

FACULTAD DE CIENCIAS
GRADO EN BIOLOGÍA
TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO ACADÉMICO [2019-2020]

TÍTULO:

**EL “EVENTO PLUVIAL DEL CARNIENSE” (TRIÁSICO SUPERIOR). CAMBIO CLIMÁTICO,
EXTINCIÓN ASOCIADA Y POSTERIOR DIVERSIFICACIÓN DE LOS DINOSAURIOS.**

AUTOR:

RAÚL RIQUELME ÁVILA

Resumen

Desde el comienzo de los tiempos, nuestro planeta ha pasado por numerosos episodios de cambio climático y ha sufrido devastadoras catástrofes naturales. Con ellas, han llegado las extinciones en masa asociadas y el consiguiente origen de nuevas especies que se encargarían de ocupar los nichos de las anteriores. Una de las más importantes fue la extinción masiva de final del Pérmico (hace unos 252 millones de años) tras la cual el clima del planeta se tornó extremadamente cálido y árido.

El acontecimiento que aquí nos ocupa ocurrió un tiempo después, cuando, en mitad de este periodo árido, un período húmedo promulgado por el Evento Pluvial del Carniense (Carnian Pluvial Event, CPE por sus siglas en inglés) tuvo lugar aproximadamente hace 234 millones de años y duró aproximadamente hasta hace 232 millones de años. El origen de este evento se relaciona con las erupciones volcánicas de Wrangellia y en el aceleramiento de los ciclos del agua que provocaron. Pero todavía más importante fue la extinción que vino asociada al evento y el origen de unas especies relativamente nuevas recogidas bajo el nombre de dinosaurios.

Este trabajo trata de aportar datos suficientes que contrasten la existencia del CPE y que expliquen su origen, importancia y consecuencias, siendo el origen de los dinosaurios una de las premisas más importantes. Además, el estudio de este evento nos lleva a hacernos una pregunta: ¿qué nos pueden enseñar los cambios climáticos pasados en relación al cambio climático actual?

Palabras clave

Evento Pluvial del Carniense; Triásico; extinción; cambio climático; origen de los dinosaurios

Abstract

Our planet had experienced numerous episodes of climate change and suffered a lot of devastating natural disasters since the beginning. With them we also have associated mass extinctions and the origin of new species to rule the world. One of the most important was the End-Permian mass extinction (ca. 252 million years ago) that created a world with extremely high temperatures and aridity.

Our main issue in this paper took place in the middle of this arid time when a humid period started thanks to the Carnian Pluvial Event (CPE) that took place 234 million years ago and ended approximately 232 million years ago. The origin of this event resides in the Wrangellia LIP eruptions and acceleration of water cycles that come with them. But even more important is the extinction associated to the CPE and the origin of a new group of specimens called dinosaurs.

The objective of this paper is to prove the existence of the CPE, its origin, importance and consequences and to discuss the dinosaur origin as the most important consequence of the CPE. Moreover, this paper leads us to a question: What can we learn about the current climatic change by investigating the past ones?

Keywords

Carnian Pluvial Event; Triassic; extinction; climate change; origin of the dinosaurs

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	SITUACIÓN GLOBAL PREVIA AL CPE.....	4
1.1.1	CONTEXTO CLIMÁTICO PREVIO AL CPE.....	5
1.1.2	CONTEXTO GEOLÓGICO PREVIO AL CPE.....	7
1.1.3	CONTEXTO BIÓTICO PREVIO AL CPE.....	8
2.	ANTECEDENTES.....	11
3.	OBJETIVOS.....	12
4.	METODOLOGÍA.....	12
5.	PLAN DE TRABAJO.....	13
6.	RESULTADOS.....	13
6.1	EVENTO PLUVIAL DEL CARNIENSE O CPE.....	13
6.1.1	EVIDENCIAS DE LA EXISTENCIA DEL CPE.....	14
6.1.2	ORIGEN Y FINAL DEL CPE.....	18
6.2	CONSECUENCIAS BIÓTICAS DEL CPE Y RELACIÓN DEL CPE CON LA EXTINCIÓN MASIVA DEL CARNIENSE Y EL ORIGEN DE LOS DINOSAURIOS.....	19
6.2.1	RELACIÓN ENTRE EL CPE Y EL ORIGEN DE LOS DINOSAURIOS.....	20
6.2.2	RELACIÓN ENTRE CPE, DDE Y LA EXTINCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESPECIES PRE-CPE.....	23
6.3	CAMBIO CLIMÁTICO ACTUAL Y CPE: RELACIÓN ENTRE AMBOS Y POSIBLES PREDICCIONES.....	24
6.4	ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO.....	25
7.	DISCUSIÓN.....	27
8.	CONCLUSIONES.....	29
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUCCIÓN

1.1 SITUACIÓN GLOBAL PREVIA AL CPE

Uno de los objetivos a cumplir en este trabajo, y uno de los principales requisitos para llegar a resolver el resto de los objetivos, pasa por comprender como era la situación del planeta antes del Evento Pluvial del Carniense. Es necesario enmarcar temporalmente este periodo y analizar el planeta desde un contexto climático, geológico y biótico. Solo así es posible analizar con exactitud las alteraciones que el planeta sufrió fruto de este evento.

Así pues, en primer lugar, es preciso conocer donde se sitúa cronológicamente este espacio temporal. En la Tabla 1 se observa que el Carniense es un periodo localizado en el Triásico Superior. Está situado entre el Ladiniense y el Noriense, a continuación del primero y antes que el segundo, y tuvo una duración de unos 10 millones de años, aproximadamente desde hace 237 millones de años a hace 227 millones de años (Cohen *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2020). Aproximadamente 15 millones de años antes del inicio del Carniense tuvo lugar la extinción masiva que marcó el paso del Pérmico al Triásico (Fielding *et al.*, 2019) y 18 millones de años después de este hecho, el planeta se encontraba en una situación muy distinta debido al comienzo del CPE, hace aproximadamente 234 millones de años (Roghi *et al.*, 2010; Dal Corso *et al.*, 2015).

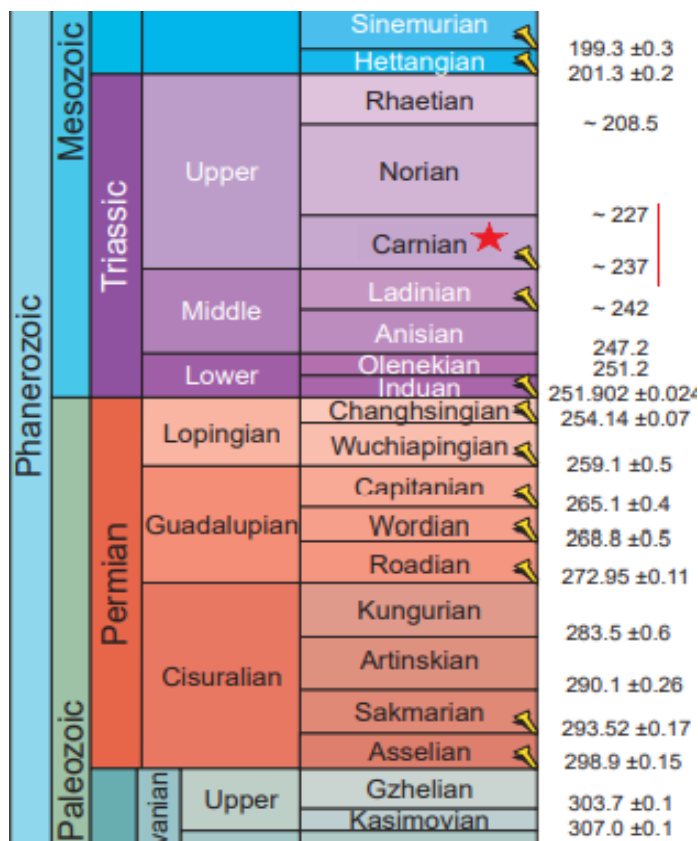


Tabla 1. Organización cronoestratigráfica del período Pérmico-Triásico. El Carniense, comenzando hace 237 millones de años y finalizando hace 227 millones de años, se encuentra señalado como ★ (Adaptado de Cohen *et al.*, 2013).

1.1.1 CONTEXTO CLIMÁTICO PREVIO AL CPE

La extinción masiva de final del Pérmico que sucedió en torno a hace 252 millones de años y durante los 5 millones de años que duró (Shen *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2012) tuvo grandes consecuencias a nivel global suponiendo la extinción del 95% a las especies del planeta en el momento (Benton y Twitchett, 2003). Ante semejante pérdida biótica y debido a las nuevas condiciones climáticas que se instauraron, nuevas especies pasaron a estar presentes en gran parte de los ecosistemas terrestres y marinos de la ya formada Pangea (Stampfli *et al.*, 2013).

Los océanos de la Tierra en este tiempo se encontraban extremadamente calientes y ofrecían a la vida marina unas condiciones altamente adversas y estresantes. Esto hacía que la vida marina se viera muy perjudicada y que habitar en estos océanos fuera una tarea casi imposible (Sun *et al.*, 2012). De hecho, la temperatura superficial de los océanos llegó a superar los 40 °C (Sun *et al.*, 2012), un valor muy elevado teniendo en cuenta que, como comparación, la temperatura media anual de la superficie de las masas de aguas ecuatoriales se encuentra en un rango entre aproximadamente los 25 °C y los 30 °C. (Webb, 2016)

Estas altas temperaturas vinieron provocadas por la instauración de un potente efecto invernadero, similar al que en la actualidad se ha instaurado en el planeta (Retallack, 2013) pero provocado por causas muy distintas. El cambio climático actual corresponde principalmente a una fluctuación normal de la temperatura terrestre (Matthews *et al.*, 2004). El planeta por sí mismo tiene periodos más calurosos y periodos más fríos. El principal problema viene cuando algún factor ajeno actúa acelerando o decelerando estas fluctuaciones naturales de la Tierra e incluso pudiendo llegar a empeorar la situación radicalizando las consecuencias de estas fluctuaciones naturales. En el caso del actual calentamiento global, algunos autores asumen que la especie humana es el principal agente acelerador, ya que directa o indirectamente está contribuyendo a que el calentamiento del planeta se acelere y pueda llegar a ser más dañino para el planeta que como iba a ser (Cook *et al.*, 2016).

En el caso del calentamiento global del final del Pérmico, además de, como ya se ha comentado, las fluctuaciones naturales del planeta hacia un estado climático más cálido, según algunos autores el principal agente acelerador y radicalizador de este cambio climático fue el evento de erupción masiva que tuvo lugar en la gran provincia ígnea localizada en Siberia, Rusia. Esta gran erupción dio lugar a unas estructuras escalonadas conocidas como 'traps' en la zona donde estas erupciones volcánicas tuvieron lugar. Estas estructuras son las que a posteriori le han dado nombre a la propia provincia ígnea siendo más conocida actualmente como Traps Siberianos (Campbell *et al.*, 1992). Las erupciones volcánicas de los Traps Siberianos fueron por tanto las principales impulsoras tanto de la extinción de final del Pérmico como del consecuente

calentamiento global y por tanto del clima global, con sus correspondientes características, que se instauró en el mundo durante los 5 millones de años consecuentes a la extinción masiva que marca el límite entre el Pérmico y el Triásico.

La orografía de la Tierra en ese momento también contribuyó a que la situación se agravase. Como se puede observar en la Figura 1, en el Carniense las grandes masas continentales se encontraban ahora ya unidas entre sí conformando un gran supercontinente conocido como Pangea. Esta conformación provocó que a lo largo de toda la masa continental terrestre el clima fuera muy homogéneo, que hubiera gran estacionalidad y que además se produjera una gran diferencia climática entre las zonas costeras y el interior. Esta diferencia viene provocada por las grandes distancias entre costas, al estar estas separadas por la enorme masa continental, y por las escasas elevaciones en el interior. Estos factores generaron que las precipitaciones generadas en el mar no alcanzaran nunca las zonas más interiores del planeta y que, además, debido al poco rango de altitudes presente en el interior, tampoco se generaran excesivas precipitaciones en las zonas alejadas a la costa (Parrish, 1991; Fluteau, 2001; Kump, Bralower y Ridgwell, 2009).

Las extinciones de final del Pérmico provocaron también una disminución de las especies animales y vegetales del planeta. Esta disminución de especies vegetales debilitó los suelos y favoreció que se produjera un lixiviado por fenómenos de transporte de sedimentos bien por acción del viento, de la gravedad, de las lluvias o por cualquier otro (Algeo y Twitchett, 2010). Este lixiviado aumentó la cantidad de sedimentos provenientes de las masas de tierra en el mar.

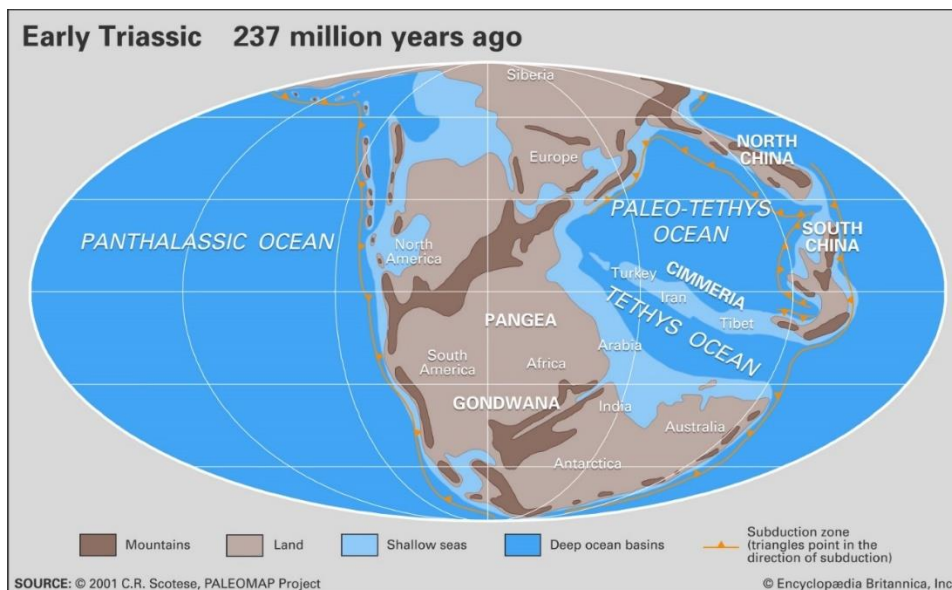


Figura 1.- Mapa de la distribución de masas de tierra, regiones montañosas, mares poco profundos, cuencas oceánicas de gran profundidad y zonas de subducción (proceso por el que una placa litosférica se hunde bajo otra placa continental u oceánica). Tomado de Logan (2020)

Así pues, tanto las erupciones masivas de los Traps Siberianos (y el aumento del efecto invernadero que provocaron) como las pocas precipitaciones interiores de Pangea y los procesos de lixiviado multiplicados por la escasez de masa vegetal llevaron a que el mundo alcanzara una aridez extrema y unas temperaturas extremadamente altas. Sin embargo, estas altas temperaturas y este ambiente de aridez no fueron las únicas consecuencias para el planeta. Las porciones más superficiales de las grandes masas de agua pasaron a presentar una importante situación de anoxia y a acumular grandes cantidades de ácido sulfhídrico (Payne y Clapham, 2012; Grice *et al.*, 2005; Hinojosa *et al.*, 2012). Además, también se conocen diferentes periodos, más cortos y esporádicos, de acidificación de los mares terrestres por motivos como la ya comentada lixiviación de sedimentos continentales (Algeo y Twitchett, 2010).

1.1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO PREVIO AL CPE

Todo esto es bien sabido en la actualidad gracias al estudio de las rocas y de los paleosuelos y al análisis de la composición de estos. Gracias al estudio geológico de las rocas de este periodo, se pueden saber las características climáticas y biológicas de una época histórica determinada y compararla con los periodos temporales cercanos. De esta manera, y dependiendo de cuantas muestras de rocas representativas de un periodo determinado encontremos, podemos dilucidar la situación climática de una época en concreto y conocer su duración y extensión geográfica.

Este periodo de extrema aridez del que hemos hablado tuvo unos orígenes y condiciones específicas, pero la prueba definitiva de su existencia está por tanto representada en las rocas.

Se han observado sedimentos con composición similar y pertenecientes al mismo periodo temporal por todo el planeta por lo que se puede determinar que esta situación de aridez extrema era generalizada a nivel global (Preto, Kustatscher y Wignall, 2010). Se ha observado una composición a base de suelos rojos (generalmente francos, aunque la textura de los suelos rojos puede ir desde arenas hasta arcillas) (Aigner y Bachmann, 1989) con evaporitas, sedimentos eólicos y la evidencia de estacionalidad extrema y rías y lagos efímeros. Estos suelos se crean ambientes cálidos y templados y presentan pocos nutrientes, humus y escasa retención de agua. Además, los restos pertenecientes a este tiempo también presentaban pocas formaciones rocosas moldeadas por acción del agua, lo cual también refuerza las descripciones climáticas de la época (Marcos y Frances, 1997).

Así pues, se puede concluir que la tendencia natural climática del planeta, las erupciones volcánicas masivas de los Traps Siberianos y la peculiar orografía de las masas continentales por el momento llevaron a que el planeta se enfrentase a las altas temperaturas, la extrema acidez, las escasas precipitaciones continentales, el abundante lixiviado de sedimentos fruto de la escasez de masa vegetal, la situación de anoxia en las grandes masas de agua, la presencia abundante de ácido sulfhídrico y la acidificación de las aguas. Todo esto, sumado a la gran

extinción Pérmico-Triásica, provocó que las especies vegetales y animales del planeta sufrieran un importante cambio y se redefinieran en los años posteriores.

1.1.3 CONTEXTO BIÓTICO PREVIO AL CPE

La biota existente fue enormemente alterada tras la extinción de final del Pérmico y el calentamiento global de los 5 millones de años posteriores a la extinción. Pero todavía mayor, si cabe, fue el cambio que sufrió a partir del Evento Pluvial del Carniense. Para comprender la situación climática durante y tras el CPE se ha comentado la situación climática previa al CPE. Para poder analizar correctamente la situación biótica del planeta por el CPE, hay que comprender igualmente la situación previa a este evento pluvial.

La gran cantidad de ácido sulfhídrico presente en el agua se vio evidenciada porque se detectó la presencia en el agua de bacterias verdes del azufre o Chlorobi (Grice *et al.*, 2005). Se trata de bacterias con la capacidad de realizar fotosíntesis anoxygenica (Bryant y Frigaard, 2006) y que por tanto tenían las condiciones idóneas para habitar en ese tipo de aguas anóxicas y ácidas. Los mares de la época estuvieron ampliamente dominados por especímenes de bivalvos como *Eumorphotis* (Fig. 2) o *Claraia*, de braquiópodos como *Lingularia* (Petsios y Bottjer, 2016) y, sobre todo, de microbios que conformaron diversas estructuras microbiales como son los estromatolitos (Fig. 2), o las conocidas como 'estructuras arrugadas' (o 'wrinkle structures', que son estructuras geológicas sedimentarias que por acción microbiana llegan a presentarse como estructuras con apariencia arrugada), según Baud, Richoz y Pruss (2007); Payne y Clapham (2012). Estas estructuras arrugadas siempre han supuesto un gran reto para la comunidad científica ya que a la hora de su identificación son fácilmente confundibles con lechos marinos que, debido a la acción de las mareas, presentan una estructura arrugada similar. Estos lechos marinos conservados, pese a tener una estructura similar a las asociaciones microbianas de las que estamos hablando, son mucho más abundantes y menos interesantes geológicamente que las 'wrinkle structure' (Hagadorn y Bottjer, 1997).

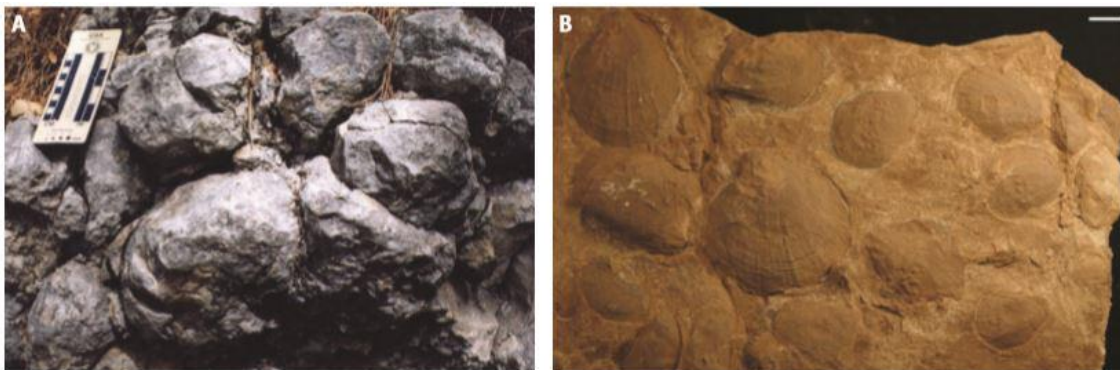


Figura 2.- Imágenes representando estructuras características de los océanos calientes de comienzos del Triásico. En la foto A se observan restos de estromatolitos encontrados en los Montes Tauro (Turquía). En la foto B encontramos restos de bivalvos del Triásico como *Eumorphotis* encontrados en el Monte Dixon

(Montana, EE. UU.). Ambos conjuntos de restos, de acuerdo con Sun *et al.*, (2012) son indicadores de un mar con altas temperaturas y bajo oxígeno (Bottjer, 2012).

En general era muy común, en las aguas poco profundas, la presencia de poca biodiversidad y de *taxa* cosmopolita con tamaños reducidos (Metcalf, Twitchett y Price-Lloyd, 2011; Payne y Clapham, 2012; Sun *et al.*, 2012). Existía poca presencia de bioturbación producida por la infauna (Payne y Clapham, 2012) (la infauna representa al conjunto de organismos bentónicos que habitan entre los sedimentos marinos removiéndolos y alterándolos para la formación de túneles o madrigueras) y, debido a la acidificación marina, también se vio comprometida la formación de arrecifes y la cantidad de corales presentes en los mares terrestres (Brayard *et al.*, 2011, Payne y Clapham, 2012; Marengo *et al.*, 2012). Las altas temperaturas también afectaron gravemente a las especies marinas de mayor tamaño. Los peces y reptiles marinos (como los *Ichthyosaurios*) se vieron desplazados a latitudes más altas para alejarse del mayor calor ecuatorial (Bojter, 2012). Este desplazamiento en busca de temperaturas menos agresivas también fue llevado a cabo por especies de briozoos (Powers y Pachut, 2008).

Los organismos que habitaban las masas continentales, al igual que los marinos, también se vieron afectados. Durante los 18 millones de años que transcurrieron entre la extinción de final del Pérmico y el comienzo del Evento Pluvial del Carniense, la situación climática de la tierra acarreó, entre otras cosas, que la amplia mayoría de las especies vegetales presentasen un tamaño reducido y una mayor cercanía al suelo (Looy *et al.*, 1999).

Las especies animales, al igual que las vegetales, destacaban por su pequeña estatura y tamaño reducido. Un mayor tamaño no era necesario para su supervivencia, ya que al presentar la vegetación tan poca altura y al ser las condiciones climáticas tan cálidas, un gran tamaño era, de hecho, contraindicado en este tiempo. Las principales especies animales, por importancia para esta investigación o por abundancia, se pueden englobar en Crurotarsi, Rhynchorasuria y Dicynodontia.

En un periodo convulso en el que los primeros dinosaurios aún estaban asentándose (Nesbitt *et al.*, 2013), encontraban gran competencia por parte del resto de grandes reptiles y por parte de grupos de reptiles con características semejantes a mamíferos. Así pues, encontramos a las especies del clado Crurotarsi (Nesbitt, 2011). Este grupo está formado por un conjunto de reptiles arcosauriformes que engloba a las especies del clado Archosauria y a todos sus subgrupos, como son Avemetatarsalia, subgrupo que incluye a los actuales pájaros y a sus parientes cercanos extintos (Benton, 1999), Pseudosuchia (incluyendo a los actuales cocodrilos y sus parientes cercanos extintos (Benton y Clark, 1988) y todos los miembros extintos de los clados Dinosauria y Pterosauria, entre otros. Además de los miembros de Archosauria, el clado

Crurotarsi también engloba a las especies presentes en otros grupos como los órdenes Phytosauria (Chatterjee, 1978) o Aetosauria (Parker, Stocker e Irmis, 2008, o como la familia Ornithosuchidae Von Baczko y Ezcurra, 2013).

Perteneciente a la familia Ornithosuchidae, se puede destacar el género *Ornithosuchus*. Se trata de un miembro extinto de Pseudosuchia (una de las principales divisiones de Archosauria) y se trata de un pariente muy cercano a los actuales cocodrilos. Su aspecto era muy similar al de algunos de los cocodrilos actuales, pero presentaba la capacidad de mantenerse y desplazarse sobre las patas traseras si lo requería. Se trata de uno de los principales carnívoros de este periodo (Walker, 1964).

En cuanto a los herbívoros, de gran importancia fue el orden Rhynchosauria. Se trataba de unos saurópsidos muy extendidos, con un cuerpo pequeño y rechoncho y con gran pico por boca. Estos reptiles habitaron el continente Pangea prácticamente en su totalidad y eran por tanto de gran importancia para el funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas de la época (Ezcurra, Montefeltro y Butler, 2016).

Finalmente, en este período encontramos también a importantes terápsidos. Therapsida es un orden de animales que se engloba a su vez en la clase Synapsida. Estos animales no pertenecen al grupo de los reptiles y se consideran muy cercanos a los actuales mamíferos. Tanto es así y tal es la semejanza en cuanto a organización muscular y ósea que son denominados también como protomamíferos o reptiles mamiferoides (Benoit *et al.*, 2016). Dentro de este conjunto de especies encontramos a los dicinodontes. El infraorden Dicynodontia presentaba una poderosa mandíbula con dientes reducidos, pero con un pico poderoso y cortante por boca.

Dentro de este grupo se encuentra, como género más representativo, al género extinto *Lystrosaurus* (Fig. 3). Las especies de este género presentaban, tal y como se observa en la Figura 3, una boca formada por dos dientes que usaban para alimentarse de especies vegetales a lo largo del planeta y se especula que presentaban una complexión fuerte y vigorosa. Todo esto, junto con sus escasas necesidades nutricionales y su capacidad de adaptación a distintos tipos de ecosistemas hace que fueran uno de los principales herbívoros de este tiempo y que se encontraran ampliamente extendidos por toda Pangea. Tal era su representación en prácticamente todos los ecosistemas y regiones a nivel global que sus restos fósiles se han empleado como indicadores para conseguir determinar la posición que mantenían los actuales continentes incluidos en el supercontinente Pangea (Elder, 2000).

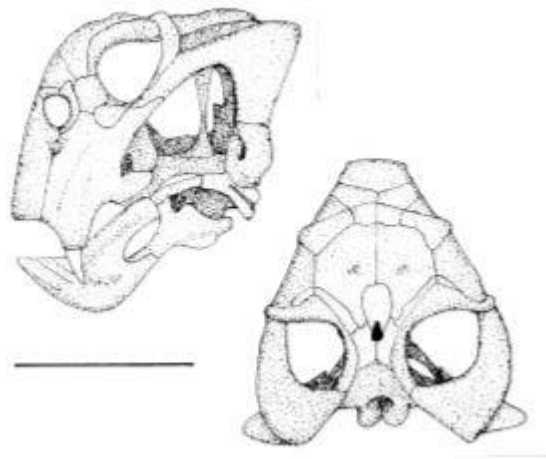


Figura 3. Representación de un fósil de cráneo de *Lystrosaurus*. Arriba a la izquierda en vista lateral y abajo a la derecha en vista dorsal. La línea de escala es de 10 cm de longitud. (Lucas, 1998).

2. ANTECEDENTES

Las primeras investigaciones sobre el Evento Pluvial del Carniense datan de finales de los años 80 y comienzo de los 90. Simms y Ruffell (1989) fueron de los primeros autores en publicar investigaciones sobre este evento. Ellos, sin embargo, no lo denominaron evento sino episodio. Esta puntualización es muy importante ya que en años posteriores ha existido mucha controversia sobre la duración de este fenómeno climático. Simms y Ruffell defendían que se trataba de un episodio fluvial con una duración prolongada en el tiempo, y durante el tiempo suficiente como para resultar determinante en acontecimientos posteriores. Fue Visscher (1994) quien, tratando de refutar esta teoría, acuñó el término Evento Pluvial del Carniense. La diferencia entre episodio y evento reside en que el segundo término habla de un acontecimiento puntual, que no se alargó suficientemente en el tiempo y no tuvo suficiente importancia como para determinar las épocas futuras.

A partir de esta fecha muchos investigadores comenzaron a hablar de Evento Pluvial del Carniense más que de Episodio pluvial del Carniense (Ruffell, Simms y Wignall, 2015). Esta preferencia por el término evento no representaba un posicionamiento en la batalla sobre la duración e importancia de este acontecimiento, sino que era usado indistintamente del pensamiento del autor en ese aspecto (Arche y López-Gómez, 2014; Xu *et al.*, 2014). Muchos fueron, de hecho, los que llegaron a atribuir el término Evento Pluvial del Carniense a Simms y Ruffell y a considerarlo el término original, pese a no ser así (Roghi *et al.*, 2010).

Otros términos empleados para referirse a este suceso climático son Crisis del Carniense (Shi *et al.*, 2010) o Intermezzo húmedo (Kozur y Bachmann, 2010). También encontramos autores que no se deciden por ningún término en concreto y han aportado información de este suceso sin llegar a nombrarlo (Hornung, Krystyn y Brandner, 2007) (Tabla 3).

Simms y Ruffell han tratado durante mucho tiempo de aclarar que ellos consideran que fue un episodio más que un evento, pero las falsas atribuciones, el empleo más frecuente del término 'evento' y la posible confusión que genera que tanto Evento Pluvial del Carniense como Episodio pluvial del Carniense compartan las mismas siglas en inglés (CPE), han provocado que Evento Pluvial del Carniense sea el término más utilizado en la actualidad y el que más comúnmente se asocia a las siglas 'CPE'.

A lo largo de este trabajo se emplea indistintamente el término episodio y el término evento para hacer referencia al CPE. No se tiene en cuenta que cada uno de los términos otorgue una duración e importancia distintas al CPE y ambos términos se emplean aquí como sinónimos.

3. OBJETIVOS

Los objetivos que se quieren conseguir con este trabajo son tres principalmente. El primero de ellos y punto central de este proyecto de investigación es lograr explicar de manera comprensible y entendible el fenómeno conocido como CPE o Evento Pluvial del Carniense, así como sus causas y consecuencias asociadas.

Estas consecuencias pasan principalmente por un cambio climático, una gran extinción asociada y, sobre todo por su gran importancia para este trabajo, la diversificación de los dinosaurios. Así pues, el segundo objetivo pasa por tratar de explicar estos sucesos, principalmente el Evento de dispersión de los dinosaurios (DDE) o y establecer uniones lógicas entre ellos y el CPE.

Por último, el tercer gran objetivo de este trabajo es, centrándonos en el gran cambio climático que significó el CPE, tratar de establecer equiparaciones con el cambio climático global actual. De esta manera se tratarán de vislumbrar posibles consecuencias del cambio climático actual a partir de las conocidas consecuencias que tuvo a nivel global el CPE.

4. METODOLOGÍA

Al tratarse de una revisión bibliográfica y un consecuente estudio bibliométrico, la metodología a seguir en este trabajo ha ido en consonancia con las características especiales de este tipo de proyectos. Así pues, el método de trabajo ha consistido en el empleo de bases de datos como son 'Scopus', 'Scimedirect' o 'Pubmed'. Las bases de datos son importantes lugares de recopilación de información como es la requerida para este trabajo.

La búsqueda en estas bases de datos ha consistido en la realización de cadenas de búsqueda con términos como 'Carnian', 'Carnian pluvial Event', 'Carnian pluvial Episode', 'CPE', 'Dinosaur Dispersion Event', 'DDE', 'current', 'Climate change' o 'extinction'. Las búsquedas han sido realizadas empleando los correspondientes conectores lógicos como 'OR' o 'AND', para realizar búsquedas múltiples simultáneas o para unir conceptos.

Para el estudio bibliométrico se han empleado las mismas bases de datos y en ellas se ha arrojado la búsqueda ‘Carnian Pluvial Event’. Se han recogido las referencias obtenidas, se han eliminado aquellas que estuvieran duplicadas y se han organizado y analizado con ‘Mendeley’. ‘Mendeley’ es un gestor bibliográfico que te permite, a partir de un listado de referencias, realizar una organización de estas por año. Esta lista ordenada se ha transferido posteriormente a Excel, donde se ha realizado un gráfico para una mejor comprensión y análisis de los datos.

5. PLAN DE TRABAJO

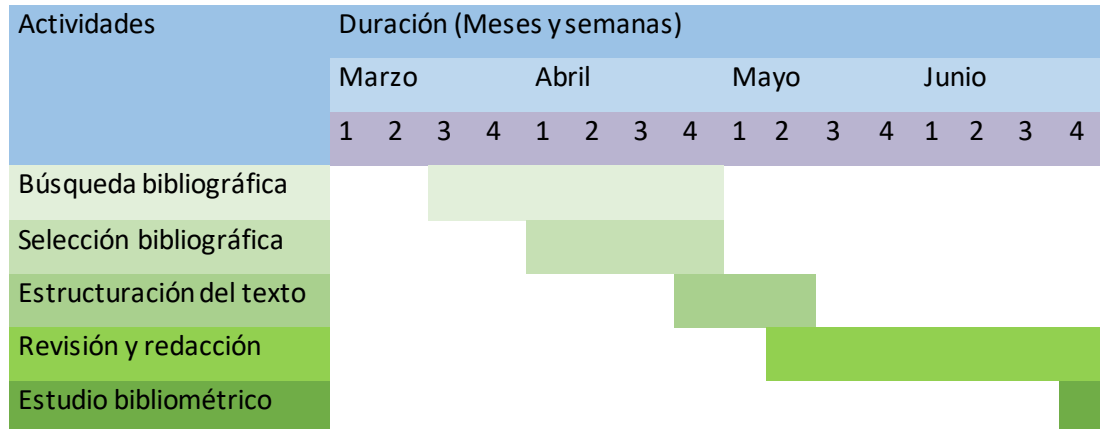


Tabla 2.- Cronograma representando el plan de trabajo seguido para la realización de las actividades de este Trabajo de Fin de Grado.

6. RESULTADOS

6.1 EVENTO PLUVIAL DEL CARNIENSE O CPE

Tras las alteraciones que la extinción masiva del final del Pérmico provocó, y la nueva realidad climática, geológica y biótica que llegó con ella, el planeta entró en un período de poca alteración climática. Se había instaurado de forma generalizada una situación protagonizada por altas temperaturas, extrema aridez, escasas precipitaciones y elevada acidez de las aguas. Muchas especies no lograron adaptarse a esta situación y acabaron extinguiéndose irremediamente, pero alguna de ellas, como el género *Lystrosaurus* sí que pudo aprovechar esta situación, y la escasa presencia de grandes carnívoros, para adaptarse y expandirse extensamente de manera global. Sin embargo, fue en el periodo conocido como Carniense cuando esta realidad que se había mantenido constante durante millones de años se vio alterada. La razón de esto fue el Evento pluvial que tuvo lugar en el Carniense.

Este evento pluvial tuvo lugar a nivel global y constó de inundaciones continuas anuales durante hasta 2 millones de años (Benton, Bernardi y Kinsella, 2018). Este evento climático, siendo de tan gran magnitud, tuvo importantes efectos en la totalidad de los ecosistemas del planeta. Esto se debe a que, no solo se trató de una anomalía climática de mayúscula importancia, sino que, además, la situación de la Tierra previa a este evento era diametralmente opuesta a la situación que hubo una vez comenzado este evento.

Ese brusco paso de un ambiente global extremadamente árido a uno enormemente húmedo hizo que el Evento Pluvial del Carniense tuviese todavía mayor importancia. La alteración que sufrieron los ecosistemas del planeta llevó a que muchas especies vegetales y animales presentes hasta el momento, ahora se vieran extintas o reducidas en importancia y distribución (Benton, 1983; Ezcurra *et al.*, 2017; Bernardi *et al.*, 2018; Langer, Ramezani y Da Rosa, 2018; Benton, Bernardi y Kinsella, 2018). Con cada extinción se produce posteriormente también la aparición, dispersión o expansión de otras especies animales y vegetales. Éstas pasan a ocupar los nichos anteriormente ocupados por las especies ahora ya extintas. En este caso no fue una excepción, es más, tan brusco fue el cambio de clima que se produjo que la expansión de alguna de estas especies fue mucho más mayúscula de lo habitual. El caso más notorio es el de las especies de la clase Sauropsida, clase a la cual pertenecían, entre otros, los integrantes del superorden Dinosauria.

6.1.1 EVIDENCIAS DE LA EXISTENCIA DEL CPE

Al igual que algunos determinados niveles sedimentarios rojos identificados como paleosuelos resultaron ser una de las principales evidencias de la existencia de un clima extremadamente árido posterior a la extinción del Pérmico, el análisis de los sedimentos también ha llevado a comprobar que algo había cambiado a mediados del Carniense. Junto a la sedimentología encontramos otras pruebas que nos confirman en mayor o menor medida la existencia de este evento húmedo. Algunas de estas son la variación en los niveles de isótopos de carbono y de oxígeno, el estudio paleontológico de los restos fósiles preservados, la palinología (rama que se encarga de estudiar el polen y las esporas tanto vivas como fósiles (Havinga, 1966) o la geoquímica y geocronología basada en el análisis de Renio y Osmio (RE-OS) (Shirey y Walker, 1998).

Los expertos observaron que, en las sucesiones posteriores a las capas finas de sedimentos rojos pertenecientes a un ambiente cálido y seco, había muestras de un ambiente mucho más húmedo. Estas muestras se presentaban de distinta manera, pero señalaban que durante alrededor de 2 millones de años las precipitaciones fueron mucho más abundantes que antes. Además, y aunque se viera representado de tantas maneras diversas, este fenómeno se observaba a nivel global y por tanto no parecía indicar que se hubiera podido tratar de inundaciones aisladas e independientes, sino de un fenómeno que afectó a todo el planeta al mismo tiempo durante un largo periodo de tiempo.

En la Tabla 3 se recogen las principales investigaciones que aportaron información que pudiera servir como evidencia para probar la existencia del Evento Pluvial del Carniense y describir su duración y alcance, pero fueron Simms y Ruffell (1989), quienes, primeramente, abordaron el tema y comenzaron a investigar sobre el mismo. Ellos observaron que los

sedimentos compuestos por rocas evaporíticas, eran interrumpidos por areniscas de origen fluvial con bases erosivas y un alto ratio de caolinita/illita (Jeans, 1978; Simms y Ruffell, 1990) (tanto la caolinita como la illita son minerales filosilicatos y un amplío ratio caolinita/illita o K/I es señal de condiciones húmedas y cálidas durante este intervalo (Simms y Ruffell, 1989; Rostási, Rausick y Varga, 2011)). Además, observaron un aumento de los componentes clásticos, o detríticos, de las secuencias marinas, fenómenos kársticos subterráneos y un extremo decremento en los niveles de $\delta^{13}\text{C}$ (Simms y Ruffell, 1990; Dal Corso *et al.*, 2012). El $\delta^{13}\text{C}$ (o ‘delta c trece’) es un marcador isotópico utilizado para medir la proporción en partes por mil entre los isótopos de Carbono-13 y los de Carbono-12 (Libes, 2012). Es frecuentemente usado en investigaciones arqueológicas y paleontológicas ya que analizar el $\delta^{13}\text{C}$ de un periodo concreto ayuda a determinar cuál era la situación biológica del planeta en ese momento. Así pues, un incremento de $\delta^{13}\text{C}$ suele ser indicativo de que más Carbono-12 se encuentra encerrado en las plantas y que por tanto estas especies vegetales están pasando por un estado de mayor tranquilidad climática. Una disminución de $\delta^{13}\text{C}$, como la observada en este caso, nos muestra de hecho el caso contrario y nos indica que se produce una gran liberación de carbono a la atmósfera por parte de las plantas fruto de una gran inestabilidad climática y de la extinción en masa de muchas especies vegetales (Bender, 1971; Tu *et al.*, 1999; Dal Corso *et al.*, 2012).

Author(s)	Date	Key evidence	Key conclusions	Terminology
Arche & Lopez-Gomez	2014	Sedimentology, Iberia	Support for a Carnian humid episode, they termed an ‘event’	Used Carnian Pluvial Event
Dal Corso <i>et al.</i>	2012	C and O isotopes, Italy	Association of the Carnian Humid Episode, linked to Wrangellia LIP	Used Carnian Pluvial Event
Hornung, Krystyn & Brandner	2007	Sedimentology and C/O isotopes, Himalayas	Carbonate productivity ceased, associated with the Reingraben Event	Avoided use of the Carnian event
Kozur & Bachmann	2010	Review of Germanic basins Sedimentology	Supported a prolonged period of Carnian humidity	Termed the episode ‘intermezzo’
Nakada <i>et al.</i>	2014	Pelagic dust composition, Japan	Increased Carnian precipitation in Panthalassa	Used Carnian Pluvial Event
Prochnow <i>et al.</i>	2006	Palaeosols, Utah (USA)	Chinle Formation inceptisols show humid climates Pangaeon rifting	Used global pluvial episode
Rigo <i>et al.</i>	2007	Conodont preservation, Italy	Rise in the CCD related to the Carnian Humid Episode	Used Carnian Pluvial Event
Roghi	2004	Palynology, Italy	Pollen show Carnian humid climates	Used Carnian Pluvial Event
Rostasi, Rausick & Varga	2011	Clay minerals, Hungary	Clays show a change to humid Carnian climates	Used Carnian humid phase
Shi <i>et al.</i>	2010	Carbonate sedimentology, SW China	Carbonate production ceases in the Carnian	Used Carnian Crisis
Simms & Ruffell	1989	Sedimentology & palaeontology	Linked humidity to extinctions	Used Carnian Pluvial Episode
Visscher <i>et al.</i>	1994	Germanic basins pollen	Carnian Nile type river	Introduced ‘Carnian Pluvial Event’
Xu <i>et al.</i>	2014	Re-Os geochemistry, Svalbard	Carnian Humid Episode linked to Wrangellia LIP	Used Carnian Pluvial Event

Tabla 3.- Recopilación de las principales publicaciones en apoyo a la teoría del CPE propuesta por Simms y Ruffell (1989). (Ruffell, Simms y Wignall, 2015)

Todos estos datos ya mostraban indicios de la existencia de un periodo de aumento de la humedad, lluvias continuadas, cambio climático y extinción masiva. Sin embargo, la información

recopilada y explicada por Simms y Ruffell (1898) no abarcaba información a nivel global y, por tanto, pese a que podía aceptarse que efectivamente en las regiones estudiadas se produjo esta alteración climática y este aumento pluvial, no fue tan comúnmente aceptada la teoría de que este fenómeno se hubiese producido a escala global y durante un largo periodo de tiempo. Muchos investigadores coetáneos y posteriores adoptaron una posición contraria a la de los dos científicos ingleses argumentando que sus investigaciones indicaban que en regiones concretas se habían producido fuertes inundaciones durante un espacio de tiempo reducido y que, por tanto, debido a la escasa extensión espaciotemporal del suceso, no podía tratarse el mismo como un verdadero cambio climático ni como la causa de una extinción masiva (Visscher *et al.*, 1994).

Fueron otros tantos autores más los que, por el contrario, apoyaron esta teoría con diversa información recogida de distintos lugares del mundo (Tabla 3). Esta información indicaba que ciertamente sucesos pluviales parecidos habían tenido lugar en regiones muy alejadas entre sí, con intensidad similar, en el mismo periodo de tiempo y abarcando la misma duración aproximada.

Se hallaron restos de bosques de carbón en Austria (Preto, Kustatscher y Wignall, 2010). Estos bosques eran amplias extensiones pantanosas, que fueron muy abundantes durante el carbonífero y aparecían solo en condiciones de elevada humedad y precipitaciones abundantes. A medida que los organismos vegetales que habitaban estos grandes pantanos iban muriendo, los restos que quedaban presentes se convertían en turba y posteriormente la turba pasaba a conformar carbón vegetal. Esto se comprobó gracias al estudio de material vegetal fosilizado, generalmente proveniente de gimnospermas (Pott, Krings y Kerp, 2008) y a estudios palinológicos. Pese a que las investigaciones iniciales no relacionaban específicamente esta existencia de ambientes húmedos con el Evento Pluvial del Carniense, investigaciones posteriores (Roghi *et al.*, 2010) si demostraron la relación entre la existencia de estos bosques y el gran evento húmedo que tuvo lugar en el Carniense. Además, encontraron evidencias de condiciones similares en cuencas germánicas y noreuropesas (Kozur y Bachmann, 2010), en Svalbard y el mar de Barents (una porción del océano Ártico) (Xu *et al.*, 2014), en el norte de Iraq, en Túnez, Israel e Irán (Brugman y Visscher, 1988; Buratti y Cirilli, 2007).

En Italia se encontraron evidencias de la existencia de antiguos lagos mediante el estudio de palinomorfos (Roghi, 2004; Kustatscher, van Konijnenburg-van Cittert y Roghi, 2010). Los palinomorfos son pequeñas estructuras microscópicas de origen animal o vegetal y compuestas por esporopoleina, disnoporina y compuestos similares (Van Geel, 2002). Estas estructuras son muy abundantes en rocas sedimentarias y son resistentes a la mayoría de los procedimientos agresivos de extracción y análisis de restos de polen que la palinología emplea para realizar

determinaciones paleoclimáticas y geográfica (Roghi, 2004). Estos indicadores de humedad se encontraron también en regiones de Estados Unidos (Litwin, Traverse y Ash, 1991), China (Ji y Meng, 2006) y Noruega (Hochuli, Colin y Vigran, 1989). Estas investigaciones llevadas a cabo en la región norteña italiana de Cave del Predil, vinieron acompañadas por otras investigaciones, llevadas a cabo en la misma región, que indicaban una disminución en los niveles de $\delta^{13}\text{C}$ y por tanto reforzaban la existencia de un ambiente húmedo en esta zona.

La costa este de los Estados Unidos ha tenido históricamente muchas analogías paleoclimáticas con las cuencas germánicas y noreuropeas y con el desarrollo del evento pluvial en ellas (Olsen y Kent, 1999). La costa oeste, en cambio, siempre ha sido una mayor incógnita y las pruebas de un clima húmedo más escasas. Se hallaron pruebas del CPE anteriormente (Dubiel *et al.*, 1991) pero no hubo consenso hasta las investigaciones de Prochnow (2006), las cuales demostraron evidencias del CPE en paleosuelos de Utah correspondientes al Carniense. El investigador llevó a cabo un análisis de los suelos mediante metodología multi-proxy. Esta metodología consiste en el estudio de las dinámicas de los ecosistemas mediante análisis de cambios en registros fósiles y características sedimentarias (Birks y Birks, 2006). Estos estudios mostraron datos de precipitaciones, temperatura, concentraciones de carbono y formaciones vegetales concordantes con la entrada de un ambiente húmedo como que el que el CPE representa. Por ejemplo, en Utah se ha comprobado que las precipitaciones anuales pasaron de 300-400 mm anuales a 1200-1400 mm anuales y posteriormente volvieron a disminuir a 400-600 mm anuales (Prochnow *et al.*, 2006), o, dicho de otra manera, de ser considerado un lugar semiárido a uno húmedo de acuerdo con las clasificaciones climáticas que se realizan según las precipitaciones (Bull, 1991). Datos similares se pueden encontrar en diferentes lugares del planeta.

Los estudios en la península ibérica también fueron de extrema importancia. En análisis de la Formación de areniscas de Manuel (Ortí, 1973), datadas como del Triásico Superior, y la búsqueda de evidencias por toda la península (De Torres, 1990; Arche, López-Gómez y García-Hidalgo, 2002; Alba, 2007) llevó a la observación de redes fluviales radiales y sedimentos clásticos localizados entre capas de evaporitas (Arche y López-Gómez, 2014). Estas pruebas de la existencia de un tiempo en el que un evento pluvial tuvo lugar sirvieron además para establecer esquemas de correlación entre la región suroeste de España y Portugal, encontrar condiciones similares en el norte de África y terminar de establecer concordancias entre las cuencas germánicas y la costa este norteamericana (Arche y López-Gómez, 2014).

Esto son solo alguno de los puntos de mayor importancia, pero las evidencias de la existencia de un episodio, que tuvo lugar en una época de extrema aridez y que, durante aproximadamente dos millones de años, consistió en un aumento de la humedad y las precipitaciones a nivel global,

continúan. En Hungría (Rostási, Raucsik y Varga, 2011, Haas *et al.*, 2014), Eslovenia (Kolar-Jurkovšek y Jurkovšek, 2010), Israel (Druckman, Hirsch, Weissbrod, 1982; Magaritz, Druckman, 1984; Bialik, Korngreen, Benjamini, 2013), los Himalayas indios (Hornung, Krystyn, Brandner, 2007), Indonesia (Martini *et al.*, 2000), Argentina (Tabor *et al.*, 2006), Chile (Nielsen, 2005) o Japón (Nakada *et al.*, 2014), entre otros sitios, se han encontrado pruebas de gran importancia y las investigaciones en estos y en otros puntos del planeta continúan.

En lugares como el norte siberiano, la Antártida y regiones de Sudamérica y China aún no se han hallado indicadores claros de un clima húmedo y por tanto continuar investigando estas zonas es una necesidad, ya que, aunque la globalidad del evento ya no está en entredicho, desenmascarar y resolver las dudas que algunas sucesiones todavía nos dejan es el camino por seguir para que la extensión y duración de este evento, y, por correlación, la importancia de este quede totalmente clarificado.

6.1.2 ORIGEN Y FINAL DEL CPE

Una vez otorgados los argumentos que defienden la existencia del CPE y habiendo estimado su duración y extensión espacial, se puede pasar a comentar cómo este fenómeno ocurrió y que acontecimientos lo originaron. El origen de un episodio como el tratado en este trabajo es difuso. Se trata de un acontecimiento que significó un importante cambio en el clima que había hasta el momento, y en el clima posterior al susodicho evento, y con un alcance global y unas consecuencias y alteraciones geológicas, climáticas y biológicas mayúsculas.

Es por esto por lo que el origen del evento aún no está determinado completamente, pero hay evidencias que permiten conjeturar posibles causas. Como en prácticamente todos los procesos naturales de tal magnitud, no es una sola causa la desencadenante de este acontecimiento, pero sí que hay agentes impulsores que jugaron un papel más importante a la hora de que el evento tuviese lugar.

Principalmente se atribuye el origen del CPE a fenómenos volcánicos. La posibilidad de que el vulcanismo jugase un rol importante en el origen del CPE se ha comentado desde las primeras investigaciones (Simms y Ruffell, 1989, 1990; Simms, Ruffell y Johnson, 1994) y poblaciones posteriores también han encontrado evidencias de rocas volcánicas en sucesiones datadas en el Carniense en Indonesia (Martini *et al.*, 2000), Sudamérica (Tabor *et al.*, 2006) y la península Ibérica (Arche y López-Gómez, 2014). Sin embargo, estas pruebas, no presentaban una concordancia temporal y espacial suficiente como para ser definitivas. Fue posteriormente cuando se encontró una relación clara entre el Evento Pluvial del Carniense y la Gran Provincia Ígnea (LIP por sus siglas en inglés) de Wrangellia (Greene, Scoates, Weis, 2008) (Figura 4). Una LIP es una gran acumulación de rocas ígneas surgidas del viaje del magma hacia la superficie y en concreto está localizada en la región noreste del océano Pacífico, cerca de la costa oeste

canadiense. Se observó que esta gran provincia ígnea estaba relacionada con una oscilación negativa de isótopos de carbono y consecuentemente con un período de cambio climático. El calentamiento global producido por la actividad volcánica podría haber aumentado la evaporación de los océanos Tethys y Pantalasa (Figura 4) y haber generado tormentas anticiclónicas que habrían colmado de humedad toda Pangea. Esta conservación de la humedad en Pangea durante tanto tiempo viene explicada por la misma razón por la que la extrema aridez se había instaurado anteriormente, y es que la especial orografía de Pangea permitía que existieran diferencias climáticas entre las costas y las zonas internas y que las escasas elevaciones provocaran estabilidad climática en el interior.

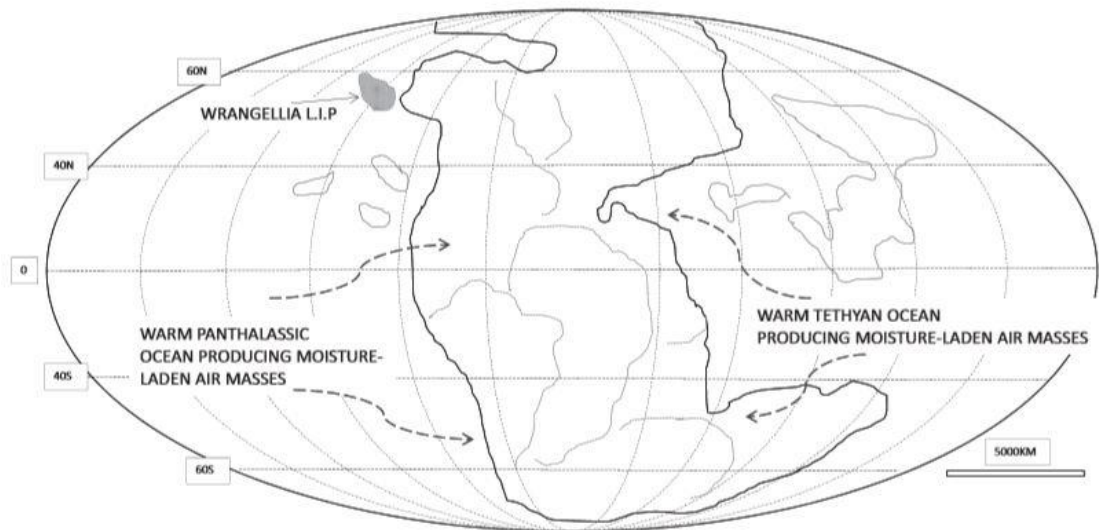


Figura 4.- Modelo de como el calentamiento de los océanos fruto de las erupciones de la LIP de Wrangellia puede haber provocado un aumento de las precipitaciones en muchos de los lugares estudiados. (Ruffell, Simms y Wignall, 2015)

Las erupciones de Wrangellia duraron 5 millones de años (Dal Corso *et al.* 2012) y una vez fueron remitiendo la situación a nivel global se estabilizó. Las grandes lluvias provocadas por la aceleración de los ciclos del agua gracias al aumento del calor, y la humedad reinante en el planeta disminuyeron y dieron paso de nuevo a un ambiente mucho más árido. Parte de la culpa de que el evento pluvial no se extendiera mucho más allá de los 2 millones de años de duración fue el cese de la actividad de la LIP de Wrangellia y parte la tuvo la gran capacidad que presente el planeta de, una vez que se han estabilizado las emisiones, retener carbono atmosférico en vegetales y suelos retornar a estados climáticos anteriores.

6.2 CONSECUENCIAS BIÓTICAS DEL CPE Y RELACIÓN DEL CPE CON LA EXTINCIÓN MASIVA DEL CARNIENSE Y EL ORIGEN DE LOS DINOSAURIOS

Las precipitaciones y temperatura que había en el planeta durante el CPE provocaron grandes extinciones, pero también la aparición de importantes masas vegetales capaces de retener este

carbono y regular el clima reinante y, pese a que, en una escala de tiempo geológica, la duración del CPE no fue excesivamente extensa sí que resultó de vital importancia y sus consecuencias definieron las épocas posteriores.

Pese a que los efectos concretos del CPE aún están en discusión el principal hecho que se le atribuye al evento pluvial es haber sido el acontecimiento que impulsó la dispersión y diversificación de los dinosaurios (Benton, Bernardi y Kinsella, 2018). Hasta el momento el mundo, como ya hemos comentado, estaba gobernado por especies pertenecientes a grupos como Crurotarsi, Dicynodontia o Rhynchosauria, pero se ha comprobado que durante, y tras, la consecución del CPE el número de representantes de estos grupos filogenéticos se vio, de acuerdo con el registro fósil, enormemente disminuido llegando incluso a su desaparición. Por el contrario, los miembros del orden Dinosauria vieron su presencia e importancia aumentada sustancialmente en los tiempos coincidentes y posteriores al CPE.

6.2.1 RELACIÓN ENTRE EL CPE Y EL ORIGEN DE LOS DINOSAURIOS

El origen de los dinosaurios puede deberse a diversos motivos y no necesariamente tiene porque ser un acontecimiento ligado al Evento Pluvial del Carniense o a la extinción de las criaturas que anteriormente gobernaban la Tierra. Sin embargo, son varias las investigaciones que si establecen estas coincidencias.

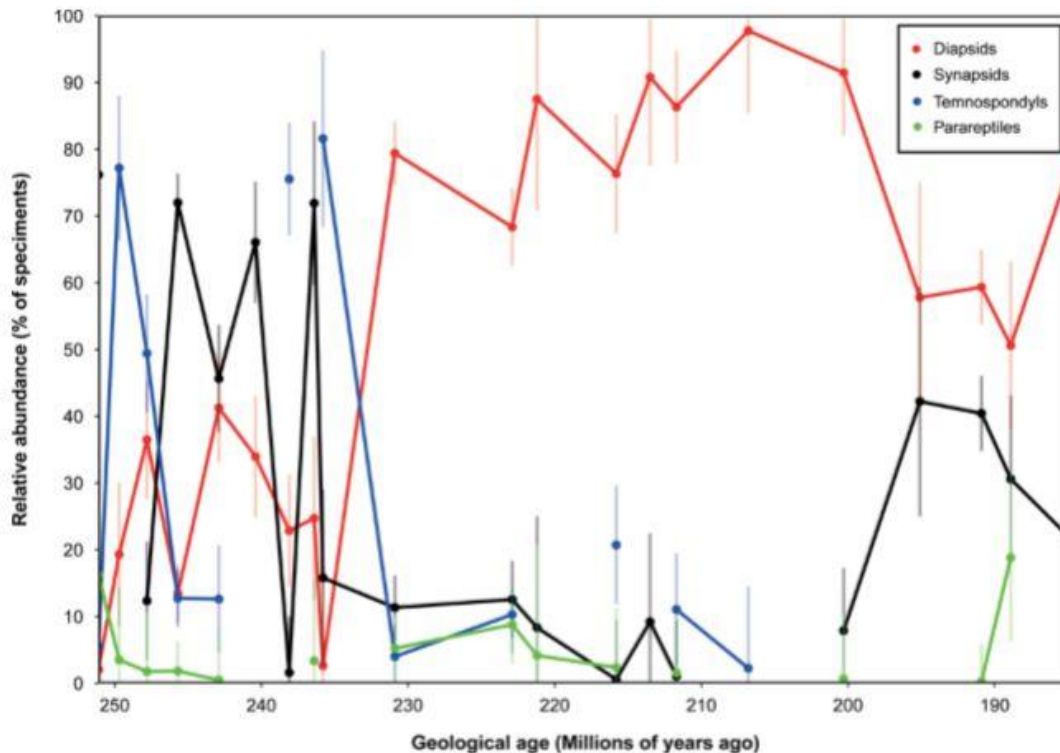


Figura 5.- Gráfica representando las abundancias relativas de los clados de tetrápodos claves durante el Triásico. Datos basados en conteo de colecciones faunales individuales de gran riqueza. Los pararreptiles (verde) muestran siempre abundancias relativas bajas; los temnospondiles (azul) eran muy abundantes en el Triásico inferior y decayeron tras el final del Triásico; los sinápsidos (negro) muestran gran

abundancia en el Triásico medio, una caída al final del Triásico y una subida ya en el Jurásico y los Arcosauros (rojo) mostraban niveles relativamente bajos en el Triásico inferior y medio pero su abundancia llegó a niveles de 60-100% a mediados del Carniense (hace unos 230 millones de años). (Benton, Bernardi y Kinsella, 2018).

Teniendo en cuenta que el CPE está datado aproximadamente en torno a hace 232 millones de años, se puede determinar una relación entre el CPE, la disminución en abundancia de ciertos grupos de animales y la explosión de otros como los dinosaurios.

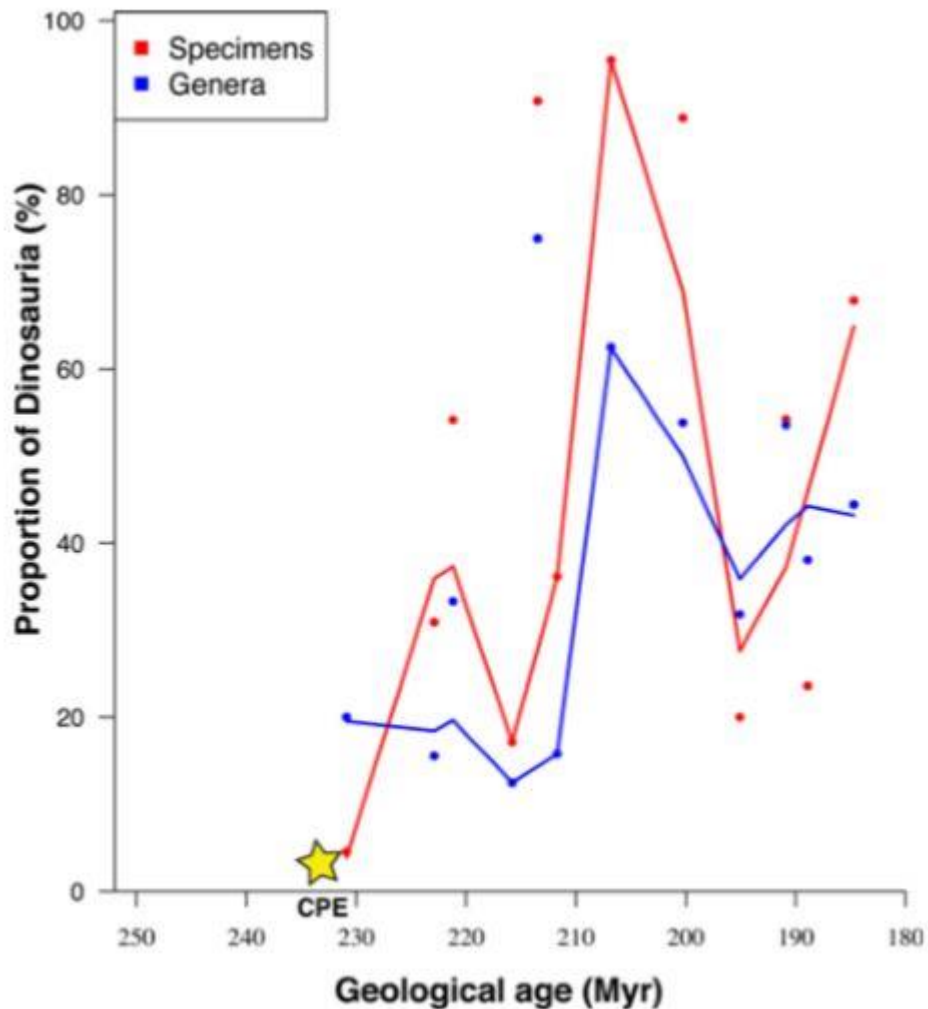


Figura 6-. Gráfica mostrando la proporción de especímenes y géneros de dinosaurios sobre el total de tetrápodos durante el Triásico. Se muestra una rápida subida en el Carniense coincidiendo con el CPE. (Benton, Bernardi y Kinsella, 2018)

Parece por tanto evidente, con los datos aportados en las Figuras 5 y 6, que existe cierta relación entre el CPE, la extinción masiva de algunos grupos de animales a mediados del Carniense y la explosión de otros como los dinosaurios. Sin embargo, y pese a que tanto la existencia del CPE como la del DDE (Evento de dispersión de los dinosaurios, en sus siglas en inglés) parecen evidentes, la relación entre ambos acontecimientos continúa en entredicho y es

necesario analizar las fechas específicas en las que ambos eventos tuvieron lugar y la relación causal entre ambos (Benton, Bernardi y Kinsella, 2018).

El origen y dispersión de los dinosaurios ocurrió en varias etapas. Restos de pisadas del posible primer dinosaurio, *Nyasasaurus parringtoni*, fueron encontrados en la sierra de la Santa Cruz en Polonia (Nesbitt *et al.*, 2013) y restos de *Asilisaurus*, un miembro de un grupo cercano a Dinosauria llamado Silesauridae, fueron encontrados en la Formación de Manda, una formación geológica Triásica de Tanzania (Nesbitt *et al.*, 2010). También se encontraron restos de huellas en Italia, Alemania y Argentina (Lockley y Meyer, 2000) que confirman la existencia de dinosauriomorfos y posibles dinosaurios en el Triásico medio. Sin embargo, los primeros restos completamente catalogados como restos de dinosaurios se encontraron en la Formación de Ischigualasto (Argentina) y se datan entre hace 231.4 ± 0.3 y 225.9 ± 0.9 millones de años (Martinez *et al.*, 2011). Se han encontrado también restos de dinosaurios, datados en épocas similares, en Brasil (Langer, Ramezani y Da Rosa, 2018), India (Novas, 2010) o Zimbabue (Langer *et al.*, 2010).

Estas primeras especies de dinosaurios eran de tamaño reducido, generalmente no superaban los 6 m de longitud (Benton, 1983; Brusatte *et al.*, 2010), y no eran muy abundantes. Los fósiles encontrados indican que estas especies no llegan a representar normalmente ni tan solo el 5% del total de especímenes con los que compartían hábitats (Benton, 1991). El aumento en tamaño y representación de los dinosaurios ocurrió a posteriori durante el llamado DDE o Evento de dispersión de los dinosaurios (Bernardi *et al.*, 2018). Tras este verdadero origen de los dinosaurios, estos, de acuerdo con sus fósiles, pasaron a ostentar un mayor tamaño, de más de 10 m de longitud en muchos casos y a representar hasta el 90% de los especímenes de sus hábitats (Bernardi *et al.*, 2018). Apoyando este verdadero origen de los dinosaurios encontramos pruebas fósiles en Australia (Thulborn, 1998), Sudáfrica (Raath *et al.*, 1990) Marruecos (Lagnaoui *et al.*, 2012) y en las formaciones de Los Rastros (Marcisano, Domnanovich y Mancuso, 2007) e Ischigualasto (Martinez *et al.*, 2011), ambas en Argentina. Pese a que algunos autores consideraron que este origen de los dinosaurios se produjo abruptamente (Benton, 1983), ahora sabemos con casi total seguridad que fue un proceso que sucedió entre hace 228 y 232 millones de años (Benton, Bernardi y Kinsella, 2018).

El CPE está considerado que tuvo una duración de 2 millones de años y abarcó entre hace 234 y 232 millones de años (Roghi *et al.*, 2010; Dal Corso *et al.*, 2015). Esto haría que el final del CPE coincidiera con el comienzo del DDE y, por tanto, podríamos establecer una relación causal entre ambos eventos (Benton, Bernardi y Kinsella, 2018). Esto significaría que, tras la finalización del CPE y el retorno de las condiciones climáticas globales a ambientes más áridos y menos húmedos, los dinosaurios serían los principales beneficiados de estas nuevas condiciones y de

las grandes extinciones de plantas y herbívoros que habrían tenido lugar, expandiéndose ampliamente desde Sudamérica hasta el resto de los continentes.

Sin embargo, en tiempos recientes se ha producido cierta controversia en cuanto a la verdadera duración del CPE y por tanto a la relación de causalidad entre el CPE y el DDE. Estudios de las oscilaciones de isótopos de carbono en el suroeste de Reino Unido parecen indicar que la duración del CPE no fue de 2 millones de años sino de 1.09 millones de años (Miller *et al.*, 2017). Esto, de demostrarse real, y, pese a que no resta importancia al evento pluvial en sí ni a su origen, características o consecuencias, sí que supondría que el CPE y el origen de los dinosaurios no coincidirían en tiempo y por tanto su relación causal se vería en entredicho. Por tanto, es preciso que las investigaciones continúen con el fin de obtener resultados para tratar de dilucidar la relación entre ambos acontecimientos.

6.2.2 RELACIÓN ENTRE CPE, DDE Y LA EXTINCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESPECIES PRE-CPE

En cuanto a la relación de la extinción masiva de los clados de mayor importancia pre-CPE con el propio CPE y con el DDE se ha generado también mucha controversia en cuanto a que papel jugaron realmente los dinosaurios en este hecho. Muchas investigaciones tratan de dilucidar si fue un fenómeno competitivo basado en la postura corporal y capacidades de predatorias de los dinosaurios (Bakker, 1972; Charig, 1972) o si, por otro lado, fue oportunista (Benton, 1983, 1986, 1991). La respuesta parece estar en el cambio climático como tal y lo que él conllevó.

Las condiciones climáticas habían virado drásticamente y con este viraje las comunidades vegetales se habían visto alteradas (Simms y Ruffell, 1989, 1990). La escasa vegetación compuesta por especies arbustivas de escaso tamaño y muy pegadas a la tierra (Looy *et al.*, 1999) habían servido de alimento para las especies de herbívoros que habitaban la tierra en el árido mundo previo del CPE. El tamaño reducido de las especies de Rhynchosauria no suponía ningún impedimento para que estas especies obtuvieran sobrado alimento en los hábitats que ocupaban y de igual manera las especies de Dycinodontia podían subsistir sobradamente a base de vegetales no leñosos. Estos animales no contaban con dientes ni con gastrolitos (rocas engullidas por algunos tipos de animales para ayudar con la rotura y digestión de alimentos más difícilmente digeribles como la fibra presente en los troncos de los árboles) y, por tanto, engullir material vegetal poco fibroso era sencillo pero el consumo de madera más complicado (Bajdek, Owocki y Niedźwiedzki, 2014). Las especies vegetales ahora tenían un sustento hídrico mucho mayor y unas condiciones climáticas que favoreció su crecimiento y la sustitución de pequeñas especies vegetales por grandes coníferas (Dal Corso *et al.*, 2018).

Este cambio en la vegetación se argumenta hoy como una de las principales y más importantes variaciones bióticas de toda la historia, ya que, incluso tras el fin de, CPE, los ya

instaurados grandes arboles como Bennettiales (Osborn y Taylor, 1995) se mantuvieron durante los años venideros conformando un paisaje y creando unos ecosistemas distintos a los que anteriormente existían. Estos nuevos organismos vegetales supusieron el fin de los herbívoros que habitaban al planeta hasta ese momento por su escasa estatura o dificultad para ingerir fibra y con la muerte de estos vinos también la desaparición de muchos de sus principales depredadores, como son los Crurotarsos. Los nichos ecológicos ocupados por estas especies pasaron ahora a ser ocupados por especies herbívoras y carnívoras de dinosaurios con mayor tamaño y condiciones fisiológicas más apropiadas.

6.3 CAMBIO CLIMÁTICO ACTUAL Y CPE: RELACIÓN ENTRE AMBOS Y POSIBLES PREDICCIONES

Resulta de gran interés tratar de predecir las consecuencias que el actual cambio climático y calentamiento global tendrá sobre los ecosistemas actuales. Los modelos climáticos son una herramienta muy útil para tratar de comprender el sistema climática actual (Kiehl, 2011). En los próximos años el mundo va a alcanzar un estado climático de efecto invernadero muy acuciado (Clarke *et al.* 2007) y se predice que los mares van a tornarse más cálidos, más ácidos y con niveles de oxígeno más reducidos (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Keeling, Körtzinger y Gruber, 2010).

Se estima que la concentración de CO₂ podría pasar de los 390 ppmv (o partes por millón por volumen) actuales a niveles de aproximadamente 1000 ppmv a finales de siglo (Solomon *et al.*, 2007). Comparar estas concentraciones con las presentes hace unos 230 millones de años es complicado por varias razones. Los datos de climáticos del Triásico aún no son suficientes como para que las comparaciones sean significativas, la disposición geográfica era muy diferente antaño y valores como la composición atmosférica o luminosidad solar no están claros. Además de que el principal agente acelerador del cambio climático no es el mismo en la actualidad que en ninguna de las anteriores grandes alteraciones climáticas siendo como es el ser humano el principal agente contaminante en la actualidad (Cook *et al.*, 2016).

Aunque se siguen encontrando grandes diferencias, sí podemos realizar comparaciones más significativas si nos remontamos a periodos geológicos más cercanos. La última vez que la atmósfera del planeta alcanzó 1000 ppmv de CO₂ fue hace unos 35 millones de años (Pagani *et al.*, 2005; Fletcher *et al.*, 2008; Breecker *et al.*, 2010) y la temperatura de esta época era de 35-40°C en la superficie marina tropical y de 20-25°C en la superficie marina de latitudes polares (Pearson *et al.*, 2007; Bijl *et al.*, 2009). Estos valores superan en 5-10°C a los actuales en el primer caso y quintuplican los actuales en el segundo. La geografía global de aquel entonces y la actual no presentan excesivas variaciones y de hecho el sol era aproximadamente un 0.4% menos luminoso que ahora (Gough *et al.*, 1981) por lo que la comparación parece justa. Hay que tener

en cuenta que si la atmósfera alcanzase una concentración de CO₂ de 1000 ppmv tardaría decenas de milenios de años en retornar a las 300 ppmv aproximadas que existen ahora (Archer *et al.*, 2009; Shaffer *et al.*, 2009). En caso de que la concentración de CO₂ alcanzase los niveles estimados a final de siglo y los datos de temperaturas acabaran siendo similares a los registrados hace 35 millones de años, podríamos encontrarnos con que la humanidad tuviera enfrentarse a una situación climática sin precedentes para nosotros (Kiehl, 2011).

Pese a que las diferencias entre el Triásico y la época actual resulten mayúsculas y las comparaciones realizadas con otros periodos climáticas resulte más sencilla sí que podemos realizar alguna extrapolación a partir de los conocimientos que poseemos del Triásico y que en este trabajo se han comentado. El aumento de la temperatura, la acidificación de los océanos y el escaso oxígeno marino afectó enormemente a los ecosistemas marinos y terrestres previos al CPE y las condiciones presentes al principio del Triásico terminaron desencadenando el propio Evento Pluvial del Carniense y aumentando su efecto en las comunidades existentes hasta el momento (Bottjer, 2012). Así pues, cabe la posibilidad de preguntarse si nos espera un periodo de extremas temperaturas y gran aridez como el que sucedió tras la extinción masiva del Pérmico y si tras este periodo árido, un evento húmedo va a llegar para alterar los ecosistemas y cambiar el futuro de las comunidades vegetales y animales para siempre.

6.4 ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO

La gráfica mostrada en la figura 7, tal y como se ha indicado en el apartado de Antecedentes, se ha realizado tras llevar a cabo la búsqueda ‘Carnian Pluvial Event’ en las bases de datos Scopus y Sciencedirect. Los artículos obtenidos tras esa búsqueda han sido organizados en Mendeley, ordenados por fecha, transferidos a un documento de Excel y graficados ya allí.

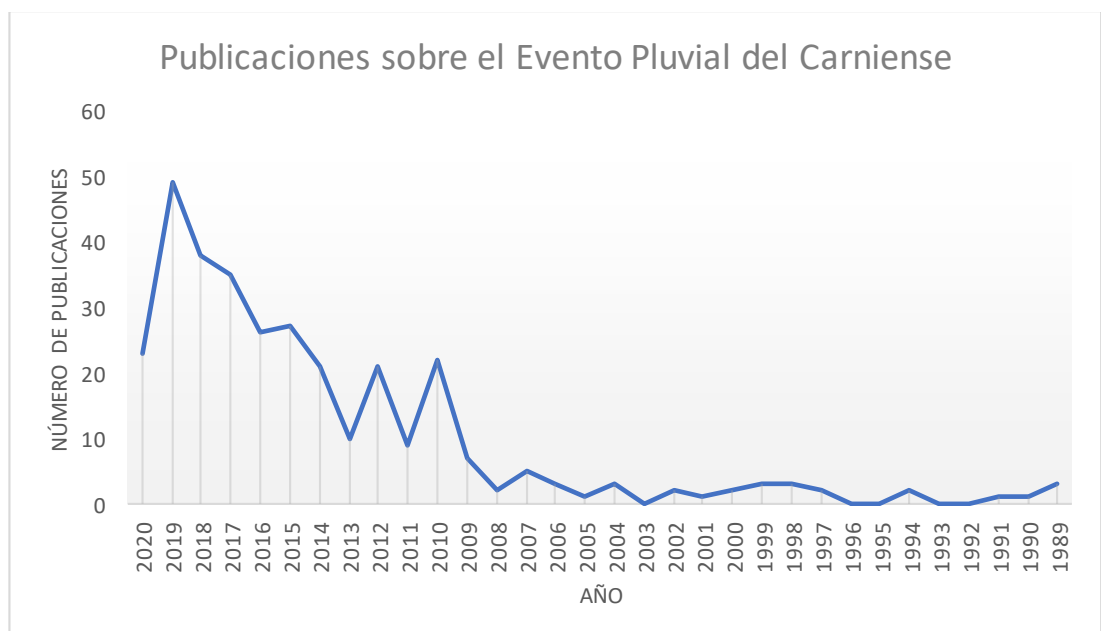


Figura 7.- Gráfica que muestra el número de publicaciones al año acerca del Evento Pluvial del Carniense.

En la gráfica se muestra la totalidad de los artículos encontrados una vez eliminados los artículos duplicados o aquellos en los cuales no estuviera presente el término 'Carnian Pluvial Event'. No se encuentra ni un solo artículo sobre este tema datado de antes del 1989 en el cual aparezca de manera correcta una referencia al Evento Pluvial del Carniense. Sí se pueden encontrar artículos hablando sobre un acontecimiento húmedo englobado entre periodos áridos y datado en el Triásico superior, pero ninguno empleó correctamente el término CPE ni entró en demasiada profundidad en explicar la importancia y alcance de este hecho. La primera mención a este evento fue por parte de Simms y Ruffell (1989) y no generó excesivo interés en la comunidad científica en el momento.

Los propios Simms y Ruffell (1990) siguieron estas investigaciones, pero no fue hasta que llegaron trabajos como el de Visscher (1994) que empezó la discusión sobre el tema. Sin embargo y aunque sí que hayan existido contadas publicaciones en la década de los 90 ninguna fue de excesivo interés ni generó gran repercusión. A comienzo de los años 2000 sí que hubo mayor número de publicaciones.

El escaso apoyo científico a este tema se mantuvo hasta hace unos 10 años, cuando, en 2010, nuevas investigaciones aparecieron. Investigadores de todo el mundo descubrieron evidencias del CPE (Algeo y Twitchett, 2010; Kolar-Jurkovšek y Jurkovšek, 2010; Kozur y Bachmann, 2010; Shi *et al.*, 2010) y comenzaron a relacionar el CPE con el origen de los dinosaurios (Brusatte *et al.*, 2010; Langer *et al.*, 2010; Nesbitt *et al.*, 2010; Novas, 2010). Destaca además la investigación palinológica llevada a cabo por Roghi (2010). Este gran número de investigaciones propiciaron que en los años venideros el interés por este tema aumentase y nuevas investigaciones aportaron más importancia que apoyara la existencia del CPE, describiera sus características y estableciera relaciones con el origen de los dinosaurios.

A lo largo de la última década el interés por este tema no ha ido más que en aumento gracias en parte a artículos tan importantes y con tanta repercusión como los de Dal Corso *et al.* (2012), Arche y López-Gómez (2014), Xu *et al.* (2014), Dal Corso *et al.* (2015), Ruffell, Simms y Wignall (2015), entre otros.

En los últimos años, concretamente en 2018, el interés aumentó sobremanera gracias en especial a tres importantes investigaciones que propiciaron que muchos otros investigadores hablaran sobre el CPE. Por un lado, Dal Corso *et al.* (2018) publicaron un informe hablando sobre los nuevos conocimientos y percepciones de este tema y Benton, Bernardi y Kinsella (2018) y Bernardi *et al.* (2018) establecieron relaciones causales muy determinantes entre el CPE y el DDE.

Estas importantes investigaciones provocaron que el año siguiente, 2019, fuera el año con más publicaciones sobre el CPE hasta la fecha, fruto de la gran importancia que artículos recientes como los comentados habían tenido en la comunidad científica. En 2020 sin embargo se observa un descenso en el número de publicaciones con respecto a años anteriores. Esto puede deberse a factores como el hecho de que el año aún no haya finalizado y nuevos artículos puedan ser publicados de aquí a final de año. Aún con eso, es posible atribuir este hecho a que la pandemia global sufrida en 2020 ha afectado enormemente a los procesos de investigación. La imposibilidad de llevar a cabo los procedimientos de investigación en campo habituales, la redistribución de los fondos de investigación a otros campos a los que actualmente se le otorga más importancia y la crisis económica asociada a esta catástrofe global, han podido provocar que el número de investigaciones sobre este asunto hayan disminuido este año.

7. DISCUSIÓN

A la vista de los resultados se observa que el Evento Pluvial del Carniense fue un fenómeno climático que aún precisa de ser estudiado en mayor profundidad para lograr atar todos los cabos que aún quedan sueltos. Esto era esperable teniendo en cuenta la evolución que los estudios sobre este acontecimiento han sufrido. Las primeras investigaciones lograron demostrar, sin abundante discrepancia, que había existido un acontecimiento pluvial en un período que siempre se había considerado primordialmente árido, pero la duración, alcance e importancia de este fenómeno húmedo ha sido discutido desde las primeras instancias de la investigación de este asunto.

La globalidad del evento se propuso desde el primer momento por Simms y Ruffell y fue la primera afirmación que se trató de refutar o ratificar por el resto de la comunidad científica. No fue hasta tiempos recientes cuando se ha aceptado que el fenómeno debió de ser global. Esto es gracias a la enorme cantidad de información encontrada a lo largo del planeta. Toda esta información muestra que regiones muy alejadas entre sí compartían condiciones climáticas semejantes durante el mismo periodo de tiempo. Incluso los que eran detractores de esta idea en un principio, como Visscher, han acabado proporcionando información muy importante que apoya la globalidad del evento. Pese a que la globalidad del CPE está ya comúnmente aceptada aún quedan regiones del planeta en las que la cantidad de información recopilada y analizada no es suficiente o donde no se han encontrado todavía pruebas de este periodo húmedo, poniendo en entredicho el alcance espacial del evento. Todo indica que futuras investigaciones llevadas a cabo en estas regiones deberían mostrar evidencias del CPE, pero no se puede asumir completamente que vaya a ser así.

La duración del evento, por otro lado, continúa siendo discutida en la actualidad e investigaciones recientes apuntan a que la duración del evento pudo no haber sido de 2 millones

de años sino de poco más de un millón de años. Esto alteraría nuestra concepción de sucesión y causalidad de eventos si se probase como verdad. La duración del evento siempre ha estado en entredicho ya que desde el primer momento se discutió ampliamente si se trataba de un evento rápido y fugaz o por el contrario un episodio prolongado en el tiempo.

En cuanto al origen del CPE hay menor discrepancia, en parte debido a que las investigaciones sobre este asunto son más escasas. Sin embargo, aunque todo parece indicar que existe una clara relación causal entre las erupciones de Wrangellia y el origen del CPE, otras causas también podrían barajarse y haber influido junto a las ya comentadas erupciones del noroeste del Pacífico.

Si abordamos el tema de la dispersión de los dinosaurios y el CPE como causante de esta, nuevamente, todo parece indicar que existe una relación causal entre ambos acontecimientos, pero las fechas estimadas de finalización del CPE y comienzo del DDE podrían variar en el futuro cuando consigamos recopilar más información. Ahora mismo la teoría más aceptada es que el CPE sirvió como principal impulsor del origen de los dinosaurios y que los dinosaurios sustituyeron a las especies de herbívoros y carnívoros anteriores a ellos tras la extinción de estos.

Finalmente, en cuanto a la relación del CPE con el cambio climático actual es complicado establecer relaciones lógicas entre ambos eventos climáticos, pero sí que se puede llegar a establecer ciertas estimaciones basándonos en las condiciones climáticas previas al CPE. Este campo es el menos explorado de todos los comentados y a la vez el más difícil de explorar. Son muchas las partes que juegan un papel importante en que se produzca un cambio climático de semejante magnitud a nivel global y por tanto desgranarlas todas se torna casi imposible. Lo que parece evidente es que las consecuencias del cambio climático actual pueden deparar cambios importantes en la distribución y extinción de la fauna y flora existentes en este momento.

Nuevas investigaciones continúan en marcha y pese a que este año ha habido un descenso de las investigaciones por razones ya explicadas en el estudio bibliométrico. El interés de este tema en la comunidad científica se encuentra en auge y ahora mismo es uno de los puntos en que más información se está aportando y más conocimientos se están obteniendo. Pese a que la mayoría de los temas tratados en este trabajo aún continúan en entredicho y a que las investigaciones siguen aportando nuevas visiones de ellos, sí que hay información que, aunque actualmente está siendo rebatida y en el futuro pueda ser desecheda, es asumida en la actualidad como verdad y aceptada en la mayoría de las conversaciones sobre el evento aquí comentado. Sobre lo que actualmente se acepta como hipótesis más veraz, gracias a las pruebas que ahora mismo lo refutan, se ha construido este trabajo y sus conclusiones.

8. CONCLUSIONES

- A comienzos del Triásico superior, concretamente en el Carniense, ocurrió el conocido como Evento Pluvial del Carniense o CPE (Carnian Pluvial Event por sus siglas en inglés).
- Este evento tuvo lugar durante 2 millones de años comenzando hace 234 millones de años y acabando hace 232 millones de años aproximadamente, y consistió en un cambio de clima árido a clima húmedo, abundantes precipitaciones e inundaciones a lo largo de todo el planeta y tuvo su origen en las erupciones volcánicas de la gran provincia ígnea de Wrangellia.
- Las erupciones volcánicas conocidas como Traps Siberianos son asumidas como las que provocaron la extinción de final del Pérmico y gracias a ellas el clima previo al Evento Pluvial del Carniense (o CPE) presentaba un ambiente árido, extremas temperaturas y océanos ácidos.
- La fauna reinante antes del CPE consistía en carnívoros pertenecientes a grupos como Crurotarsi y herbívoros pertenecientes a grupos como Dicynodontia (cuyos especímenes gobernaron y colonizaron el continente Pangea en casi toda su totalidad) y Rhynchosauria.
- El CPE provocó que los principales grupos de carnívoros y herbívoros existentes hasta entonces se extinguieran, incluso aquellos con mayor abundancia y representación, y que nuevas comunidades vegetales sustituyeran a las anteriores y el mundo vegetal pasara a estar mayormente representado por coníferas.
- Coincidente con el final del CPE hace unos 232 millones de años tuvo lugar el Evento de Dispersión de los Dinosaurios (o DDE), considerado el verdadero origen de los dinosaurios. Se han establecido relaciones causales entre ambos eventos.
- El grupo Dinosauria había surgido con anterioridad, pero pasaron de poseer una representación de menos del 5% en sus ecosistemas a cerca del 90% tras el CPE.
- En cuanto a la relación entre el actual y los anteriores cambios climáticos, como el CPE,, se estima que a finales de este siglo la concentración de CO₂ podría ser de 1000 ppmv (partes por millón por volumen) o aproximadamente el triple de la concentración actual. Analizando tiempos pasados cuando la concentración de CO₂ era también aproximadamente 1000 ppmv y comparando las condiciones climáticas de esas épocas con las presentes se estima que los mares podrían alcanzar temperaturas de 35-40°C en el trópico y 20-25°C en el ártico, temperaturas nunca vividas por la humanidad.

- Comparando directamente con las condiciones climáticas previas al CPE se estima que a final de siglo las temperaturas serán más elevadas, el ambiente enormemente árido, los mares ácidos y las condiciones marinas anóxicas.
- En el año 2020 las investigaciones sobre este y muchos otros temas se han visto comprometidas por la pandemia global en la cual nos vemos inmersos pero el interés de la comunidad científica sobre este tema es ahora mayor que nunca y en años venideros se espera nueva información que cambie o apoye nuestras concepciones actuales.

8. CONCLUSIONS

- At the beginning of the late Triassic, specifically in the Carnian, the Carnian Pluvial Event (CPE) took place.
- This event lasted more or less 2 million years, started 234 million years ago and ended approximately 232 million years ago, consisted in a turnover from an arid climate to a humid one, abundant precipitations and floods all over the world and had its origin in the Wrangellia LIP eruptions.
- The End-Permian mass extinction was provoked by the Siberian Traps volcanic eruptions and thanks to them, the era before the Carnian Pluvial Event (or CPE) had an arid environment, extreme temperatures and acidic oceans.
- The main fauna before the CPE consisted in carnivores belonging to the Crurotarsi clade and herbivores that belonged to Dicynodontia (which specimens used to rule and colonize almost all the extension of Pangaea) and Rhynchosauria clades.
- The CPE provoked the extinction of a lot of carnivores and herbivores that used to have great extension and dominance and brought new vegetal communities mainly represented by conifers.
- At the end of the CPE, more or less 232 million years ago, the Dinosaur Dispersion Event (or DDE), considered as the real origin of the dinosaurs, took place. The CPE was the event that caused the DDE.
- The Dinosauria clade went from having a <5% representation in their habitats to having a 90% representation after the CPE.
- If we compare previous climate changes, such as the CPE, and the current climate change, by the end of the century some estimations say that the CO₂ concentration will be 1000 ppmv (parts per million per volume). This means that the current valor will be tripled. If we analyze the last moment when the CO₂ concentration was 1000 ppmv we can predict that if we reach that value the tropical seas will have 35-

40°C and the arctic seas will be around 20-25 °C, temperatures never seen before in the human history.

- If we compare directly the current climate conditions and the ones that existed before the CPE, we can estimate that the temperatures and aridity will be higher, and the seas will be more acidic and anoxic.
- The amount of investigations about this topic have been decreased in the year 2020 due to the global pandemic that right now exist in our world but the interest about this topic is now higher than ever and in the next years new insights and information about this topic is expected.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aigner, T. and Bachmann, G. H. (1989). Dynamic stratigraphy of an evaporite-to-red bed sequence, Gipskeuper (Triassic), southwest German Basin. *Sedimentary Geology*, 62(1), 5-25.
- Alba, J. S. (2007). La Mancha Triassic and lower Lias stratigraphy, a well log interpretation. *Journal of Iberian Geology*, 33(1), 55-78.
- Algeo, T. J. and Twitchett, R. J. (2010). Anomalous Early Triassic sediment fluxes due to elevated weathering rates and their biological consequences. *Geology*, 38(11), 1023-1026.
- Arche, A. and López-Gómez, J. (2014). *The Carnian Pluvial Event in Western Europe: New data from Iberia and correlation with the Western Neotethys and Eastern North America–NW Africa regions. Earth-Science Reviews*, 128, 196–231. doi:10.1016/j.earscirev.2013.10.012
- Arche, A., López-Gómez, J. and García-Hidalgo, J. F. (2002). Control climático, tectónico y eustático en depósitos del Carniense (Triásico Superior) del SE de la Península Ibérica.
- Archer, D., Eby, M., Brovkin, V., Ridgwell, A., Cao, L., Mikolajewicz, U., Caldeira, K., Matsumoto, K., Munhiven, G., Montenegro, A. and Tokos, K. (2009). Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide. *Annual review of earth and planetary sciences*, 37.
- Bajdek, P., Owocki, K. and Niedźwiedzki, G. (2014). *Putative dicynodont coprolites from the Upper Triassic of Poland. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 411, 1–17. doi:10.1016/j.palaeo.2014.06.013
- Bakker, R. T. (1972). Anatomical and ecological evidence of endothermy in dinosaurs. *Nature*, 238(5359), 81-85.
- Baud, A., Richoz, S. and Pruss, S. (2007). The lower Triassic anachronistic carbonate facies in space and time. *Global and Planetary Change*, 55(1-3), 81-89.
- Bender, M. M. (1971). Variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. *Phytochemistry*, 10(6), 1239-1244.

- Benoit, J., Manger, P. R., Fernandez, V. and Rubidge, B. S. (2016). Cranial bosses of *Choerosaurus dejageri* (Therapsida, Therocephalia): earliest evidence of cranial display structures in eutheriodonts. *PLoS One*, *11*(8), e0161457.
- Benton, M. J. (1983). *Dinosaur Success in the Triassic: A Noncompetitive Ecological Model*. *The Quarterly Review of Biology*, *58*(1), 29–55. doi:10.1086/413056
- Benton, M. J. (1986). More than one event in the late Triassic mass extinction. *Nature*, *321*(6073), 857–861.
- Benton, M. J. (1991). What really happened in the Late Triassic?. *Historical Biology*, *5*(2-4), 263-278.
- Benton, M. J. (1999). *Scleromochlus taylori* and the origin of dinosaurs and pterosaurs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *354*(1388), 1423-1446.
- Benton, M. J. and Clark, J. M. (1988). Archosaur phylogeny and the relationships of the Crocodylia. *The phylogeny and classification of the tetrapods*, *1*, 295-338.
- Benton, M. J. and Twitchett, R. J. (2003). How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event. *Trends in Ecology and Evolution*, *18*(7), 358-365.
- Benton, M. J., Bernardi, M. and Kinsella, C. (2018). *The Carnian Pluvial Episode and the origin of dinosaurs*. *Journal of the Geological Society*, *jgs2018–049*. doi:10.1144/jgs2018-049
- Bernardi, M., Gianolla, P., Petti, F. M., Mietto, P. and Benton, M. J. (2018). *Dinosaur diversification linked with the Carnian Pluvial Episode*. *Nature Communications*, *9*(1). doi:10.1038/s41467-018-03996-1
- Bialik, O. M., Korngreen, D. and Benjamini, C. (2013). Carnian (Triassic) aridization on the Levant margin: evidence from the M1 member, Mohilla Formation, Makhtesh Ramon, south Israel. *Facies*, *59*(3), 559-581.
- Bijl, P. K., Schouten, S., Sluijs, A., Reichert, G. J., Zachos, J. C. and Brinkhuis, H. (2009). Early Palaeogene temperature evolution of the southwest Pacific Ocean. *Nature*, *461*(7265), 776-779.
- Birks, H. H. and Birks, H. J. B. (2006). Multi-proxy studies in palaeolimnology. *Vegetation history and Archaeobotany*, *15*(4), 235-251.
- Bottjer, D. J. (2012). Life in the early triassic ocean. *science*, *338*(6105), 336-337.
- Brayard, A., Vennin, E., Olivier, N., Bylund, K. G., Jenks, J., Stephen, D. A., Bucher, H., Hofmann, R., Goudemand, N. and Escarguel, G. (2011). Transient metazoan reefs in the aftermath of the end-Permian mass extinction. *Nature Geoscience*, *4*(10), 693-697.
- Breecker, D. O., Sharp, Z. D. and McFadden, L. D. (2010). Atmospheric CO₂ concentrations during ancient greenhouse climates were similar to those predicted for AD 2100. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(2), 576-580.

- Brugman, W. A. and Visscher, H. (1988). Permian and Triassic palynostratigraphy of northeast Libya. *Subsurface palynostratigraphy of northeast Libya*. Edited by A. El-Arnauti, B. Owens, and B. Thusu, B. Garyounis University Publications, Benghazi, Libya (SPLAJ).
- Brusatte, S. L., Nesbitt, S. J., Irmis, R. B., Butler, R. J., Benton, M. J. and Norell, M. A. (2010). The origin and early radiation of dinosaurs. *Earth-Science Reviews*, 101(1-2), 68-100.
- Bryant, D. A. and Frigaard, N. U. (2006). Prokaryotic photosynthesis and phototrophy illuminated. *Trends in microbiology*, 14(11), 488-496.
- Bull, W. B. (1991). Geomorphic responses to climatic change. New York: Oxford University Press.
- Buratti, N., and Cirilli, S. (2007). Microfloristic provincialism in the Upper Triassic Circum-Mediterranean area and palaeogeographic implication. *Geobios*, 40(2), 133-142.
- Campbell, I. H., Czamanske, G. K., Fedorenko, V. A., Hill, R. I. and Stepanov, V. (1992). Synchronism of the Siberian Traps and the Permian-Triassic boundary. *Science*, 258(5089), 1760-1763.
- Charig, A. J. (1972). The evolution of the archosaur pelvis and hindlimb: an explanation in functional terms. *Studies in vertebrate evolution*, 121-155.
- Chatterjee, S. (1978). A primitive parasuchid (phytosaur) reptile from the Upper Triassic Maleri Formation of India, *Palaeontology* 21: 83-127
- Clarke, L., Edmonds, J., Jacoby, H., Pitcher, H., Reilly, J. and Richels, R. (2007). *Scenarios Of Greenhouse Gas Emissions And Atmospheric Concentrations*. Washington, DC: U.S. Climate Change Science Program.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. and Fan, J.-X. (2013; updated 2019/05). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36: 199-204.
- Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R., Verheggen, B., Maibach, E. W., Carlton, J. S., Lewandowsky, S., Skuce, A. G., Green, S. A., Nuccitelli, D., Jacobs, P., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R. and Rice, K. (2016). Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, 11(4), 048002.
- Dal Corso, J., Mietto, P., Newton, R. J., Pancost, R. D., Preto, N., Roghi, G. and Wignall, P. B. (2012). Discovery of a major negative $\delta^{13}\text{C}$ spike in the Carnian (Late Triassic) linked to the eruption of Wrangellia flood basalts. *Geology*, 40(1), 79-82.
- Dal Corso, J., Gianolla, P., Newton, R. J., Franceschi, M., Roghi, G., Caggiati, M., Raucsik, B., Budai, T., Haas, J. and Preto, N. (2015). Carbon isotope records reveal synchronicity between carbon cycle perturbation and the "Carnian Pluvial Event" in the Tethys realm (Late Triassic). *Global and Planetary Change*, 127, 79-90.
- Dal Corso, J., Benton, M. J., Bernardi, M., Franz, M., Gianolla, P., Hohn, S., Kustatscher, E., Merico, A., Roghi, G., Ruffell, A., Ogg, J. G., Preto, N., Schmidt, A. R., Seyfullah, L. J., Simms, M. J., Shi, Z. and

- Zhang, Y. (2018). First workshop on the Carnian Pluvial Episode (Late Triassic): a report. *Albertiana*, 44, 49-57.
- De Torres, T. (1990). Primeros resultados de unas dataciones palinológicas en el Keuper de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, Prebético y Subbético frontal. *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante, ENRESA-GPPG, Universidad de Barcelona*, 219-223.
- Druckman, Y., Hirsch, F. and Weissbrod, T. (1982). The Triassic of the southern margin of the Tethys in the Levant and its correlation across the Jordan Rift Valley. *Geologische Rundschau*, 71(3), 919-936.
- Dubiel, R. F., Parrish, J. T., Parrish, J. M. and Good, S. C. (1991). The Pangaeian megamonsoon: evidence from the Upper Triassic Chinle Formation, Colorado Plateau. *Palaios*, 347-370.
- Elder A. L. (2000). LATE TRIASSIC DICYNODONTS: THEIR ANATOMY, RELATIONSHIPS, AND PALEOBIOGEOGRAPHY. Tesis doctoral de la Universidad Tecnológica de Texas, EE. UU., 1-114.
- Ezcurra, M. D., Fiorelli, L. E., Martinelli, A. G., Rocher, S., von Baczko, M. B., Ezpeleta, M., Taborda, J. R., Hechenleitner, E. M., Trotteyn, M., J. and Desojo, J. B. (2017). *Deep faunistic turnovers preceded the rise of dinosaurs in southwestern Pangaea. Nature Ecology and Evolution*, 1(10), 1477–1483. doi:10.1038/s41559-017-0305-5
- Ezcurra, M. D., Montefeltro, F. and Butler, R. J. (2016). The early evolution of rhynchosaurs. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 142.
- Fielding, C. R., Frank, T. D., McLoughlin, S., Vajda, V., Mays, C., Tevyaw, A. P., Winguth, A., Winguth, C., Nicoll, R. S., Bocking, M. and Crowley, J. L. (2019). *Age and pattern of the southern high-latitude continental end-Permian extinction constrained by multiproxy analysis. Nature Communications*, 10(1). doi:10.1038/s41467-018-07934-z
- Fletcher, B. J., Brentnall, S. J., Anderson, C. W., Berner, R. A. and Beerling, D. J. (2008). Atmospheric carbon dioxide linked with Mesozoic and early Cenozoic climate change. *Nature Geoscience*, 1(1), 43.
- Fluteau, F., Besse, J., Broutin, J. and Ramstein, G. (2001). The Late Permian climate. What can be inferred from climate modelling concerning Pangea scenarios and Hercynian range altitude? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 167(1-2), 39-71.
- Gough, D. O. (1981). Solar interior structure and luminosity variations. In *Physics of Solar Variations* (pp. 21-34). Springer, Dordrecht.
- Greene, A. R., Scoates, J. S. and Weis, D. (2008). Wrangellia flood basalts in Alaska: A record of plume-lithosphere interaction in a Late Triassic accreted oceanic plateau. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(12).

- Grice, K., Cao, C., Love, G. D., Böttcher, M. E., Twitchett, R. J., Grosjean, E., Summons, R. E., Turgeon, S. C., Dunning, W. and Jin, Y. (2005). Photic zone euxinia during the Permian-Triassic superanoxic event. *Science*, 307(5710), 706-709.
- Haas, J., Budai, T., Győri, O. and Kele, S. (2014). Multiphase partial and selective dolomitization of Carnian reef limestone (Transdanubian Range, Hungary). *Sedimentology*, 61(3), 836-859.
- Hagadorn, J. W. and Bottjer, D. J. (1997). Wrinkle structures: Microbially mediated sedimentary structures common in subtidal siliciclastic settings at the Proterozoic-Phanerozoic transition. *Geology*, 25(11), 1047-1050.
- Havinga, A. J. (1966). *Palynology and pollen preservation. Review of Palaeobotany and Palynology*, 2(1-4), 81-98. doi:10.1016/0034-6667(67)90138-8
- Hinojosa, J. L., Brown, S. T., Chen, J., DePaolo, D. J., Paytan, A., Shen, S. Z. and Payne, J. L. (2012). Evidence for end-Permian ocean acidification from calcium isotopes in biogenic apatite. *Geology*, 40(8), 743-746.
- Hochuli, P. A., Colin, J. P. and Vigran, J. O. (1989). Triassic biostratigraphy of the Barents Sea area. In *Correlation in hydrocarbon exploration* (pp. 131-153). Springer, Dordrecht.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R., H., Dubi, A. and Hatziolos, M. E. (2007). *Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. Science*, 318(5857), 1737-1742. doi:10.1126/science.1152509
- Hornung, T., Krystyn, L. and Brandner, R. (2007). A Tethys-wide mid-Carnian (Upper Triassic) carbonate productivity crisis: evidence for the Alpine Reingraben event from Spiti (Indian Himalaya). *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(2), 285-302.
- Jeans, C. V. (1978). The origin of the Triassic clay assemblages of Europe with special reference to the Keuper Marl and Rhaetic of parts of England. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 289(1365), 549-636.
- Ji, L. and Meng, F. (2006). Palynology of Yanchang Formation of Middle and Late Triassic in eastern Gansu Province and its paleoclimatic significance. *Journal of China University of Geosciences*, 17(3), 209-220.
- Keeling, R. F., Körtzinger, A. and Gruber, N. (2010). *Ocean Deoxygenation in a Warming World. Annual Review of Marine Science*, 2(1), 199-229. doi:10.1146/annurev.marine.010908.163855
- Kiehl, J. (2011). *Lessons from Earth's Past. Science*, 331(6014), 158-159. doi:10.1126/science.1199380
- Kolar-Jurkovšek, T. and Jurkovšek, B. (2010). New paleontological evidence of the Carnian strata in the Mežica area (Karavanke Mts, Slovenia): Conodont data for the Carnian Pluvial Event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 290(1-4), 81-88.

- Kozur, H. W. and Bachmann, G. H. (2010). The Middle Carnian wet intermezzo of the Stuttgart formation (Schilfsandstein), Germanic basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 290(1-4), 107-119.
- Kump, L. R., Bralower, T. J. and Ridgwell, A. (2009). Ocean acidification in deep time. *Oceanography*, 22(4), 94-107.
- Kustatscher, E., van Konijnenburg-van Cittert, J. H. and Roghi, G. (2010). Macrofloras and palynomorphs as possible proxies for palaeoclimatic and palaeoecological studies: A case study from the Pelsonian (Middle Triassic) of Kühwiesenkopf/Monte Prà della Vacca (Olang Dolomites, N-Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 290(1-4), 71-80.
- Lagnaoui, A., Klein, H., Voigt, S., Hminna, A., Saber, H., Schneider, J. W. and Werneburg, R. (2012). Late Triassic tetrapod-dominated ichnoassemblages from the Argana Basin (Western High Atlas, Morocco). *Ichnos*, 19(4), 238-253.
- Langer, M. C., Ezcurra, M. D., Bittencourt, J. S. and Novas, F. E. (2010). The origin and early evolution of dinosaurs. *Biological Reviews*, 85(1), 55-110.
- Langer, M. C., Ramezani, J. and Da Rosa, Á. A. S. (2018). *U-Pb age constraints on dinosaur rise from south Brazil. Gondwana Research*, 57, 133–140. doi:10.1016/j.gr.2018.01.005
- Libes, S. (2011). Introduction to marine biogeochemistry. Wiley, New York: Academic Press.
- Litwin, R. J., Traverse, A. and Ash, S. R. (1991). Preliminary palynological zonation of the Chinle Formation, southwestern USA, and its correlation to the Newark Supergroup (eastern USA). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 68(3-4), 269-287.
- Lockley, M. and Meyer, C. (2000). *Dinosaur tracks and other fossil footprints of Europe*. New York: Columbia University Press.
- Logan, A. (2020). Triassic period. *Encyclopædia Britannica, inc.* (2 April 2020; <https://www.britannica.com/science/Triassic-Period>) (consultada el 4 de Julio de 2020).
- Looy, C. V., Brugman, W. A., Dilcher, D. L., and Visscher, H. (1999). The delayed resurgence of equatorial forests after the Permian–Triassic ecologic crisis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(24), 13857-13862.
- Lucas, S. G. (1998). Global Triassic tetrapod biostratigraphy and biochronology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 143(4), 347-384.
- Magaritz, M. and Druckman, Y. (1984). Carbon isotope composition of an Upper Triassic evaporite section in Israel: Evidence for meteoric water influx. *AAPG Bulletin*, 68(4), 502-502.
- Marcos, J. G. and Frances, F. S. (1997). Relationship between the characteristics of Mediterranean Red soils and the age of the geomorphological surfaces in central-western Spain. *Catena*, 28(3-4), 231-245.

- Marenco, P. J., Griffin, J. M., Fraiser, M. L. and Clapham, M. E. (2012). Paleocology and geochemistry of Early Triassic (Spathian) microbial mounds and implications for anoxia following the end-Permian mass extinction. *Geology*, 40(8), 715-718.
- Marsicano, C. A., Domnanovich, N. S. and Mancuso, A. C. (2007). Dinosaur origins: evidence from the footprint record. *Historical Biology*, 19(1), 83-91.
- Martinez, R. N., Sereno, P. C., Alcober, O. A., Colombi, C. E., Renne, P. R., Montañez, I. P. and Currie, B. S. (2011). A basal dinosaur from the dawn of the dinosaur era in southwestern Pangaea. *science*, 331(6014), 206-210.
- MARTINI, R., ZANINETTI, L., VILLENEUVE, M., CORNÉE, J.J., KRYSZYN, L., CIRILLI, S., DEWEVER, P., DUMITRICA, P. and HARSOLUMAKSO, A. 2000. Triassic pelagic deposits of Timor: palaeogeographic and sea-level implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 16, 123–51.
- Matthews, H. D., Weaver, A. J., Meissner, K. J., Gillett, N. P. and Eby, M. (2004). Natural and anthropogenic climate change: incorporating historical land cover change, vegetation dynamics and the global carbon cycle. *Climate Dynamics*, 22(5), 461-479.
- Metcalfe, B., Twitchett, R. J. and Price-Lloyd, N. (2011). Changes in size and growth rate of 'Lilliput' animals in the earliest Triassic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308(1-2), 171-180.
- Miller, C. S., Peterse, F., Da Silva, A. C., Baranyi, V., Reichart, G. J. and Kürschner, W. M. (2017). Astronomical age constraints and extinction mechanisms of the Late Triassic Carnian crisis. *Scientific Reports*, 7(1), 1-7.
- NAKADA, R., OGAWA, K., SUZUKI, N., TAKAHASHI, S. and TAKAHASHI, Y. 2014. Late Triassic compositional changes of aeolian dusts in the pelagic Panthalassa: response to the continental climatic change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 393, 61–75
- Nesbitt, S. J. (2011). The early evolution of archosaurs: relationships and the origin of major clades. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2011(352), 1-292.
- Nesbitt, S. J., Barrett, P. M., Werning, S., Sidor, C. A. and Charig, A. J. (2013). The oldest dinosaur? A Middle Triassic dinosauriform from Tanzania. *Biology Letters*, 9(1), 20120949.
- Nesbitt, S. J., Sidor, C. A., Irmis, R. B., Angielczyk, K. D., Smith, R. M. and Tsuji, L. A. (2010). Ecologically distinct dinosaurian sister group shows early diversification of Ornithodira. *Nature*, 464(7285), 95-98.
- Nielsen, S. N. (2005). The Triassic Santa Juana Formation at the lower Biobío River, south central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(4), 547-562.

- Novas, F. E., Ezcurra, M. D., Chatterjee, S. and Kuttu, T. S. (2010). New dinosaur species from the Upper Triassic Upper Maleri and Lower Dharmaram formations of central India. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 101(3-4), 333-349.
- Olsen, P. E. and Kent, D. V. (1999). Long-period Milankovitch cycles from the Late Triassic and Early Jurassic of eastern North America and their implications for the calibration of the Early Mesozoic time-scale and the long-term behaviour of the planets. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 357(1757), 1761-1786.
- Ortí, F. (1973). *Estudio litológico, estratigráfico y paleogeográfico de la cuenca evaporítica de la facies Keuper en el Levante español*. Tesis doctoral Universidad de Barcelona, España, 1-174.
- Osborn, J. M. and Taylor, T. N. (1995). Pollen morphology and ultrastructure of the Bennettitales: in situ pollen of Cycadeoidea. *American Journal of Botany*, 82(8), 1074-1081.
- Pagani, M., Zachos, J. C., Freeman, K. H., Tipple, B. and Bohaty, S. (2005). Marked decline in atmospheric carbon dioxide concentrations during the Paleogene. *Science (New York, N.Y.)*, 309(5734), 600–603. <https://doi.org/10.1126/science.11110063>
- Parker, W. G., Stocker, M. R. and Irmis, R. B. (2008). A new desmotosuchine aetosaur (Archosauria: Suchia) from the Upper Triassic Tecovas Formation (Dockum Group) of Texas. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 28(3), 692-701.
- Parrish, J. T. (1993). Climate of the supercontinent Pangea. *The Journal of Geology*, 101(2), 215-233.
- Payne, J. L. and Clapham, M. E. (2012). End-Permian mass extinction in the oceans: an ancient analog for the twenty-first century? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40.
- Pearson, P. N., van Dongen, B. E., Nicholas, C. J., Pancost, R. D., Schouten, S., Singano, J. M. and Wade, B. S. (2007). Stable warm tropical climate through the Eocene Epoch. *Geology*, 35(3), 211-214.
- Petsios, E. and Bottjer, D. J. (2016). *Quantitative analysis of the ecological dominance of benthic disaster taxa in the aftermath of the end-Permian mass extinction*. *Paleobiology*, 42(03), 380–393. doi:10.1017/pab.2015.47
- Pott, C., Krings, M. and Kerp, H. (2008). The Carnian (Late Triassic) flora from Lunz in Lower Austria: Paleoecological considerations. *Palaeoworld*, 17(3-4), 172-182.
- Powers, C. M. and Pachut, J. F. (2008). Diversity and distribution of Triassic bryozoans in the aftermath of the end-Permian mass extinction. *Journal of Paleontology*, 362-371.
- Preto, N., Kustatscher, E. and Wignall, P. B. (2010). *Triassic climates — State of the art and perspectives*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 290(1-4), 1–10. doi:10.1016/j.palaeo.2010.03.015

- Prochnow, S. J., Nordt, L. C., Atchley, S. C. and Hudec, M. R. (2006). *Multi-proxy paleosol evidence for middle and late Triassic climate trends in eastern Utah. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 232(1), 53–72.* doi:10.1016/j.palaeo.2005.08.011
- Raath, M. A., Kitching, J. W., Shone, R. W. and Rossouw, G. J. (1990). Dinosaur tracks in Triassic Molteno sediments: the earliest evidence of dinosaurs in South Africa?.
- Retallack, G. J. (2013). Permian and Triassic greenhouse crises. *Gondwana Research, 24(1), 90-103.*
- Roghi, G. (2004). Palynological investigations in the Carnian of the Cave del Predil area (Julian Alps, NE Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology, 132(1-2), 1-35.*
- Roghi, G., Gianolla, P., Minarelli, L., Pilati, C. and Preto, N. (2010). Palynological correlation of Carnian humid pulses throughout western Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 290(1-4), 89-106.*
- Rostási, Á., Raucsik, B. and Varga, A. (2011). *Palaeoenvironmental controls on the clay mineralogy of Carnian sections from the Transdanubian Range (Hungary). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 300(1-4), 101–112.* doi:10.1016/j.palaeo.2010.12.013
- RUFFELL, A., SIMMS, M. J. and WIGNALL, P. B. (2015). *The Carnian Humid Episode of the late Triassic: a review. Geological Magazine, 153(02), 271–284.* doi:10.1017/s0016756815000424
- Shaffer, G., Olsen, S. M. and Pedersen, J. O. P. (2009). Long-term ocean oxygen depletion in response to carbon dioxide emissions from fossil fuels. *Nature Geoscience, 2(2), 105-109.*
- Shen, S. Z., Crowley, J. L., Wang, Y., Bowring, S. A., Erwin, D. H., Sadler, P. M., Cao, C., Rothman, D. H., Henderson, C. M., Ramezani, J., Zhang, H., Shen, J., Wang, X., Wang, W., Mu, L., Li, W., Tang, Y., Liu, X., Liu, L., Zeng, Y., Jiang, Y. and Jin, Y. (2011). Calibrating the end-Permian mass extinction. *science, 334(6061), 1367-1372.*
- Shi, Z. Q., Qian, L. J., Xiong, Z. Y. and Zeng, D. (2010). Carnian crisis occurring in SW China and its ideational origin. *Bulletin of mineralogy, Petrology and Geochemistry, 29, 227-232.*
- Shirey, S. B. and Walker, R. J. (1998). *THE Re-Os ISOTOPE SYSTEM IN COSMOCHEMISTRY AND HIGH-TEMPERATURE GEOCHEMISTRY. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 26(1), 423–500.* doi:10.1146/annurev.earth.26.1.423
- Simms, M. J. and Ruffell, A. H. (1989). *Synchronicity of climatic change and extinctions in the Late Triassic. Geology, 17(3), 265.* doi:10.1130/0091-7613(1989)017<0265:soccae>2.3.co;2
- SIMMS, M. J. and RUFFELL, A. H. (1990). *Climatic and biotic change in the late Triassic. Journal of the Geological Society, 147(2), 321–327.* doi:10.1144/gsjgs.147.2.0321
- Simms, M. J., Ruffell, A. H., Johnson, A. L. A., Fraser, N. C. and Sues, H. D. (1994). Biotic and climatic changes in the Carnian (Triassic) of Europe and adjacent areas. In *In the Shadow of the Dinosaurs: Early Mesozoic Tetrapods* (pp. 352-365). Cambridge: Cambridge University Press.

- Slater, B. (2011). Fossil focus: coal swamps. *Palaeontology*, 1, 1-9. (8 Enero 2011; <http://www.palaeontologyonline.com/articles/2011/fossil-focus-coal-swamps/>) (consultada el 4 de Julio de 2020).
- Solomon, S., Manning, M., Marquis, M. and Qin, D. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge university press.
- Stampfli, G. M., Hochard, C., Vérard, C. and Wilhem, C. (2013). The formation of Pangea. *Tectonophysics*, 593, 1-19.
- Sun, Y., Joachimski, M. M., Wignall, P. B., Yan, C., Chen, Y., Jiang, H., Wang, L. and Lai, X. (2012). *Lethally Hot Temperatures During the Early Triassic Greenhouse*. *Science*, 338(6105), 366–370. doi:10.1126/science.1224126
- Tabor, N. J., Montañez, I. P., Kelso, K. A., Currie, B., Shipman, T. and Colombi, C. (2006). A Late Triassic soil catena: landscape and climate controls on paleosol morphology and chemistry across the Carnian-age Ischigualasto-Villa Union Basin, northwestern Argentina. *SPECIAL PAPERS-GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA*, 416, 17.
- Thulborn, T. (1998). Australia's earliest theropods: footprint evidence in the Ipswich Coal Measures (Upper Triassic) of Queensland. *Gaia*, 15, 301-311.
- Tu, T. T. N., Bocherens, H., Mariotti, A., Baudin, F., Pons, D., Broutin, J., Derenne, S. and Largeau, C. (1999). Ecological distribution of Cenomanian terrestrial plants based on $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 145(1-3), 79-93.
- Van Geel, B. (2002). Non-pollen palynomorphs. In *Tracking environmental change using lake sediments* (pp. 99-119). Springer, Dordrecht.
- Visscher, H., Van Houtte, M., Brugman, W. A. and Poort, R. J. (1994). Rejection of a Carnian (Late Triassic) "pluvial event" in Europe. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 83(1-3), 217-226.
- Von Baczko, M. B. and Ezcurra, M. D. (2013). Ornithosuchidae: a group of Triassic archosaurs with a unique ankle joint. *Geological Society, London, Special Publications*, 379(1), 187-202.
- Walker, A. D. (1964). Triassic reptiles from the Elgin area: Ornithosuchus and the origin of carnosaurs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 248(744), 53-134.
- Webb, D.J. (2016) *A comparison of sea surface temperatures in the Equatorial Pacific Nino regions with results from two early runs of the NEMO 1/12° Ocean Model* (National Oceanography Centre Research and Consultancy Report, 55) Southampton, UK. National Oceanography Centre 31pp.
- Xu, G., Hannah, J. L., Stein, H. J., Mørk, A., Vigran, J. O., Bingen, B., Schutt, D. L. and Lundschieen, B. A. (2014). Cause of Upper Triassic climate crisis revealed by Re–Os geochemistry of Boreal black shales. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 395, 222-232.

Zhang, Y., Ogg, J. G., Franz, M., Bachmann, G. H., Szurlies, M., Röhling, H.-G., Li, M., Rolf, C. and Obst, K. (2020). *Carnian (Late Triassic) magnetostratigraphy from the Germanic Basin allowing global correlation of the Mid-Carnian Episode*. *Earth and Planetary Science Letters*, 541, 116275. doi:10.1016/j.epsl.2020.116275