

DISCURSO DE CONTESTACIÓN

POR EL

Ilmo. Sr. D. JUAN PABLO MARTÍNEZ RICA

Excelentísimo Sr. Presidente

Excelentísimos e Ilustrísimos Sres. Académicos y Autoridades asistentes

Sras. y Sres.

Una vez más debo comenzar expresando mi agradecimiento a nuestra Academia por asignarme el honroso papel de responder al discurso de ingreso de un nuevo académico, en este caso el profesor Andrés Pocovi.

El Dr. Pocovi nació en Palma de Mallorca y estudió la carrera de Ciencias Geológicas en la Universidad de Barcelona, donde se licenció en 1970 con Premio Extraordinario de Licenciatura. En los años siguientes fue Profesor Ayudante en la misma Universidad, en la que impartió las clases prácticas de “Geología de España” “Geodinámica Interna” y Geomorfología y Tectónica”, y donde permaneció hasta 1976, año en que se trasladó a la Universidad de Zaragoza, donde ocupó en interinidad una plaza de Profesor Adjunto. Tras su doctorado, que concluyó con la calificación de Sobresaliente cum Laude, pasó a ser contratado por la misma universidad, en donde ha ocupado una plaza de Profesor Titular en la Facultad de Ciencias, impartiendo las asignaturas de “Geodinámica Interna”, “Geofísica” y “Geología Estructural” y las clases prácticas de estas mismas asignaturas y de “Geodinámica Externa”, “Cartografía Geológica” e “Ingeniería Geológica”.

Su actividad docente, siempre evaluada de forma positiva, se completó con la dirección de seis tesis de licenciatura y nueve tesis doctorales. Tres de éstas últimas, por haber merecido el Premio Extraordinario de Doctorado, deben consignarse aquí. Son las siguientes:

- MILLÁN GARRIDO, H. A., (1996) Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas.
- PUEYO MORER, E. L., (2000) Rotaciones paleomagnéticas en sistemas de pliegues y cabalgamientos. Tipos, causas, significado y aplicaciones.
- PUEYO ANCHUELA, O., (2012) Estudio de fábricas magnéticas y su relación con la deformación en el sector centro-occidental del Pirineo Central (Aragón y Navarra).

Como todo profesor universitario, el Dr. Pocovi ha desarrollado una actividad investigadora que es la base y complemento de la docente. Comenzó sus trabajos de investigación en el “Instituto Jaume Almera de Geología”, ubicado en Barcelona y perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Desde sus primeras publicaciones, así como en su tesis doctoral, dirigida por Solé Sabarís, se manifiesta ya su interés sobre la estructura geológica de la vertiente meridional de la cordillera pirenaica, tema sobre el que ha trabajado durante toda su vida profesional, si bien ha investigado además el Sistema Ibérico, las cadenas Litoral y Prelitoral catalanas y otras regiones montañosas españolas. Ha publicado, sólo o con otros autores, 173 artículos científicos, a los que hay que añadir 8 libros o monografías, 17 capítulos de libro, y 141 publicaciones breves o resúmenes de congresos, en total 339 trabajos, sin contar las publicaciones didácticas o divulgativas, los informes emitidos para organismos públicos y las traducciones y adaptaciones de otros textos. En conjunto un rendimiento ciertamente notable.

Esta actividad investigadora se ha encuadrado principalmente en el marco de 16 proyectos o contratos de investigación, en 9 de los cuales el profesor Pocovi ha sido el Investigador Principal. Entre ellos cabe destacar los dos siguientes:

- Aplicación de los métodos del paleomagnetismo a la determinación del origen de la estructura circular de Azuara (supuesto impacto meteorítico). Acción Integrada España-Austria. MEC, HU97-26.
- Tectónica y evolución de medios sedimentarios en áreas de transición plataformatalud. Aplicación a la exploración de hidrocarburos en la cuenca de Ainsa. DGA/Comunidad de Trabajo de los Pirineos, CTP98.

No hace falta destacar la importancia práctica de los estudios de geología estructural en áreas de potencial presencia de hidrocarburos, dado el peso que el consumo de estos materiales tiene en la actual economía del mundo. En cuanto a la importancia del primero de estos dos proyectos, sobre la estructura circular de Azuara, debe señalarse que la misma alcanzó una cierta fama entre los geólogos desde que Wolfgang Hamman señaló en 1980 que se trataba de la huella de un cráter de impacto meteorítico y fue secundado entusiásticamente por Ernstson (Ernstson y Claudin, 1990); entonces se inició la polémica entre distintos autores, polémica que dura hasta hoy, si bien parece que la explicación de la estructura se va decantando hacia causas puramente geológicas.

Del mismo modo que he singularizado alguna de las tesis y de los proyectos dirigidos por el Dr. Pocovi, podría hacerlo con sus publicaciones más relevantes. Pero es tiempo de terminar con la fría estadística de sus trabajos y centrarnos en el último de ellos, el discurso que tienen en su poder y cuyo resumen acaban de oír. Es un discurso peculiar,

distinto y distante de los que suelen oírse en esta casa, quizás porque su tema es también peculiar. Yo he disfrutado leyendo la versión publicada y escuchando la versión resumida que se acaba de presentar aquí y supongo que del mismo modo habrán disfrutado los demás oyentes, en especial aquellos que frecuentan nuestro Pirineo y gozan recorriéndolo, y que, estoy seguro, forman un buen porcentaje de los aquí presentes.

Este discurso explica una metahistoria o historia de una historia. Es la historia de la lectura de un libro de historia, la de nuestra cordillera, un libro escrito en los estratos pliegues, fallas y afloramientos que forman la cadena pirenaica, y cuya lectura no es fácil y requiere el esfuerzo continuado de los científicos que la han emprendido en los últimos tres siglos, primero en páginas escasas, ocultas, difíciles de descifrar y poco accesibles, luego en páginas más abiertas y claras, gracias especialmente a los avances tecnológicos que las han iluminado. Para quien ama la historia en general, la montaña en general y los Pirineos en particular, oír este discurso no puede menos que ser una experiencia muy agradable. Además el enfoque dado al tema por el nuevo académico lo hace más cercano e interesante: esas minibiografías que a cada paso presenta de los protagonistas de la historia, a menudo reducidas al nombre completo –esos nombres rimbombantes, no de un simple Dolomieu, sino de un sonoro Dieudonné Sylvain Guy Tancrède Gratet de Dolomieu – y a las fechas de nacimiento y muerte, pero a veces enriquecidas con alusiones a episodios más o menos novelescos, que no suelen faltar en las vidas de los naturalistas de campo, nos hacen escuchar el discurso como narración viva que mantiene nuestra atención.

En la segunda parte, a medida que el autor se adentra en estudios y tecnologías más modernos, la proliferación de trabajos y la necesaria profundización dejan menos espacio a los añadidos anecdóticos, y el discurso se centra en problemas propiamente geológicos, con lo que gana en solidez, si bien pierde en amenidad. Y su tema permanente es el indicado por el título, la historia del estudio de la vertiente pirenaica meridional, un tema estrictamente geológico.

Como es de suponer, dicho tema me es en buena parte ajeno y la respuesta difícil, aunque la ecología es una ciencia que se apoya firmemente en todas las disciplinas científicas, y un ecólogo debe tener también nociones mínimas de estratigrafía y de geología estructural. El contacto con mis colegas geólogos a lo largo de mi vida profesional en el Instituto Pirenaico de Ecología me ha proporcionado esas nociones mínimas, pero ni mi formación ni mi experiencia me permiten una respuesta adecuada en el terreno puramente geológico. Para mí los Pirineos siempre han sido un campo de trabajo biológico, y de gran interés ecológico y biogeográfico, de manera que enfocaré esta respuesta como una visión sucinta

del papel de la Cordillera Pirenaica en la formación y distribución de las unidades zoo- y fitogeográficas y de las comunidades biológicas actuales. No es un enfoque muy distinto del adoptado por el Dr. Pocovi para presentar la geología de la cadena: del mismo modo que la historia de la misma está condensada y puede leerse en los estratos rocosos, también la historia biológica de la región está recogida en estos estratos, y puede leerse además en las biocenosis actuales. Así, la biogeografía resulta un estudio de la ecología del pasado, y si bien la historia de los estudios geológicos sobre la cordillera es apasionante, la de la evolución de ésta, y la consiguiente evolución de la porción de biosfera que la reviste lo es mucho más.

A diferencia de lo que ocurre con los discursos de ingreso en la Academia, que suelen incorporar una bibliografía suficiente, los de respuesta a los mismos, que deben comentar específicamente un solo trabajo, incluyen una literatura sumaria o prescindan de ella. Hay varios motivos para que los párrafos que siguen empleen una bibliografía mínima, y uno de ellos es la contundente relación de títulos aportada por el profesor Pocovi, pero creo que en esta ocasión es necesario comenzar citando la reciente publicación de un artículo divulgativo sobre la evolución geográfica y geológica de la Península Ibérica y por ende de los Pirineos (Pardo y Arenas, Noviembre de 2018). Este artículo es interesante no sólo porque proporciona un conveniente punto de partida para el análisis, sino también porque se incluye en una revista editada por esta Facultad de Ciencias y en la cual muchos de los miembros de nuestra Academia solemos colaborar, lo que establece un vínculo importante, y además porque los autores del artículo son colegas y colaboradores de nuestro nuevo académico.

250 Millones de años:

En el artículo citado se explica la evolución de la estructura geológica de la Península Ibérica a partir del comienzo de la Era Mesozoica, en la transición permotriásica, hace 250 millones de años. En aquellos tiempos se estaba iniciando la ruptura de la Pangea, nombre que dio Wegener (al parecer) al supercontinente que reunía casi todas las tierras emergidas durante el periodo Pérmico. Esa ruptura, impulsada por el movimiento de las placas litosféricas, iba a dividir el gran bloque continental en dos enormes masas, la meridional o Gondwana, y la septentrional o Laurasia, permitiendo así una evolución independiente de las faunas y de las floras respectivas, que derivó en grupos taxonómicos muy contrastados que todavía caracterizan hoy a los continentes de los hemisferios norte y sur.

150 Millones de años:

La diversificación de las respectivas floras y faunas se vio complementada por procesos de ruptura posteriores. Así, a lo largo del Mesozoico se fue dividiendo el bloque de Gondwana mediante la apertura del Atlántico Meridional y la separación de los bloques de África y Sudamérica. Hoy las diferencias entre los grupos vegetales y animales de estos continentes son menos marcadas que las que ambos presentan con Eurasia y Norteamérica, pero todavía muestran un claro contraste. En cambio, la apertura del Atlántico Norte fue posterior, y se produjo durante el Periodo Cretácico y la Era Cenozoica, con lo que las faunas y floras de Europa y Norteamérica son más parecidas que las que ocupan África y Sudamérica.

Pero ¿qué tiene que ver esto con la biogeografía actual de los Pirineos, que no existían entonces? Pues que la génesis de esta cadena está ligada a los mismos movimientos de las placas litosféricas que ocasionaron la apertura del Atlántico. Durante el Cretácico inferior estos movimientos comportaron un alejamiento de la Península Ibérica respecto a las costas americanas, y un deslizamiento hacia el este de la placa africana, con lo cual lo que hoy es la costa francesa se iba separando de la cantábrica y se abría el Golfo de Vizcaya, pero durante el Cretácico superior el gran ensanchamiento del Atlántico sur comenzó a empujar a la placa africana contra la europea. Comenzó así la presión que daría lugar en toda Eurasia al nacimiento de las cordilleras alpinas.

60 Millones de años:

Las consecuencias de la apertura del Atlántico para los ecosistemas de Eurasia y Norteamérica empezaron a manifestarse desde comienzos del Cenozoico. Cuando el océano fue lo bastante amplio se estableció un sistema global de circulación del agua y de distribución del calor en los océanos, que, aunque menos potente que el actual, influyó decisivamente en las condiciones climáticas del planeta. En primer lugar, la apertura del Atlántico meridional creó o reforzó la corriente periantártica aislando más tarde la Antártida de las influencias de las aguas cálidas e iniciando, hace 35 millones de años, su condición de continente perpetuamente helado. Más adelante, como veremos, otros cambios en la circulación oceánica acarrearían nuevas consecuencias en las faunas y floras de Europa.

Esta situación influiría mucho en la distribución de las biotas animales y vegetales de Europa, y no solo por la elevación de la Cordillera Pirenaica, que iba a producirse a lo

largo de todo el Cenozoico, sino también por el nacimiento de los Alpes, Cárpatos, Apenninos, Balcanes, Tauro, Cáucaso, Hindu-Kush, Himalaya, etc, así como de las restantes cordilleras ibéricas. Por de pronto en las nuevas cordilleras fueron apareciendo especies y grupos particularmente adaptados a las condiciones de baja temperatura y fuerte innivación que se dan en la alta montaña. Estas especies derivaban a menudo de especies de llanura, que se transformaban adoptando una nueva morfología y una fisiología apropiada, convirtiendo a las montañas alpinas en centros de formación de especies, géneros o grupos taxonómicos más amplios, es decir, en núcleos motores de la evolución biológica.

23 Millones de años:

Hacia el Periodo Mioceno la Cordillera Pirenaica había alcanzado ya su conformación actual y era lo bastante elevada como para llevar a cabo su papel de barrera y filtro de especies y grupos, así como el de centro de diversificación evolutiva. Por su disposición, de este a oeste, frenaba el paso de especies meridionales hacia el norte y el de especies septentrionales hacia el sur, lo que no ocurría en Norteamérica. Esto llevó a la extinción de numerosas especies en Eurasia, y en consecuencia hay que señalar, como lo han hecho distintos autores, que la diversidad específica en Eurasia disminuyó. En cambio en Norteamérica, cuya placa continental es empujada por la apertura del Atlántico en dirección de los paralelos contra la placa del Pacífico, la diversidad específica es bastante más alta. Esta consecuencia se deberá también a la influencia de las alternancias climáticas, que se comentarán luego al hablar del papel de las glaciaciones del Pleistoceno.

12 Millones de años:

Las gramíneas o poáceas son hoy plantas de una indudable importancia económica, pues proporcionan la base esencial de la alimentación para la mayor parte de la población humana. Aunque el grupo se originó durante el periodo Oligoceno, la mayor parte de sus adaptaciones ecológicas son más recientes, de la primera mitad del Mioceno, y la expansión simultánea del grupo y de los principales biomas que lo albergan, los ecosistemas de tipo sabana o pradera, se remontan a la segunda mitad del Mioceno. Esos ecosistemas iban a transformar la vida en todo el planeta, y desde luego lo harían en las montañas de todo el mundo, también en los Pirineos.

Las gramíneas representan un verdadero hallazgo evolutivo, un recurso biológico de gran

trascendencia. Todas las plantas superiores se desarrollan a partir de sus tejidos de crecimiento o meristemas, que, en la mayoría de las plantas con flor, o angiospermas, se sitúan en el interior de las yemas, especialmente de las yemas terminales, que ocupan los extremos del tallo o de las ramas. Por esta razón son más accesibles para los animales herbívoros, que además apetecen de manera especial los tejidos más tiernos de las ramillas y hojas en desarrollo que de ellas surgen. En consecuencia es fácil que la acción de un herbívoro acabe con los tejidos de crecimiento de una planta, y que el desarrollo de ésta se detenga.

Con las gramíneas sucede una cosa diferente. Poseen numerosas adaptaciones morfológicas y fisiológicas que facilitan su supervivencia, incluso en condiciones difíciles: tallos huecos y a menudo reforzados con sílice, flores inconspicuas que ya no dependen de los insectos y cuya formación exige poca energía, metabolismo simplificado y eficaz, porte amacollado que comporta un rápido crecimiento en extensión, simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, y sobre todo la posesión de meristemas no terminales. En efecto en las gramíneas los tejidos de crecimiento se sitúan en la transición entre raíz y tallo, justo encima de los nudos y en las vainas y bases de las hojas. Esto quiere decir que si se cortan los extremos de los tallos la planta no sólo no muere, sino que puede continuar su crecimiento. Así los herbívoros pueden comer las partes más salientes de las plantas sin matarlas ni detener su desarrollo. Así las plantas pueden producir nuevas macollas a partir de los tejidos abrigados situados justo encima de la raíz aunque la temperatura ambiental sea baja.

Gracias a estas capacidades se extendieron los ecosistemas de pradera y de sabana. Hoy esos ecosistemas ocupan gran parte de Norteamérica, de Sudamérica, y de África y sustentan una gran variedad de grandes herbívoros, mucho mayor en el pasado. Las gramíneas y las vecinas ciperáceas dominan la tundra ártica, las estepas y territorios peridesérticos y, lo que es más importante aquí, los niveles alpinos y subalpinos de las grandes montañas de la Tierra, incluyendo, por supuesto, los Pirineos. Solamente dos especies de plantas vasculares integran la flora de la Antártida, y la principal de ellas es una gramínea, *Deschampsia antarctica*. Las gramíneas sostienen no sólo a los grandes herbívoros silvestres y domésticos, sino también, y por medio de la agricultura, a la mayor parte de la humanidad. Es más, fue en un ambiente de sabana, constituido por un tapiz de gramíneas con árboles dispersos, donde evolucionaron los primeros homínidos. En último término, nuestra propia especie debe su aparición a estas plantas.

7 Millones de años:

En el borde meridional de la Península Ibérica, a lo largo de todo el Mioceno había una barrera intermitente, el Estrecho de Gibraltar, que limitaba el paso de las especies africanas a Iberia así como el flujo en sentido inverso. Pero esta limitación era más o menos estricta según la distancia que separaba las dos placas en superficie, y esta distancia dependía del mayor o menor empuje ejercido por la placa africana. En ocasiones el flujo de especies se interrumpía por completo, y en otras el estrecho se cerraba y lo que se interrumpía era la entrada en el Mediterráneo del agua atlántica. En este último caso claro está que el paso de especies en uno u otro sentido se veía muy facilitado, aunque fuese a través de un delgado puente emergido.

A finales del Mioceno, correspondiendo con el piso llamado Mesiniense, tuvo lugar uno de estos episodios de cierre del Estrecho de Gibraltar. Puesto que en el Mediterráneo la evaporación es bastante mayor que el aporte de agua líquida suministrado por todos los ríos, este mar iría desapareciendo de no ser por el aporte atlántico, que compensa las pérdidas. Pero en la crisis mesiniense este aporte se interrumpió por completo, y el Mar Mediterráneo fue disminuyendo en extensión hasta quedar reducido a un par de lagos salinos en la parte oriental. El resto de la cuenca quedó al descubierto, salvo por la gruesa capa de sal que lo cubría.

Los cambios que esta situación indujo en la fauna y en la flora fueron considerables: multiplicación y aparición de numerosas especies halófitas, de lagunas litorales salobres, de lagunas temporales interiores, revestidas cuando secas de una costra salina, cambios en el régimen de vientos y en el clima en general para las zonas que habían dejado de ser litorales, aumento de la continentalidad y mayor frecuencia de valores climáticos extremos, etc.

Pero el cambio principal estribó en que en aquel momento el paso de especies entre Iberia y África se vio mucho más facilitado. Aunque un inmenso desierto cubierto de sal no es un hábitat propicio para las especies que se desplazan, proporciona por lo menos puntos de reposo para interrumpir el viaje y recuperar fuerzas para proseguirlo. Y si se efectúa en la proximidad de las antiguas costas el viaje puede ser más cómodo, pues se encuentra alimento a lo largo de la ruta. Claro está que esto se refiere a animales terrestres y a plantas de dispersión lenta, no a las aves o a plantas cuyo polen y semillas pueden llevar el viento o las aves a grandes distancias.

3.500.000 Años:

Ya se ha comentado que el proceso de expansión del Atlántico empujó durante toda la Era Cenozoica a la placa de Norteamérica contra la placa del Pacífico, lo que continúa haciendo en la actualidad. Pero la placa norteamericana sufría también ocasionalmente empujes de procedencia meridional, debidos a los movimientos hacia el norte de las placas caribeña y sudamericana. A pesar de ello las placas de Norteamérica y Sudamérica habían permanecido separadas, gracias a lo cual la corriente marina norecuatorial podía penetrar en el Caribe y pasar al Océano Pacífico por la abertura entre las dos Américas. Más durante todo el periodo Plioceno los dos bloques americanos se fueron aproximando y la abertura entre ellos se fue estrechando, hasta que al final de este periodo se cerró por completo creándose el Istmo de Panamá. Esta unión dio lugar a una gran modificación en la circulación oceánica, que adoptó su conformación actual mediante el llamado Cinturón de Transporte Oceánico, o Corriente Oceánica Global.

Este cinturón de transporte mueve el agua marina por todos los océanos del mundo mediante dos grandes corrientes fundamentales, una superficial, constituida por aguas cálidas y ricas en sal, y otra profunda, con aguas más frías y menos saladas. De ahí el nombre alternativo para esta estructura de Circulación Termohalina Global. En efecto, son las diferencias de temperatura, salinidad y densidad las que ocasionan el desplazamiento del agua. El Cinturón de Transporte Oceánico no solamente desplaza el agua, sino también el calor, redistribuyendo la temperatura de la atmósfera y suavizando las diferencias climáticas entre las latitudes altas y bajas.

El Cinturón de Transporte Oceánico tiene una estructura compleja, constando de dos partes. La menor es un anillo de aguas frías y profundas que circunda la Antártida y que se había originado mucho antes, cuando el aislamiento de la Antártida. Una de las ramas de la parte mayor nos es bien conocida: se trata de la Corriente del Golfo, que lleva en superficie las aguas cálidas procedentes del Caribe hasta las latitudes árticas. A la altura de las Islas Spitzberg esa corriente se enfría y se hunde, dando lugar a la Corriente Atlántica Profunda, que cambia de rumbo y se dirige al sur hasta alcanzar la periferia de la Antártida. Allí la corriente se divide en dos ramas y se dirige al este. Mientras la rama meridional se une en parte al anillo periantártico profundo, y en parte continúa hasta el Pacífico sur para dirigirse otra vez al norte hasta las Aleutianas, la otra gira directamente al norte y sigue por el fondo occidental del Océano Índico hasta alcanzar el sur de la India y Sri Lanka. Tanto en las Aleutianas como en Sri Lanka las corrientes ascienden y se

calientan, convirtiéndose en flujos de aguas cálidas superficiales dirigidos al sur. La rama de las Aleutianas atraviesa el Pacífico norte y cruza Indonesia para reunirse con la otra rama en el centro del Océano Índico, y desde allí, una corriente superficial cálida única bordea por el sur el continente africano y ascendiendo por el Atlántico meridional va a parar al Mar Caribe, donde se continúa por la Corriente del Golfo.

El caudal de este inmenso “río oceánico” se estima en 150 millones de metros cúbicos por segundo: compárese con el caudal medio del río más caudaloso de España, (el Ebro, 426 m³/s), de Europa (el Volga, 8500 m³/s), y del mundo (el Amazonas, 120000 m³/s). El tiempo de recorrido del circuito se estima entre 1000 y 1500 años, pero la velocidad varía de forma irregular de un año a otro.

El efecto de una de las ramas del Cinturón, la Corriente del Golfo, sobre el clima de la Europa Occidental es manifiesto. Terranova, con una latitud similar a la de Londres, presenta temperaturas mucho más bajas, y Chicago, cuya latitud corresponde a la de Madrid, registra cada año temperaturas mínimas inferiores a los 20 °C bajo cero. Pero para la historia climática y ecológica de los Pirineos el efecto principal de la Circulación Oceánica Global deriva de las variaciones de velocidad del flujo, a las que se acaba de aludir. En efecto, ya hace dos décadas que se postuló la idea de que una disminución de la velocidad del Cinturón Oceánico podía influir en el origen de las glaciaciones en el hemisferio norte (Driscoll y Haug, 1998) y esta idea ha sido apoyada por trabajos más recientes (Ronge et al., 2016). Dado que el cierre del Istmo de Panamá y el establecimiento de la circulación oceánica actual coinciden con el comienzo del Periodo Pleistoceno y el comienzo de la alternancia de periodos glaciales e interglaciales, cabe suponer que aquel cierre fue uno de los factores que determinó el establecimiento del régimen glaciar en los Pirineos, que tanta importancia ha tenido en la conformación de las comunidades biológicas actuales de la cordillera.

800.000 Años:

Tradicionalmente se han venido reconociendo distintos episodios glaciales en las tierras septentrionales de Europa durante los últimos 3 millones de años. A la vieja relación de cuatro glaciaciones alpinas durante el último millón de años, bautizadas como Günz, Mindel, Riss y Würm (hay otras nomenclaturas para territorios no alpinos) por los respectivos nombres de los ríos en cuyos valles fueron halladas las primeras huellas, se han añadido hoy numerosas oscilaciones frías, unas cincuenta en los últimos tres millones de

años, según se desprende del análisis de los sedimentos coetáneos. Entre ellas, las cuatro más marcadas tuvieron lugar en los últimos 800.000 años, y se corresponden bien con los cuatro episodios glaciares tradicionales, pero no hay que olvidar que cada episodio glaciar incluía avances y retrocesos del hielo de ciclo más corto, en número de una veintena durante el último millón de años.

Durante cada periodo glacial las latitudes elevadas del hemisferio norte quedaron cubiertas por un casquete de hielo que podía descender hasta los 45 grados, y más al sur se formaron casquetes menores y desgajados, que cubrían las altas montañas de Eurasia y Norteamérica. Por lo que respecta a Europa tales casquetes ocupaban el Cáucaso, los Cárpatos, los Alpes, los Pirineos, norte de los Apeninos y parte del Macizo Central Francés. El mayor aparato glaciar era el de los Alpes, donde se encontraron y estudiaron por primera vez las huellas de las glaciaciones. En otras cadenas montañosas europeas, y entre ellas las ibéricas, sólo se puede hablar de glaciares activos, que dejaron sus huellas en las actuales lagunas glaciares de la Cordillera Cantábrica, Sistema Ibérico, Sistema Central y Sierra Nevada. Naturalmente, estas lagunas son más numerosas en los Pirineos, que poseían una verdadera cubierta de hielo, aunque pequeña, y que todavía mantienen glaciares residuales de circo y glaciares rocosos activos. Cabe mencionar, por cierto, que el estudio del glaciario europeo tiene una historia al menos tan densa y apasionante como el de la geología pirenaica que nos ha presentado el Dr. Pocovi.

En todas las zonas cubiertas por el hielo es difícil seguir los rastros de las glaciaciones, tanto más cuanto más antiguos son. Hay que tener en cuenta que estos rastros, en cada zona glaciada son recubiertos y normalmente borrados por el hielo de la glaciación siguiente. Y esto es más probable aún en regiones meridionales y alejadas del casquete polar, como son los Pirineos. De hecho, las conclusiones de los estudios sobre glaciario en la Cordillera Pirenaica se distribuyen en dos escuelas, la de los que abogan por un episodio glaciar único, la glaciación de Würm, y la de los que añaden a ésta una glaciación anterior, la de Riss. No se han encontrado apenas huellas de glaciaciones previas a la de Riss, al menos en la vertiente sur, y en todo caso la organización actual de la cadena desde el punto de vista de la biogeografía y de la ecología obedece casi exclusivamente a los efectos de la última glaciación (Serrano et al., 2009).

Es en relación con este punto cuando hay que mencionar el distinto papel, comentado antes, sobre las consecuencias de la diferente orientación de las cadenas montañosas en Norteamérica y en Europa. En el primer continente las principales cordilleras (Montañas Rocosas, Sierra Nevada, Sierras Madre Oriental y Occidental y en menor grado Apalaches)

tienen una orientación básicamente meridiana, y forman pasillos entre ellas por los cuales pueden desplazarse las especies hacia el norte o hacia el sur cuando el avance o retroceso de los hielos les fuerzan a ello. Por el contrario, en Europa y en la mayor parte de Asia, las cordilleras alpinas tienen una orientación transversal, y en los casos en que se extienden de mar a mar (Pirineos y Cáucaso, en menor grado Alpes y Cárpatos), constituyen barreras eficaces para el desplazamiento de las áreas ocupadas por ciertas especies. Ante el avance de los hielos las especies termófilas mueven sus áreas de distribución hacia el sur, hasta que se quedan arrinconadas ante cordilleras que no pueden atravesar, también a causa del hielo, y acaban extinguiéndose. Tras varios ciclos glaciales el número total de especies de dispersión lenta (por ejemplo árboles, que tardan bastante tiempo en alcanzar la edad reproductora y por lo tanto se difunden lentamente) acaba disminuyendo. Un ejemplo evidente lo encontramos en los pinos y robles, géneros con un número de especies mucho mayor en Estados Unidos que en Europa Occidental, territorios con una superficie similar y en los que existen respectivamente 94 y 39 especies autóctonas de estos géneros.

Las especies termófilas que de un modo u otro consiguen superar las barreras montañosas pueden continuar desplazando su área de distribución hacia el sur, para acabar acantonadas en las penínsulas mediterráneas (Ibérica, Itálica o Balcánica) donde las más sensibles al frío perviven en pequeños refugios litorales separados, lo que da lugar a numerosos procesos de diversificación insular y formación de nuevas especies. Lógicamente, durante los periodos interglaciares, de retroceso de los hielos, tiene lugar el proceso inverso, y las especies tolerantes al frío se desplazan hacia el norte, siendo también detenidas a veces por la disposición de las cordilleras. En resumen, la orientación de las cordilleras europeas es, como ya se ha indicado, causa de una disminución de la biodiversidad en este continente en relación con Norteamérica.

Paralelamente al desplazamiento de las áreas de distribución, las glaciaciones entrañan otros cambios en la corología de las especies, cambios que son particularmente relevantes en las regiones montañosas. Se trata del desplazamiento en altitud de los pisos de vegetación. La disminución de las temperaturas medias y el desarrollo de los aparatos glaciares implican el descenso de los pisos vegetales, descenso que puede ser muy notable, de hasta 1200 m en los Pirineos durante la glaciación de Würm. Durante la máxima extensión de los hielos pirenaicos, entre 40000 y 50000 años atrás, el piso nival o límite de las nieves permanentes descendió entre 600 y 1200 m, según la orientación de la vertiente y su localización geográfica (Arribas, 2004. Este título constituye un buen resumen, no por divulgativo menos fundamentado y completo, de la situación de las biotas pirenaicas

durante la última glaciación). Con ser considerable este cambio, es mucho mayor el experimentado por el área correspondiente: hoy, cuando dicho límite se sitúa por encima de los 3000 m, el piso nival ocupa en los Pirineos unos pocos kilómetros cuadrados, mientras que en el apogeo würmiense ocupaba la mayor parte de la cadena, decenas de miles de kilómetros cuadrados. Además, como los valles pirenaicos, a pesar de que su altitud les hubiera permitido albergar una cubierta vegetal desarrollada, carecían de ella por estar ocupados por potentes lenguas glaciares que venían de las zonas más altas, y que alcanzaban en buena parte de su recorrido centenares de metros de espesor, la cubierta vegetal realmente existente se vio todavía más mermada. Estas lenguas glaciares, hasta 60 en la época de máximo avance, estaban más desarrolladas en la vertiente norte de la cadena, donde el descenso de los pisos de vegetación era mayor, pero incluso en la vertiente sur se supone un espesor de más de 500 m para una de ellas, la del glaciar del Valle de Tena.

Por supuesto, los restantes pisos de vegetación, alpino, subalpino, montano, etc. experimentaron descensos similares o superiores en altitud e incrementos igualmente notables en superficie. En los periodos interglaciares tuvo lugar el fenómeno opuesto, con los pisos de vegetación y las correspondientes comunidades biológicas remontando en altitud y reduciendo drásticamente la superficie que ocupaban.

13.000 Años:

La retirada de los hielos pirenaicos en la última glaciación comenzó inmediatamente después del máximo glaciar, es decir, hace unos 40000 años, y hoy es constatable a partir de 36000 años y marcada desde hace 26000 años. Entre 20000 y 15000 años atrás hubo un pequeño repunte, coincidente con la existencia de numerosos abrigos en cuevas, ocupados de manera permanente o temporal por grupos humanos y que han proporcionado ejemplos extraordinarios del arte magdaleniense. A partir del año -15000 los glaciares reemprendieron su retirada, que fue interrumpida nuevamente durante unos 1300 años – de 12800 a 11500 años atrás - durante un enfriamiento temporal llamado Dryas reciente. Este episodio conforma la época llamada tardiglaciar.

El comienzo del tardiglaciar fue relativamente rápido, como lo fue también su finalización. Por este motivo sus causas no parecen claras, pues los cambios térmicos marcan una clara discontinuidad con el gradual calentamiento que había caracterizado los milenios precedentes. Su brusquedad ha llevado a postular como causa el impacto o la explosión de un supuesto cometa en Norteamérica, al que incluso se le ha dado nombre a pesar de

su carácter puramente hipotético. Hoy esa teoría ha sido oficialmente descartada por la endeblez de las pruebas aportadas en su favor. Más peso tiene entre los especialistas la idea de un debilitamiento de la Corriente Termohalina Global, que a su vez sería causado por un aporte brusco y enorme de agua dulce y fría, que se ha supuesto procedente del desagüe repentino del llamado Lago Agassiz, una masa de agua asentada sobre el casquete glaciar canadiense y acumulada previamente por fusión del hielo (Patterson, 2019). Una barrera de hielo que cerraba el lago pudo colapsarse y permitir la descarga del agua en el Atlántico. Sea esta u otra la causa implicada es muy probable que la consecuencia fuera un enfriamiento superficial del Atlántico Norte, una retirada de la Corriente del Golfo, y un restablecimiento de las condiciones glaciares en la Europa Occidental, incluyendo los Pirineos. Tras unos trece siglos de temperaturas bajas el aumento de éstas recommenzó, y empezó el actual periodo Holoceno.

El episodio tardiglaciar es la oscilación fría más duradera del Holoceno. Tras ella se han dado algunas oscilaciones frías menores, la más importante de las cuales es la llamada Pequeña Edad del Hielo, cuya duración depende de la zona considerada, pero ya en tiempos históricos y recientes. Se extendió entre los siglos XIV al XIX, aunque el periodo principal coincide con el llamado Mínimo de Maunder, un periodo de baja actividad solar que va de 1600 a 1715. Este episodio fue quizás el último de una cierta duración en el que los factores naturales fueron los principales determinantes de las condiciones climáticas de grandes áreas terrestres. A partir de 1850 la acción humana desempeñaría un papel más destacado.

Los subperiodos en que se divide el Holoceno (preboreal, boreal, atlántico, subboreal y subatlántico) abarcan en torno a un par de milenios cada uno, y el último, que alcanza hasta nuestros días, se sitúa en tiempos históricos, y su clima, su vegetación y su fauna pueden conocerse, por lo tanto, mediante datos documentales. En su conjunto el Holoceno es un periodo cálido en cuya primera parte se van recuperando las condiciones climáticas propias del interglacial Riss/Würm, pero claro está, con la ausencia de las especies animales y vegetales que han sucumbido durante la última glaciación, y con la incorporación de especies nuevas. En este tiempo quedaron formadas las comunidades biológicas que alberga hoy la Cordillera Pirenaica. Durante la segunda mitad del Holoceno, con la expansión de la agricultura y de la ganadería, la influencia humana sobre los distintos ecosistemas se incrementa, hasta hacerse predominante en nuestro tiempo. Las zonas de montaña en general y los Pirineos en particular, quedaron preservadas durante más tiempo de la acción del hombre. Igual que durante el Magdaleniense, constituyeron refugios en los que

las comunidades humanas podían mantener su modo de vida durante algunos siglos más, pero con el tiempo, también estas comunidades fueron adoptando las prácticas agrícolas y ganaderas, más tarde las industriales, y en la actualidad, como todas las demás, están sometidas a un intenso proceso de globalización cultural.

La vegetación del Holoceno en los Pirineos es muy parecida a la que existía antes de la última glaciación, quizás con pérdida de algunas especies de laurisilva que aún sobreviven en Andalucía y Canarias. Ciertas especies subtropicales como *Borderea chouardi* han llegado hasta nuestros días superando todas las épocas glaciales desde sus refugios en las paredes de barrancos prepirenaicos. Los cambios en la fauna fueron más importantes, habiéndose extinguido o emigrado al sur especies características, como los puercoespines, caballos primitivos, uros, osos de las cavernas, mamuts, zorros árticos, glotones, renos, bisontes europeos, etc. Sobrevivieron sin embargo especies criófilas, seguramente en nunataks o refugios de montaña emergentes del hielo (marmotas), o en barrancos más o menos abrigados o incluso en cavidades subterráneas (tritón pirenaico). Los bosques se transforman algo por la extensión diferencial de distintas especies. Así el haya, casi eliminada de los Pirineos, se recupera y extiende a partir de los refugios cantábricos o del Pirineo Oriental, y otras especies como el castaño y el carpe se extienden también, pero fuera de los Pirineos y probablemente con ayuda humana.

Hacia la mitad del Holoceno la cubierta viva de la cordillera y la delimitación de las áreas de distribución de sus organismos eran prácticamente idénticas a la que hoy existiría sin la intervención humana. A pesar de ésta sus grandes rasgos ecológicos no han experimentado grandes cambios hasta tiempos muy recientes. Todavía la Cordillera Pirenaica muestra su papel de barrera biogeográfica, albergando los límites de distribución que separan numerosas especies centroeuropeas de otras tantas mediterráneas. Todavía exhibe numerosas áreas minúsculas que albergan poblaciones residuales de distintas especies, aisladas al norte o al sur de su área principal. Algunas de tales poblaciones se hallan gravemente amenazadas, y en ciertos casos se han extinguido recientemente. Todavía se mantienen numerosos endemismos pirenaicos, que han evolucionado in situ, bien en nunataks, bien en valles aislados y abrigados, bien en hábitats insulares protegidos del frío (cavernas, lagunas, paredes rocosas, etc). La lista de ejemplos para estos casos es demasiado extensa para exponerla aquí.

170 Años

No pensaba en principio extender estos comentarios hasta nuestros días, por cuanto implican un tiempo que no puede ser calificado de geológico, y porque los agentes operativos en el modelado de las biocenosis pirenaicas son predominantemente artificiales. Pero hay un detalle que me ha llevado a añadir estas líneas. Se trata de la consideración del Holoceno como periodo geológico.

La postura tradicional, y aún oficialmente mantenida, es considerar al Holoceno como un periodo geológico más dentro de la Era Cenozoica (no se emplea ya el nombre de Era Cuaternaria o Antropozoica), siguiente al Pleistoceno y de una duración 250 veces más breve. Precisamente su corta duración hasta el momento, apenas 12000 años, ha llevado a algunos autores a postular que no se trata de un periodo independiente, sino de una simple fase interstadial dentro de la glaciación de Würm, una fase que además estaría próxima a su fin con un nuevo enfriamiento global dentro de uno o dos siglos. Por el contrario, otros autores consideran que la importancia de los efectos de las actividades humanas sobre el medio natural es de alcance planetario, y que el hombre se ha convertido en un agente geológico más. Tales autores han propuesto que el periodo Holoceno debe considerarse terminado y que debe establecerse un nombre para el periodo que empieza. La posición de estos autores es polémica, y no se ha aceptado aún oficialmente, pero el término Antropoceno, propuesto para el nuevo periodo por el Premio Nobel de Química Paul Crutzen, parece haberse asentado, y la Unión Internacional de Estratigrafía ha creado un comité para estudiar la posible aceptación del mismo. Solamente por esta razón haré unos breves comentarios sobre la modificación de áreas de distribución a causa de la influencia humana en los Pirineos.

Ya se ha resaltado de manera suficiente el papel de barrera frente al desplazamiento de las áreas que el Pirineo desarrolló a partir de su erección y especialmente durante las glaciaciones cuaternarias, y también su papel en la generación o extinción de nuevas especies acantonadas en refugios aislados. Pero este papel de barrera no ha sido nunca absoluto, ni la aparición o extinción de especies son debidas únicamente a procesos naturales. Voy a comentar ahora unos ejemplos de cruce artificial de la cadena de los Pirineos, de extinción de poblaciones residuales y de introducción de nuevas especies gracias a la acción humana.

El hombre ha introducido numerosas especies nuevas en la región pirenaica, como lo ha hecho en otras partes del planeta. Dejando aparte las introducciones derivadas de la agricultura (perros, gatos, cabras, ovejas, vacuno, cerdos, pollos, etc.) también se han

introducido especies silvestres, como el erizo moruno, el visón americano, la marmota, etc. La introducción de la marmota, relativamente reciente, merece un comentario. Se llevó a cabo a partir de 1948 mediante sueltas sucesivas de ejemplares transportados desde los Alpes. La iniciativa y la gestión de la introducción corrieron a cargo de Marcel Couturier, un conocido especialista francés, autor de varias monografías sobre mamíferos de montaña. El argumento con que justificaba la introducción era que la marmota era una especie autóctona del Pirineo, de donde había desaparecido hacia el final de la última glaciación.

El argumento del Dr. Couturier no parecía muy sólido, pues si la especie se había extinguido al final del Würm no debía estar muy adaptada a la vida en la alta montaña, pero su supervivencia en los Alpes auguraba el éxito en la reintroducción. Y en efecto, el éxito se dio, y se dio con rapidez. En 1963 se observaron las primeras marmotas en la vertiente española de los Pirineos, cerca de Torla; en 1974 la especie llegó al Pirineo Catalán, y diez años más tarde al Navarro. He aquí un ejemplo de reintroducción acertada, y de ampliación veloz del área de distribución de una especie mediante la intervención humana, si bien al parecer, antes del Holoceno la marmota común no se encontraba en la alta montaña sino en zonas más bajas.

Otro ejemplo en contrario es el de la extinción del bucardo (*Capra pyrenaica*) en los Pirineos y en la Cordillera Cantábrica, extinción debida casi exclusivamente a la acción humana, concretamente a la caza abusiva. La especie fue cazada ya durante la última glaciación, y muy intensamente durante el magdalenense. Sin embargo siguió siendo abundante a lo largo de casi todo el Holoceno. En el siglo XIV se señalan todavía rebaños de hasta 400 ejemplares, pero a partir del siglo XVI los efectivos comienzan a disminuir y el área ocupada se retrae. En el siglo XVII la especie comienza a hacerse rara en la vertiente francesa, y en el XVIII en la española. Las poblaciones cantábricas disminuyen rápidamente y desaparecen a mediados del siglo XIX, después de haberlo hecho las francesas. En la vertiente española de los Pirineos la especie era por entonces bastante escasa, a pesar de lo cual la presión cinegética se mantuvo e incluso aumentó. Hacia los comienzos del siglo XX un censo no muy fiable indicaba la existencia de unos 40 ejemplares acantonados en el valle de Ordesa y en las cercanías del Monte Perdido. Con ello comenzó la preocupación por el porvenir de la especie en los Pirineos, y uno de los motivos de la creación del Parque Nacional de Ordesa fue, justamente, su preservación. Sin embargo la caza furtiva continuó. Hacia 1970 se tienen estimas de unos 20 ejemplares, en 1980 una docena, y a principios de los 90 se obtienen distintas estimas, con entre 6 y 14 ejemplares.

El Instituto Pirenaico de Ecología emprende un seguimiento más preciso, pero en 1994 sólo encuentra tres hembras viejas. Se intentó entonces salvar la población cubriendo a las hembras con machos de otra subespecie, traídos de la Sierra de Gredos, pero el intento fracasó. La población no alcanzaría el siglo XXI por muy poco, pues la última hembra se halló muerta a principios del año 2000. Se ha discutido la clonación de la especie a partir del ADN conservado y obtenido de este cadáver, pero no parece factible y no se ha intentado. En este caso la intervención del hombre fue reduciendo de manera sostenida el área ocupada por la especie y las medidas tomadas para impedir su desaparición llegaron demasiado tarde.

Para la migración de las especies el Pirineo no ha sido nunca un obstáculo impenetrable. En las épocas de bonanza térmica el paso ha sido posible y aún fácil a través de casi cualquiera de los puertos de montaña, y los ríos de ambas vertientes han constituido excelentes vías de penetración. En los periodos más fríos por lo menos era posible el paso entre la Península Ibérica y el resto de Europa por los extremos de la cadena, de manera que ésta, más que impedir, frenaba el paso de algunas especies. La similitud ecológica entre la región cantábrica y el suroeste de Francia ha hecho del extremo occidental de los Pirineos un excelente corredor por el que las especies centroeuropeas podían pasar a nuestra Península, o regresar a sus áreas principales cuando las circunstancias lo exigían. Del mismo modo las condiciones ecológicas de la Provenza y el Rosellón han permitido el paso en ambos sentidos de las especies mediterráneas, hacia o desde sus refugios peninsulares, por el pasillo oriental. Pero estos movimientos han sido en general naturales, y no causados por la acción humana.

Otros movimientos, como la introducción de la marmota o la extinción de la cabra montés, antes comentada, sí se deben a la intervención directa y consciente del hombre. Pero la mayor parte de las intervenciones humanas son indirectas, y muchas de ellos provocan efectos no previsibles ni deseados. Comentaré un ejemplo brevemente.

La mixomatosis es una enfermedad vírica que afecta naturalmente a algunas especies de conejos americanos del género *Sylvilagus*. En 1896 se descubrió que podía afectar también al conejo europeo, y en este caso de forma muy grave y fuertemente contagiosa. El conejo europeo, originario de la Península Ibérica, sur de Francia y quizás también de Marruecos, existía en los Pirineos desde el Pleistoceno medio y en tiempos históricos se había extendido desde Irlanda hasta Siberia. Fue introducido en Australia ya en el siglo XVIII, pero solo a partir de una introducción privada en 1859 comenzó a extenderse como plaga por el continente, y a finales del siglo XIX constituía ya una plaga catastrófica. En

el siglo XX se tomaron medidas para reducir sus poblaciones, principalmente mediante la caza y la erección de vallas, y en 1916 se propuso el uso del virus del mixoma, pero éste no llegó a usarse hasta 1943, y no tuvo éxito hasta 1950. En los dos primeros años desde 1950 la mixomatosis se extendió por toda Australia y mató unos 500 millones de conejos. Enterado de lo que por entonces se suponía un éxito absoluto en el control biológico de la plaga de conejos en Australia, y molesto por los destrozos que los conejos silvestres hacían en su jardín, un médico francés, Armand Delille, se hizo con una muestra del virus del mixoma y lo inoculó en dos ejemplares de conejo que liberó junto a su casa, cerca de París. La epidemia se extendió de modo fulminante por toda Francia, y en un año alcanzó España mediante el paso activo o pasivo de conejos infectados por el corredor pirenaico oriental, así como Portugal, Italia, e Inglaterra, provocando en los conejos de estos países mortalidades superiores al 90%. En el caso de España, dada la existencia de depredadores con dietas especializadas en conejos, como el águila imperial y el lince ibérico, la disminución de la población de aquellos determinó inmediatamente la de sus depredadores, que se hallan en peligro de extinción. En otros países, donde los depredadores tenían una dieta más amplia los efectos no fueron tan drásticos, pero en todas partes los conejos eran un elemento esencial de los ecosistemas mediterráneos, que resultaron seriamente afectados.

Con el tiempo la selección natural ha producido tanto en Australia como en Europa estirpes de conejos inmunes a la mixomatosis, y las poblaciones han alcanzado un equilibrio demográfico en el que la natalidad iguala a la mortalidad, pero los efectivos son mucho más bajos que antes de la epizootia. Por otra parte la llegada de otros virus y nuevas mutaciones de virus del mixoma han mantenido una tasa de mortalidad elevada. Son estas nuevas cepas mutadas las que recientemente (2018) han comenzado a afectar de mixomatosis a otro género de mamíferos, las liebres, tanto a la especie europea como a las ibéricas. A diferencia de lo que ocurrió con la infección inicial de los conejos esta no parece haber llegado a través de los pasos pirenaicos.

2 Meses:

Esta descripción de las vicisitudes geobiológicas de la Cordillera Pirenaica se inicia tomando el trabajo de Pardo y Arenas ya citado como punto de partida. Tras un recorrido de 250 millones de años, la historia termina hace dos meses, con la presentación del informe que el Observatorio Pirenaico de Cambio Climático ha elaborado con las aportaciones de

más de 100 expertos españoles y franceses para la Comunidad de Trabajo de los Pirineos (Comunidad de Trabajo de los Pirineos, 2018). No voy a detallar su contenido, pero recomiendo encarecidamente su lectura. Este final es muy distinto del comienzo, pues tiene poco que ver con la geología, y menos con la historia de los estudios geológicos del Pirineo (sobre este punto añadido en la bibliografía un par de títulos que no pueden figurar en la exhaustiva lista presentada por el Dr. Pocovi). Pero como he dicho en el párrafo anterior, nuestro tiempo podría formar parte de un nuevo periodo geológico en el que el hombre es el factor más importante en la historia geobiológica de nuestra cordillera, y en tal caso este párrafo estaría también justificado. Además el informe de la CTP presenta algunos rasgos comunes con el artículo inicial, que permiten el tomarlo como referencia final de la exposición: ambos artículos se han publicado casi simultáneamente en el mismo mes (Noviembre pasado); ambos tienen relación con la Universidad de Zaragoza, que es una de las siete instituciones científicas que han elaborado el segundo; y éste se halla también relacionado con nuestra Academia a través de la Estación Experimental de Aula Dei y del Instituto Pirenaico de Ecología, dos centros de investigación del CSIC que son otras de las instituciones que han participado asimismo en la elaboración del informe, y a las que pertenecen o han pertenecido dos de los Académicos de esta casa, el Dr. D. Juan Marín, y quien les ha hablado.

Bibliografía

Arribas, O., (2004), *Fauna y paisaje de los Pirineos en la Era Glaciar*. Lynx Ed., Barcelona, 540 pp.

Comunidad de Trabajo de los Pirineos (Ed.), *Nuevo informe OPCC2: El Cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación. Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos.*, 150 pp. En. <https://www.opcc-ctp.org/sites/default/files/documentacion/opcc-informe-es-print.pdf>

Driscoll, N.W. and Haug, G.H., (1998) A Short Circuit in Thermohaline Circulation: A Cause for Northern Hemisphere Glaciation. *SCIENCE*, vol. **282**, pp. 436–438.

Fenner, F., (1983). The Florey Lecture, 1983 - Biological control, as exemplified by smallpox eradication and myxomatosis. *Proc. R. Soc. Lond. B.* **218** (1212): 259–285.

Lasanta, T. y Pueyo, Y., (2018), *Del Pirineo al estudio de las montañas del mundo*. Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 581 pp.

Pardo, G. y Arenas, C., 2018, La verdadera historia de la Balsa de Piedra. *ConCiencias*, n.º **21**, pp. 4-18

Pardo, G. y Pocovi, A., (2016), *Excursión Pirenaica para una mañana de Abril (9.4.2016)*. *Actividad dedicada a los profesores tutores de la 7.ª Olimpiada Española de Geología*. Ed. de los autores.

Patterson, W. (2019), *Pers. Comm. In litteris*

Ronge T.A. et al, (2016), Radiocarbon constraints on the extent and evolution of the South Pacific glacial carbon pool, *Nature Communications*, **7**: 11487.

Serrano, E., (1989), Las aportaciones más recientes sobre las glaciaciones cuaternarias de los Pirineos. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, **18**, 1989, pp. 74-77

Wegener, A., 1920. *Die Entstehung der Kontinente un Ozeane*, Ed. F. Vieweg, Braunschweig, (2.^a Edición. En la primera edición, de 1912, no aparecía el nombre de *Pangea*)