Springer Verlag. doi:10.1007/978-94-017-7249-5
- Bruschi, V. M., Bonachea, J., Remondo, J., Gómez-Arozamena, J., Rivas, V. et al. (2013). Analysis of geomorphic systems' response to natural and human drivers in northern Spain: Implications for global geomorphic change. *Geomorphology*, 196, 267-279. doi:10.1016/j.geomorph.2012.03.017
- C. Finney, S. (2008). *Estado actual de la definición del "Antropoceno" como la última época de la tabla cronoestratigráfica internacional*
- C. Finney, S., & E. Edwards, L. (2016). The "Anthropocene" epoch: Scientific decision or political statement. *Gsa Today*, 20(1), 44-60. doi:10.1177/1368431016651874
- Cearreta, A. (2015). La definición geológica del antropoceno según el anthropocene working group (AWG). *Issn*, , 263-271.
- Cearreta, A. (2016a). *El antropoceno y los pasos necesarios para su posible formalización tras el 35º congreso geológico internacional (2016)*
- Cearreta, A. (2016b). *Estado actual de la definición del "Antropoceno" como la última época de la tabla cronoestratigráfica internacional*
- Certini, G., & Scalenghe, R. (2011). *Anthropogenic soils are the golden spikes for the anthropocene*. *The Holocene* 21, 1269-1274.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., & Peters, W. (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. *Climate change* () Cambridge University Press. Retrieved from <http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:library.wur.nl:wurpubs%2F488556>
- Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). The anthropocene. *Global Change Newsletter*, 41, 17-18.
- Doughty, C. E., Wolf, A., & Field, C. B. (2010). *Biophysical feedbacks between the pleistocene megafauna extinction and climate: The first human-induced global warming?* *Geophysical Research Letters*. doi:10.1029/2010GL043985
- Fernández-Palacios, J. M. Impacto del cambio climático en la biodiversidad. Universidad de La Laguna.
- Hoegh-Guldberg, O. (1999). *Climate change bleaching and the future of the world's coral reefs*. Greenpeace.
- Holland, E. R., Mallory, M. L., & Shutler, D. (2016). Plastics and other anthropogenic debris in freshwater birds from Canada. *Elsevier*, 571, 251-258.

- Hooke, R. L., Martín Duque, J. F., & Pedraza Gilsanz, J. d. (2012). Land transformation by humans: A review. *Gsa Today*, 4-10. Retrieved from [http://eprints.ucm.es/20528/1/Hooke et al 2012 GSAToday.pdf](http://eprints.ucm.es/20528/1/Hooke_et_al_2012_GSAToday.pdf)
- Howard, J. (2017). *Anthropogenic soils*. Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-319-54331-4
- ICS. (2015). GSSP table - all periods. Retrieved from <http://www.stratigraphy.org/GSSP/index.html>
- Kolbert, E. (2014). *The sixth extinction: An unnatural history*. A&C Black.
- Payne, J.L. y Clapham, M.E. (2012). End-Permian mass extinction in the oceans: an ancient analog from the twenty-first century? *Annu.Rev.Earth. Planet. Sci.*, 40: 89-111.
- Pujalte, V., Astibia, H., Aizpiri, F., & Payros, A. (2015). *Las playas cementadas del "Antropoceno" de bizkaia, país vasco: Origen y degradación* Geogaceta.
- Ricciardi, A. (2007). Are modern biological invasions an unprecedented form of global change? *Conservation Biology*, 21: 329-336.
- Robert M. Hazen, Edward S. Grew, Marcus J. Origlieri, & Robert T. Downs. (2017). On the mineralogy of the "Anthropocene epoch". *American Mineralogist*, 102(3), 595-611. doi:10.2138/am-2017-5875
- Ruddiman, F. W. (2003). The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61(3), 261-293. doi:CLIM.0000004577.17928.fa
- Ruddiman, W. F., & Thomson, J. S. (2001). The case for human causes of increased atmospheric CH<sub>4</sub> over the last 5000 years. *Quaternary Science Reviews*, 20(18), 1769-1777. doi:10.1016/S0277-3791(01)00067-1
- Smith, B. D., & Zeder, M. A. (2013). The onset of the anthropocene. *Encyclopedia of Environmental Change*, 4 (2013) 8-13, 50-51.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). *The trajectory of the anthropocene: The great acceleration*. London, England: SAGE Publications. doi:10.1177/2053019614564785
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature? *Ambio*, 36, 614-621. doi:TAAHNO]2.0.CO;2
- Thomas, C. (2012) First estimates of extinction risk from climate change", pp 17-18. En Hannah, L.J. (ed), "Saving a million species: Extinction risk from climate change". Island Press, Washington, D.C.
- Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S. O., Popp, T., Steffensen, J. et al. (2009). Formal definition and dating of the GSSP (global stratotype section and point) for the base of the holocene using the greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*, 24(1), 3-17. doi:10.1002/jqs.1227

- Waters, C. N., Syvitski, J. P. M., Gałuszka, A., Hancock, G. J., Zalasiewicz, J. et al. (2015). Can nuclear weapons fallout mark the beginning of the anthropocene epoch? *Bulletin of the Atomic Scientists*, 71(3), 46-57. doi:10.1177/0096340215581357
- Wilkinson, B. H. (2005). Humans as geologic agents: A deep-time perspective. *Geology*, 33(3), 161. doi:10.1130/G21108.1
- Yin, H., & Song, H. (2013). Mass extinction and Pangea integration during the Paleozoic-Mesozoic transition. *Science China. Earth Sciences*, 56(11), 1791.
- Z. Jaworowski. (1982). Radionucleidos naturales y artificiales en el medio ambiente global. VOL. 24, Nº 2, 24
- Zalasiewicz, J., Smith, A., Brenchley, P., Evans, J., Knox, R. et al. (2004). Simplifying the stratigraphy of time. *Geology*, 32(1), 1-4. doi:10.1130/G19920.1
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Ivar do Sul, Juliana A, Corcoran, P. L., Barnosky, et al. (2016). The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the anthropocene. *Anthropocene*, 13, 4-17. doi:10.1016/j.ancene.2016.01.002
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., & Williams, M. (2014a). Human bioturbation, and the subterranean landscape of the anthropocene. *Anthropocene*, 6, 3-9. doi:10.1016/j.ancene.2014.07.002
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Smith, A., Barry, T. L., Coe, A. L. et al. (2008). Are we now living in the anthropocene. *GSA Today*, 18(2), 4. doi:10.1130/GSAT01802A.1
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Waters, C. N., Barnosky, A. D., & Haff, P. (2014b). The technofossil record of humans. *The Anthropocene Review*, 1(1), 34-43. doi:10.1177/2053019613514953