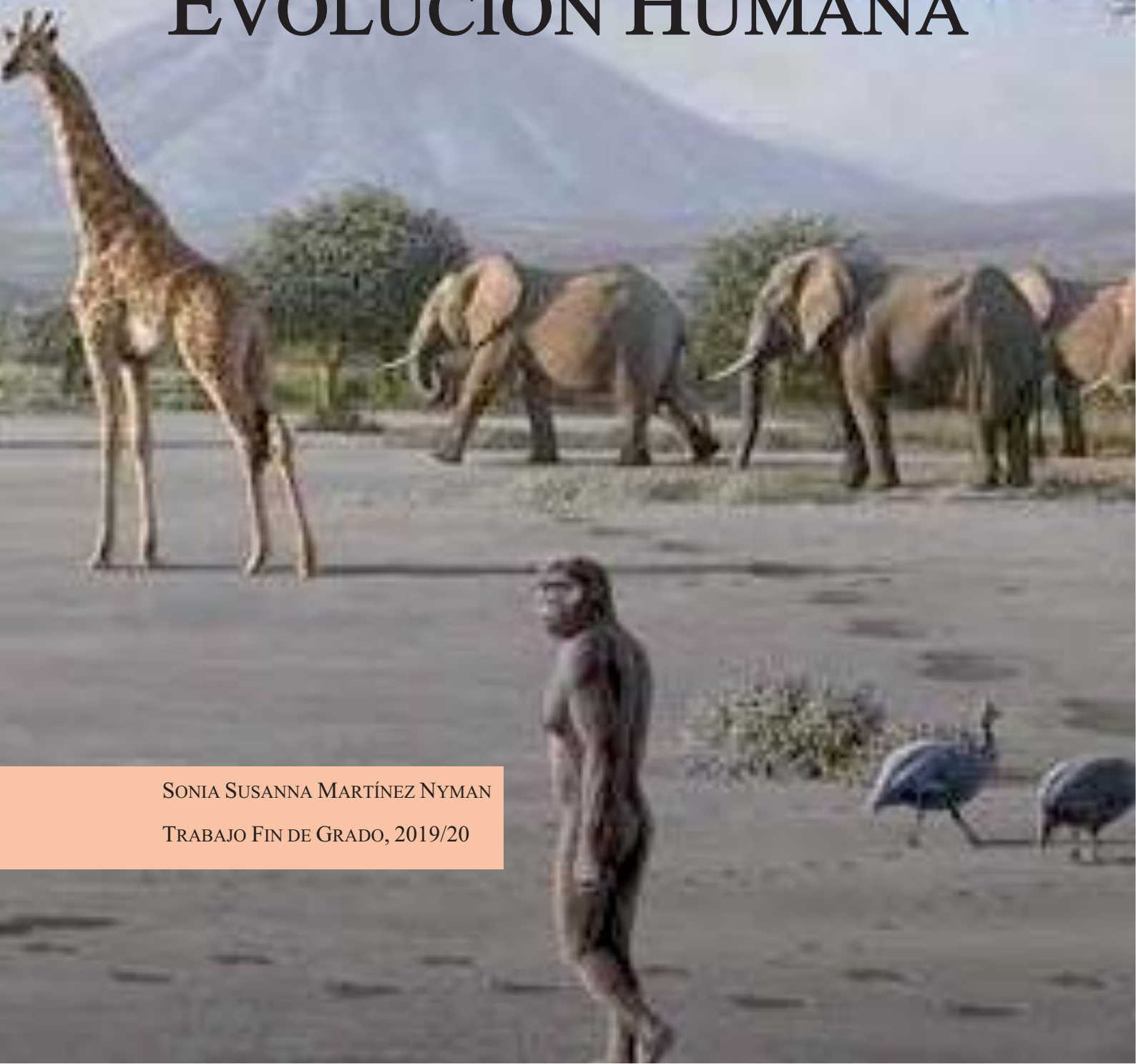


TECTÓNICA DE PLACAS Y LA EVOLUCIÓN HUMANA

SONIA SUSANNA MARTÍNEZ NYMAN

TRABAJO FIN DE GRADO, 2019/20



INDICE:

| | |
|---|----|
| ANEXO I..... | 1 |
| ANEXO II..... | 2 |
| RESUMEN Y PALABRAS CLAVE..... | 5 |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 1.1. JUSTIFICACIÓN..... | 6 |
| 1.2. OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)..... | 7 |
| 1.3. METODOLOGÍA..... | 7 |
| 2 DESARROLLO DE CONTENIDOS..... | 11 |
| 2.1. UN RECORRIDO HISTÓRICO POR LA TECTÓNICA DE PLACAS..... | 11 |
| 2.1.1. DERIVA CONTINENTAL..... | 13 |
| 2.1.2. EXPANSIÓN DEL FONDO OCEÁNICO..... | 16 |
| 2.1.3. LA TECTÓNICA DE PLACAS..... | 17 |
| 2.1.4. EL CICLO DE WILSON..... | 20 |
| 2.2. EL ÁRBOL DE LA VIDA..... | 22 |
| 2.2.1. ¿QUÉ ES UNA ESPECIE?..... | 22 |
| 2.2.2. TIPOS DE ESPECIACIÓN..... | 23 |
| 2.2.3. TEORÍAS EVOLUCIONISTAS: GRADUALISMO VS EQUILIBRIO PUNTUADO..... | 26 |
| 2.3. LOS PRIMEROS PASOS..... | 29 |
| 2.3.1. LA EVOLUCIÓN HUMANA..... | 29 |
| 2.3.2. LA FAMILIA HOMINIDAE..... | 31 |
| 2.4. TECTÓNICA Y EVOLUCIÓN HUMANA: RIFT AFRICANO, EL PUNTO DE PARTIDA..... | 40 |
| 2.4.1. LA FORMACIÓN DEL GRAN RIFT DE ÁFRICA..... | 40 |
| 2.4.2. LA ACTIVIDAD TECTÓNICA Y LOS HOMÍNIDOS..... | 43 |
| 2.4.3. LA SALIDA DE ÁFRICA..... | 47 |
| 2.5. LA TECTÓNICA A NIVEL MUNDIAL..... | 51 |
| 2.5.1. LOS CAMPOS FLÉGREOS..... | 52 |
| 2.5.2. EL SUPERVOLCÁN TOBA..... | 53 |
| 2.5.3. LA ISLA DE FLORES..... | 54 |
| 3. CONCLUSIÓN Y AGRADECIMIENTOS..... | 55 |
| 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 58 |

RESUMEN:

La tectónica de placas es un conjunto de fenómenos geológicos que ha estado presente a lo largo de la historia de la Tierra. Es el motor principal en la formación de estructuras orográficas. Barreras que condicionan el desarrollo de distintas climatologías, entornos medioambientales y la evolución de la biodiversidad. En este trabajo se muestra al lector cómo una formación geológica concreta, el Gran Rift de África, pudo haber originado la evolución humana. No obstante, para llegar a esa conclusión se realiza un primer breve recorrido de las distintas teorías asociadas a la tectónica de placas destacando a autores importantes como Wegener (1915), Hess (1962) y Wilson (1960). A continuación, se pasa a definir lo que significa el término especie y a explicar los diversos modelos que actúan en el proceso de la especiación. Posteriormente, el foco de atención se centra en el transcurso de la hominización dentro de un contexto tectónico localizado en África. Finalmente, se exponen algunos casos singulares donde la rama homínida, fuera del continente africano, se ha visto afectada y condicionada en distintos periodos históricos por fenómenos ligados a la tectónica de placas, como es el caso del supervolcán Toba, los Campos Flégreos o la aparición de una nueva especie, *Homo floresiensis*.

ABSTRACT:

Plate tectonics is a set of geological phenomena that has been present throughout Earth's history. It is the main engine in the formation of orographic structures. Barriers that determine the development of different climatology types, environments and the biodiversity evolution. The following work shows the reader how a specific geological formation, the Great African Rift, could have originated in the human evolution. However, to reach this conclusion, a first brief overview of the different theories associated with plate tectonics is carried out, highlighting relevant authors such as Wegener (1915), Hess (1962) and Wilson (1960). Afterwards, it defines the meaning of the term species and explains the models that act in the speciation process. Consecutively, it focuses the attention on the course of hominization within a tectonic context located in Africa. Finally, it is exposed some singular cases where the hominid branch, outside African continent, has been affected in different historical periods by plate tectonics, such as the Toba supervolcano, the Campos Flégreos or the appearance of a new species, *Homo floresiensis*.

PALABRAS CLAVE: Tectónica de placas, Gran Rift de África, Evolución humana, salida de África, *Homo neanderthalensis*, *Homo sapiens*, *Homo floresiensis*.

KEYWORDS: tectonic plates, Great African Rift, Human evolution, out of Africa, *Homo neanderthalensis*, *Homo sapiens*, *Homo floresiensis*.

1. INTRODUCCIÓN:

1.1. JUSTIFICACIÓN

Distintas posturas a lo largo de la historia se han cuestionado el origen y los mecanismos que han intervenido en la evolución humana. Algunas de estas posturas, como el fijismo, el creacionismo, el lamarckismo o el darwinismo (Estela Raffino, 2020), irán apareciendo durante el desarrollo de este trabajo. Sin embargo, el darwinismo se ha convertido en la base de todas las teorías evolutivas actuales como el neodarwinismo o la teoría sintética de la evolución, aunque con alguna que otra modificación puesto que el conocimiento siempre avanza (Junta Andalucía, 2020). Dichas teorías actuales se pueden aplicar a disciplinas como la arqueología o la geología.

La Arqueología es una disciplina histórica que se encarga específicamente del estudio de las sociedades, no necesariamente del pasado, mediante fuentes materiales y busca la caracterización científica de las mismas utilizando para ello un conjunto de técnicas específicas (Sánchez Cerezo, et al., 2004). En este sentido, la evolución humana puede ser estudiada e investigada a través de esta disciplina. Para que ésta llegue a conocer como se ha dado lugar a dicho proceso evolutivo rastrea una serie de registros materiales como restos fósiles humanos y faunísticos, industria lítica, evidencias del uso del fuego, tejidos, adornos personales, pinturas murales, estructuras con una función funeraria, etc. y posteriormente le aplica distintas técnicas multidisciplinares, dependiendo del material, para poder obtener un tipo de información que puede estar relacionada con la datación, dieta, movilidad, proceso de fabricación, funcionalidad y procedencia, entre otros aspectos.

La Geología, por su parte, es una ciencia que, a diferencia de la anterior, estudia el origen, la formación y la evolución de la Tierra, así como los materiales y las estructuras que la componen (Sánchez Cerezo, et al., 2004). En cuanto a sus estructuras ubicadas en la forma definitiva que presenta actualmente la Tierra, tanto en su interior como en su superficie, son resultado de la intervención de una serie de procesos que se desarrollan de manera cíclica en el planeta. Dichos procesos, observados desde el punto de vista de la evolución de la biodiversidad, han influido directamente en la vida en la Tierra.

Al unir ambas disciplinas, la arqueología y la geología, nos hallamos ante un nuevo campo de estudio que combina sus respectivos conocimientos. Si se aplica la Geoarqueología al estudio de la evolución humana se puede obtener nuevas interpretaciones y respuestas a las cuestiones que fueron planteadas en su momento por las distintas posturas comentadas anteriormente. Como veremos a lo largo de este trabajo, el Gran Rift de África, fenómeno geológico resultado de una separación entre dos placas tectónicas, es considerado como el motor principal que posiblemente iniciara la evolución humana. Otros casos singulares que se irán exponiendo como los Campos Flégreos, el supervolcán Toba y la aparición de una nueva especie, *Homo Floresiensis*, vuelven a mostrar cómo fenómenos relacionados con la tectónica de placas y nuestra especie

humana se unen para dar lugar a una serie de hitos que marcarán un antes y un después en la historia de la humanidad.

La realización de este trabajo se podría justificar desde una perspectiva multidisciplinar. La arqueología por si misma puede obtener información relativa al pasado, presente o futuros de las sociedades humana, pero hay que tener en cuenta que solamente uniéndose con otras disciplinas le permite saltar barreras y ampliar el campo de estudio, esto es la multidisciplinariedad. La vida consiste en arriesgar, vivir nuevas experiencias y aventuras, conocer mundo, etc. Sin embargo, si optamos por quedarnos atrapados, dando vueltas en un mismo territorio, nunca avanzaremos y el conocimiento terminará por no aportar nada nuevo. En este caso, *Tectónica de placas y la evolución humana*, demuestra que para esclarecer algunas cuestiones que se van a ir planteando durante la historia, o mejor dicho durante la prehistoria, es necesario considerarla como una materia multidisciplinar, abierta a la aportación de nuevos conocimientos pertenecientes a diversas áreas de estudio.

1.2. OBJETIVOS (General y Específicos)

Tal y como se titula este trabajo, *Tectónica de placas y la evolución humana*, el objetivo principal es llegar a comprender la capacidad que un fenómeno geológico, como es la formación tectónica del Gran Rift de África, pudo iniciar un proceso que ha estado en boga a lo largo de muchos años entre importantes autores como Charles Darwin y que nos atañe, la especie humana.

Este principal objetivo se puede desglosar en objetivos específicos:

1. Introducir al lector en qué consiste los principios de la teoría de la tectónica de placas.
2. Definir y explicar el concepto especie y los distintos mecanismos que intervienen en el proceso de la especiación.
3. Hacer un breve recorrido por la evolución humana.
4. Exponer otros posibles fenómenos geológicos que han intervenido en la supervivencia y evolución de nuestra especie como es el caso del supervolcán Toba, los Campos Flégreos y la Isla de Flores.
5. Conocer si cabe la posibilidad de que existan otros factores tanto internos como externos como por ejemplo aquellos de carácter climatológico, biológico, medioambiental y genético, entre otros.

1.3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la realización del trabajo ha sido esencialmente bibliográfica, aunque apoyada de manera esporádica por fuentes audiovisuales y tanto ilustraciones como tablas. Consta de un total de 48 recopilaciones pertenecientes a distintos campos de estudio, como es la Geología, Genética, Biología, Paleontología,

Prehistoria e Historia, entre otras disciplinas. La mayoría corresponde a artículos científicos obtenidos de varias plataformas como Academia.edu, Researchgate, Dialnet, etc., siendo un total de 31. Las fuentes de información restantes se componen de: 6 manuales y de 3 capítulos de sus respectivos manuales, siendo algunos facilitados por la biblioteca de la Universidad de Sevilla y por familiares; así como de 2 documentales y 6 páginas web adquiridos a través del buscador Google y la plataforma Youtube.

En cada uno de los cinco apartados del trabajo se han utilizado y seleccionado de manera rigurosa diversas fuentes bibliográficas que están asociadas con sus relativas temáticas y que, gracias a ellas, han conseguido dar forma al presente TFE. A continuación, se irán comentando todas las fuentes bibliográficas:

Un recorrido histórico por la tectónica de placas da nombre al primer apartado que se compone de 8 fuentes bibliográficas (6 artículos, 1 manual y 1 capítulo de su correspondiente manual). Dentro de los artículos destaca *Alfred Lothar Wegener y la tectónica de placas* llevada a cabo por Pérez, C., et al (1997). Es un artículo biográfico donde narra brevemente la vida de Wegener y cómo llegó a interesarse y desarrollar la teoría de la Deriva continental. El siguiente artículo, *Tectónica de placas y evolución biológica*, escrita por Sequeiros, L. et al (1995) muestra las distintas teorías e hipótesis que fueron surgiendo antes de la expuesta por Wegener. *Recepción temprana de la teoría de la Deriva continental y su competencia con las teorías rivales* desarrollada por Pérez-Malvárez, C. et al (2003), trata sobre dos teorías previas que postulan distintas posibilidades sobre la organización y conexión entre las masas de tierra, como son el Contraccionismo y los Puentes intercontinentales. Frankel H. (1995) publica *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas* en el que se presentan algunos argumentos que defienden la teoría de la Expansión del fondo oceánico como es la polaridad de la Tierra. En *Más allá de la geografía especulativa: orígenes de la Deriva continental*, realizada por García Cruz, C.M. (2008), se muestra al lector en qué consiste la teoría de la Deriva continental. Finalmente, *El ciclo del supercontinente* de Nance, D. et al (2014), explica la teoría del ciclo de Wilson donde las distintas masas de tierra responden a un ciclo constante de fragmentación y reunificación. En cuanto al único manual consultado, titulado como *Biología y Geología* y realizado por una serie de autores, Fernández, M.A., et al (2012), expone distintos conocimientos de dos teorías que actualmente siguen vigentes: la Deriva continental y la Expansión del fondo oceánico. *Tectónica de placas: el desarrollo de una revolución científica* responde a un capítulo de un manual desarrollado por Tarbuck y Lutgens (2005) en el que se presentan las ideas principales de la Deriva continental, la Expansión del fondo oceánico y el Ciclo de Wilson, así como los distintos tipos de bordes de placas tectónicas.

El segundo apartado, *El árbol de la vida*, está formado por 5 artículos, 2 capítulos de dos manuales y 2 manuales. *Especiación: modos y mecanismos* da nombre al primer capítulo de un manual, concretamente el capítulo 18. Se publica por Perfectti, F. (2002) y en él se exhiben tanto las posibles definiciones del término especie a través de distintas perspectivas, como los tres mecanismos de especiación. El segundo capítulo corresponde a *Teoría evolutiva: Fundamentos, impactos y debates*, llevado a cabo por Massanni, A.

(2010). En él se expone la teoría del Equilibrio puntuado que contradice al Gradualismo. El manual *Biología y Geología* también se utiliza en este apartado para poder explicar las similitudes que presentan las mismas especies y demostrar que todos los seres vivos provienen de un mismo tronco. *Cómo evolucionaron los humanos* por Boyd, R. y Silk, J.B. (2001), es un manual en el que se expone algunos conceptos del término especie y de los mecanismos de especiación. *La teoría del equilibrio puntuado, una alternativa al neodarwinismo* es un artículo publicado por Olea Franco, A. (1986), que muestra las diferencias existentes entre dicha teoría y la Gradualista. Aguilera, M y Silva, J.F. (1997) dan a conocer *Especie y biodiversidad* donde se exhiben los distintos significados que puede tener el término especie. Cuevas García, E. (2012) presenta *Mecanismo de especiación ecológica en plantas y animales*, en el que, tal y como se puede comprobar en el título del artículo, se describen los mecanismos de especiación existentes. *La fuerte impronta gradualista de Darwin* realizada por Makinistan, A. (2012) explica al lector en qué consiste dicha teoría. Finalmente, Vera Cortés, J.L. (1999) da a conocer *Teoría evolutiva, el gradualismo y eslabón perdido* donde se muestran ambas posturas y sus correspondientes argumentaciones.

El siguiente apartado, *Los primeros pasos*, corresponde con el tercer apartado de este trabajo, enfocado en la evolución humana. Se compone de 3 artículos, 4 manuales y 2 páginas web. El primer artículo, *La biología y la cultura en la evolución humana* de Dobzhansky, T. (1963) expone posibles teorías sobre la evolución humana como es el lamarckismo y la teoría autogenética. Blumenshine (1992) lleva a cabo *Carroñeo y evolución humana*, un artículo centrado en dar a conocer las distintas teorías sobre la adquisición de alimento por parte de los homínidos. Salamanca Ballesteros y Mendoza Ladrón de Guevara (2009) presentan *Ginecología evolucionista. La salud de la mujer a la luz de Darwin* donde muestran en qué consiste el parto rotatorio de las mujeres. *Los fósiles: huellas de la evolución*, es un manual publicado por García Ramos, M. (1987) que comenta el posible mecanismo que dio origen a la evolución humana, así como las distintas especies que fueron surgiendo. El manual, *Cómo evolucionaron los humanos*, se ha vuelto a utilizar en este apartado puesto que aporta una información detallada de cada uno de los rasgos morfológicos y conductuales de las distintas especies que componen la rama humana. A través del *Nuevo diccionario de la lengua castellana* (2004), considerado en este caso como un manual, se ha podido obtener una mayor información sobre lo que realmente significa el término especie humana. *Breve historia del mundo. Las claves para entender la historia del hombre*, es otro manual realizado por Íñigo Fernández, L.E. (2011), que trata de explicar, de manera breve, los procesos que han intervenido en la evolución humana, así como las distintas especies que forman el árbol de la humanidad. La siguiente página web <https://concepto.de/ser-humano/> se ha utilizado para poder aclarar el concepto ser humano o especie humana. Asimismo, en la página oficial de la Junta de Andalucía www.juntadeandalucia.es se ha colgado un artículo en el que se exhiben las distintas posturas evolucionistas por parte de Darwin, Lamarck, el creacionismo y el fijismo.

Tectónica y evolución humana: Rift Africano, punto de partida pertenece al cuarto apartado cuyo objetivo es explicar el proceso de formación del Gran Rift de África

y cómo dicho fenómeno da lugar a la evolución humana. Para ello se han utilizado 16 artículos, 1 manual, 1 capítulo de un manual y 1 página web. *Biología y geología*, el manual comentado en apartados anteriores, ha servido para explicar en qué consiste la tectónica de placas y los diversos límites de placas que existen, así como el capítulo *Tectónica de placas, una revolución científica* y los artículos *El ciclo del supercontinente* y *De la deriva de los continentes a la tectónica de placas*, también usados en uno de los apartados anteriores, concretamente en el primero. Los siguientes artículos solo se han aplicado en el cuarto apartado como es el caso de *A 17-My-Old whale constrains on set of uplift and climate change in east Africa* realizado por Wichura, et al, (2015). En este artículo se muestra al lector una evidencia importante que confirma la formación del Gran Rift de África, el esqueleto de una ballena. Otro de los artículos usados es *El Rift del este de África* por Piña, A.B. (2011) y *The African plate* de Bruke (1996), cuya finalidad es presentar los posibles procesos de formación del Gran Rift, su localización y cómo se estructura. En *The African plate, a history of oceanic crust accretion and subduction since the Jurassic*, otro artículo, publicado por Gaina, C. et al (2013), se aporta información sobre algunos mecanismos de formación de grandes Rifts llevados a cabo a lo largo de la historia de la Tierra y que se encuentran asociados con el Gran Rift de África. *Tectonics, volcanism, landscape structures and human evolution in the African Rift* escrito por Bailey, King y Manighetti (2000), junto a *Tectonics and human evolution* de King y Bailey (2006) y *El acceso regular de hidricos potables podría explicar la distribución de Australopithecus afarensis* de Estebaranz Sánchez, F. et al (2016), se centran en exponer el posible modo de adaptación de la especie humana en la nueva topografía dejada por el Gran Rift de África. Se publica el artículo de Coppens (1994), *East side story, the origin of humankind*, el cual explica los procesos climatológicos y geológicos que dieron lugar a dos nuevas ramas, los pánidos y los homínidos. *La salida de África, un escenario alternativo para la primera dispersión humana en Eurasia*, realizado por Agustí y Lordkinapidze (2017); *La penetración de los homínidos por el Estrecho de Gibraltar en el contexto general de su distribución* de Diéguez, I. et al (1998); *Longstanding biogeographic patterns and the dispersal of early Homo out of Africa and into Europe*, llevado a cabo por Van der Made y Mateos (2010); *From Africa to Eurasia – early dispersal*, siendo su autor Bar-Yosef y Belfer-Cohen (2001); y *Tectonics and human evolution*, de King y Bailey (2006), son alguno de los artículos utilizados donde se exponen las distintas teorías sobre las posibles salidas de África por parte de los homínidos. En último lugar cabe destacar <https://geology.com/articles/east-africa-rift.shtml>, una página web en la que se intenta mostrar al lector cómo se estructura el Gran Rift de África.

En el quinto y último apartado, *La tectónica a nivel mundial*, se centra en explicar las posibles salidas de África por parte de los homínidos, así como casos singulares en los que los homínidos se han visto afectados por fenómenos geológicos fuera del continente. Este apartado está formado por 5 artículos, 4 páginas web y 2 documentales. Las siguientes páginas webs <https://www.europapress.es/ciencia/habitat-y-clima/noticia-sucumbieron-neandertales-cataclismo-volcanico-20150320181844.html>, <https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/la-humanidad->

casi-fue-eliminada-por-un-volcan-hace-74-000-anos-451521024939,
<https://watchers.news/2011/09/05/increased-activity-at-22-volcanoes-in-indonesia/>
y <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2015/09/14/laia-barres-gonzalez-biografia-2/> se encargan de aportar información de cómo los supervolcanes Toba y los Campos Flégreos pudieron haber afectado a los homínidos, así como del contexto tectónico de la Isla de Flores. Asimismo, dentro de los documentales cabe destacar tanto www.dailymotion.com/video como www.youtube.com/watch, que muestran cómo se formaron esos dos supervolcanes y las distintas teorías de cómo afectaron a la rama homínida. Finalmente, los cinco restantes artículo: *Volcanic ash layers illuminate the resilience of Neanderthals and early modern humans to natural hazards* (Low, J. et al, 2012), *Supererupciones, definición, mecanismos, productos e impacto* (Báez, W., 2015), *Volcanic winter in the garden of Eden, the Toba supereruption and the late plesitocene human population crash* (Rampino y Ambrose, 2000) , *Five years of Homo floresiensis* (Aiello, 2010) y *Tectónica de placas y riesgos geológicos* (Delgado Ocaña, 2017); se centran, por un lado, en la formación de los dos supervolcanes y todo lo que conlleva sus supererupciones, y por otro lado, presentar dos teorías contradictorias sobre *Homo floresiensis*

2. DESARROLLO DE CONTENIDOS:

2.1. UN RECORRIDO HISTÓRICO POR LA TECTÓNICA DE PLACAS

Con el descubrimiento del Nuevo Mundo se comenzó a gestar la idea de posibles conexiones continentales. Estas ideas siempre se cuidaban de no contradecir las enseñanzas bíblicas tanto en la historia natural como en la humana. Como consecuencia, surgió una nueva geografía con un marco de referencia teológico (García Cruz, 2003).

José de Acosta (1540 – 1600) en su obra *Historia Natural y Moral de las Indias* se pregunta porqué los animales y plantas de las Indias eran diferentes a los del Viejo Mundo. Responde que Dios situó allí las más apropiadas para vivir y reproducirse. Por otro lado, Carlos Linneo (1707-1778), durante su viaje a Laponia, apuesta por el creacionismo científico. Según Linneo las especies son las mismas y una a una fueron creadas por Dios al principio de los tiempos. El hecho de que las especies de Laponia sean diferentes se debe a que han sobrevivido allí las mejor dotadas para climas fríos, mientras que el resto ha emigrado a regiones más propicias (Sequeiros, et al., 1995).

Desde el siglo XIX varios autores han intentado buscar el modo de explicar la actual distribución geográfica de los animales y las plantas en nuestro planeta. Darwin (1831-1835) plantea en su *Viaje de un naturalista alrededor del mundo* el hecho de la anómala distribución de los animales y plantas en el mundo. Observó que el clima no

parece ser el único elemento, como creían los antiguos, que condiciona la presencia de determinados grupos de animales y vegetación en escenarios geográficos concretos. Por ejemplo, en regiones climáticas similares de Europa y Sudamérica vivían seres vivos muy diferentes. De todo esto concluyó que los factores ecológicos no son los únicos determinantes de la distribución geográfica, sino que son dos elementos que condicionan la distribución actual de los seres vivos: el clima y las barreras geográficas (Sequeiros, et al., 1995).

Por un lado, el clima limita la supervivencia, es decir, la capacidad de sobrevivir con recursos existentes, y, por otro lado, las barreras geográficas limitan la colonización de los grupos biológicos de otras regiones. Postuló que a lo largo de millones de años animales y plantas se han ido seleccionando, adaptándose a las condiciones medioambientales o extinguiéndose cuando las condiciones han sido adversas (Sequeiros, et al., 1995).

A finales del siglo XIX, dentro del marco de la teoría de la Deriva continental, surgen dos modelos que estaban en boga en la comunidad geofísica internacional, el modelo Contraccionista y los Puentes intercontinentales (Pérez-Malvárez, et al., 2003).

El **contraccionismo** es una teoría fijista según la cual el planeta ha estado en constante enfriamiento desde el comienzo del tiempo geológico. Tras una etapa de altas temperaturas, que tuvo lugar después de formarse la tierra, la corteza externa experimentó un proceso de encogimiento a causa de un enfriamiento produciendo tensiones en la superficie y originando los procesos orogénicos, como cuando se arruga la piel de una manzana vieja (**Fig.1**). En este sentido, a medida que la Tierra se enfría disminuye su volumen y la corteza terrestre se arruga para acoplarse a ese nuevo volumen (Pérez, et al., 1997). Desde entonces los océanos y los continentes han permanecido siempre iguales (Pérez-Malvárez, et al., 2003).



Fig. 1. Ilustración del funcionamiento de la teoría contraccionista.
Fuente: <https://es.slideshare.net/jujosansan/la-tecnica>

Richard Lydekker junto con otros autores postularon los **Puentes intercontinentales**, lenguas de tierra hoy desaparecidas que unían continentes e islas a lo largo de los océanos (**Fig.2**). Por su parte, George Gaylord Simpson presentó tres posibles rutas: *corredores o pasillos* que permiten el paso en ambas direcciones de la mayor cantidad posible de organismos, como sería el caso del istmo de Panamá durante el Terciario; *puentes filtro* con carácter selectivo (factor clima) en una de las direcciones, eliminando algunos posibles migradores; y las *rutas lotería o por azar* cruzadas por

algunos por casualidad (arrastrados por corrientes, adheridos a otros, sobre troncos flotantes, etc.) (Sequeiros, et al., 1995). Se plantearon muchos puentes: *Arqueo-Helenis* entre África y Brasil y *Arqueo-Atlántida* entre Europa y América del Norte, así como pequeños puentes a través del océano Índico uniendo Madagascar, India y Australia (Pérez-Malvárez, et al., 2003).

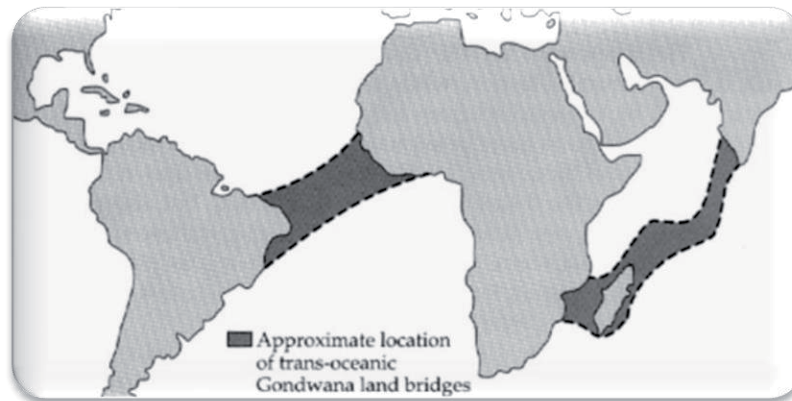


Fig. 2. Detalle de la posición hipotética de los puentes intercontinentales que unían África con Sudamérica y Eurasia con África. Fuente: <https://alpoma.net/tecob/?p=8414>

2.1.1. DERIVA CONTINENTAL

Las especies actuales de dos continentes son ciertamente distintas, pero los géneros y familias siguen siendo los mismos; y lo que hoy es género o familia, fue especie en el pasado. Es decir, el parentesco de una fauna o flora actuales lleva a la conclusión de que estas faunas y floras fueron idénticas en el pasado, por tanto, que debe haber existido un intercambio, lo cual sólo puede imaginarse contando con una conexión terrestre muy extensa. Solo tras la rotura de la conexión continental se separaron las faunas y floras en las diversas especies actuales (Wegener, 1929).

En 1910 un amigo de Alfred Lothar Wegener recibió un atlas del mundo. Wegener quedó aturdido por la congruencia de las costas atlánticas de América del Sur y África puesto que parecían como dos piezas de un puzle que encajaban a la perfección. Un año más tarde en textos de distintas obras como Haug (1907) *Traité de Géologie*, Suess (1883-1909) *Das Antlitz der Erde* o Kayser (1909) *Lehrbuch der allgemeinen Geologie*, halló listas con idénticas especies fósiles a ambos lados del Atlántico. Como consecuencia de estos hechos le llevó a ahondar sobre una posible unión anterior entre los continentes (Pérez, et al., 1997).

Hubo antecesores que ya se cuestionaban estas mismas ideas (García Cruz, 2003). Richard Verstegen, en 1605, mencionó la posible existencia de una masa primordial única en la que se localizaba el Jardín del Edén. Por estas mismas fechas, François Placet (1605) propuso que antes del Diluvio Universal había existido un bloque continental cuyo hundimiento catastrófico dio lugar al océano Atlántico (García Cruz, 2003). Durante los siglos XVI y XVII los cartógrafos observaron, al igual que Wegener,

que las costas de América y África parecían fragmentos de un continente más grande (Esteban, et al., 2012). Entrando en el siglo XIX Carl Ritter (1832) advirtió en un tratado geográfico la coherencia de los contornos de los continentes. Antonio Snider-Pellegrini (1858), por su parte, defendía que, como consecuencia del Diluvio, la corteza terrestre se había enfriado provocando la rotura de la única masa continental existente, separando así el Nuevo Mundo del Viejo Mundo. En este mismo siglo destacan Eduard Suess y Marcel Bertrand (1885) con su hipótesis sobre la existencia de grandes supercontinentes. Suess (1885), al estudiar los escudos orogénicos y la distribución de la flora de *Glossopteris*, principalmente, postuló que hasta el Mesozoico había existido una gran masa continental en el hemisferio sur, a la que denominó *Gondwanaland* (posteriormente Wegener denominará a uno de los continentes que se separaron de la Pangea, *Gondwana*) que comprendía Sudamérica, África e India y que algunos geólogos posteriormente incluirán Australia y la Antártida. Por otra parte, otro paleocontinente se extendería en el hemisferio norte formado por Norteamérica y Eurasia, al que llamó *Atlantis*. Ambos continentes estarían separados por el mar *Tetis*. La fracturación y hundimiento de algunas partes de estas masas habrían originado los océanos y continentes actuales. En el siglo XX, Federico Sacco (1906) expuso que los fragmentos dispersos de los continentes separados en la actualidad podían agruparse, como las piezas de un rompecabezas, para formar un supercontinente perfectamente homogéneo. Finalmente, Frank Taylor (1898) realizó un breve estudio astronómico donde había considerado la captura de la luna por la Tierra como causa de la aparición de la fuerza mareal aumentando la velocidad de rotación del planeta. La conjugación de ambas fuerzas, mareal y rotacional, provocó el empuje de los continentes hacia el Ecuador a partir del polo Norte. Ésta era la base de su hipótesis orogénica la cual viene a decir que las montañas se habrían formado como consecuencia de este desplazamiento de masa continentales en dirección sur (García Cruz, 2003).

La teoría de la Deriva continental apareció por primera vez (1915) de la mano de Alfred Lothar Wegener y bajo el título *Die Entstehung der Kontinente und Ozeanie*, que es lo mismo que *Los orígenes de los Continentes y los Océanos*. En esta obra postula que desde inicios de la era Paleozoica (hace 540 m.a. aproximadamente) la Tierra estaba formada por cuatro grandes masas continentales que se consideraban los esqueletos de los continentes actuales (Esteban, et al., 2012). Se fueron desplazando desde hace 250 m.a. hasta formar un enorme supercontinente llamado *Pangea* (del prefijo griego Pan y Gea que significa “todo” y “tierra”). En la era Mesozoica (desde 250 m.a.) *Pangea* comenzó a fragmentarse en continentes más pequeños que derivaron a la posición actual. La *Pangea* fue una masa con una línea de costa irregular rodeada por un océano, *Panthalassa* (del prefijo griego Pan y Thalassa que significa “todo” y “mar”), que constituía el ancestral Pacífico (Tarbuck y Lutgens, 2005). La fractura dio lugar a dos supercontinentes, uno denominado *Laurasia* y el otro *Gondwana* (**Fig.3**). Entre ellos se hallaba el mar *Thetys*. *Laurasia*, ubicado en el hemisferio norte, era un supercontinente formado por lo que más tarde sería América del norte, Groenlandia y Eurasia septentrional. *Gondwana*, localizado en el hemisferio sur, estaba compuesto por las futuras Sudamérica, África, Australia, India y La Antártida (Pérez, et al., 1997).



Fig. 3. Proceso de separación de la Pangea en dos masas de tierra, Gondwana y Laurasia. Fuente: Esteban, et al (2012)

Hace 130 millones de años. el Atlántico empezó a abrirse separando África y América del sur. La India fue empujada hasta acabar colisionando con Asia y creó la cordillera del Himalaya junto con las tierras altas tibetanas. Al mismo tiempo, la separación por parte de Groenlandia del continente euroasiático completó la fragmentación de la masa continental septentrional. La Antártida y Australia se fueron desplazando hacia el sur formando el océano Índico. Durante 20 m.a. Arabia se separó de África y se formó el Mar Rojo, mientras que, en América la Baja California se separó de Méjico dando lugar al golfo de California. La actividad tectónica fue intensa en Europa creando los Alpes y en América los Andes y las Montañas Rocosas. Por otro lado, se unificó el sur y norte de América por medio del estrecho de Panamá (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Wegener fue el primero en presentar pruebas sólidas sobre su teoría:

1. **Pruebas geográficas:** coincidencia en la forma de la costa de continentes alejados. Cuando se unen África, Madagascar, India y la Antártida forman un único continente (Esteban, et al., 2012).
2. **Pruebas geológicas:** continuidad de las cadenas montañosas en continentes alejados. Los Apalaches y la sierra Escandinava eran una única cadena (Esteban, et al., 2012).
3. **Pruebas paleontológicas:** existencia de fósiles de animales y vegetales idénticos en continentes separados por el Atlántico. Como es el caso del *Mesosaurus*, reptil acuático, de cuyos restos se han hallado tanto en Sudamérica como África (Fig.4) o *Glossopteris*, helecho fósil de grandes semillas, que se encuentra distribuida por África, Australia, India y Sudamérica (Tarbuck y Lutgens, 2005).

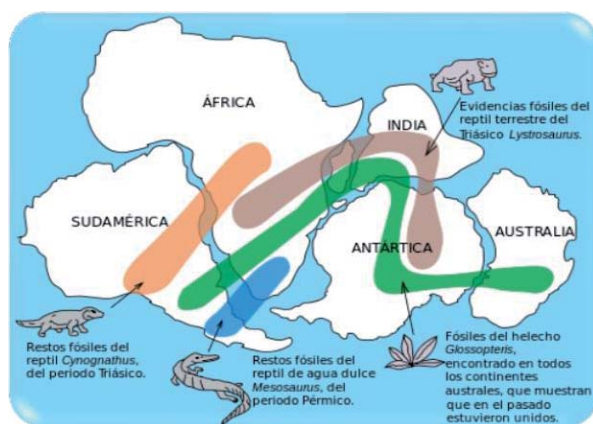


Fig. 4. Pruebas paleontológicas a favor de la idea de Pangea. Fuente: Esteban et al (2012)

La objeción principal que presentaba esta teoría era la incapacidad de identificar un mecanismo idóneo para mover los continentes a través del planeta. Alfred Wegener sugirió dos posibles causas. Por un lado, argumentaba que la fuerza gravitatoria que ejercía la Luna y el Sol sobre la Tierra provocaba mareas. Estas fuerzas mareales afectarían a las capas más externas de la Tierra ocasionando su deslizamiento como fragmentos continentales (Esteban, et al., 2012). Sin embargo, Harold Jeffreys arguyó que dichas fuerzas mareales, con una magnitud necesaria para desplazar continentes, habrían frenado la rotación de la Tierra en cuestión de pocos años. Por otro lado, Wegener proponía que los continentes más grandes y pesados se abrieron paso por la corteza oceánica de manera muy parecida a como los rompehielos atraviesan el hielo. No obstante, no existían pruebas que sugirieran que el suelo oceánico era lo bastante débil como para permitir el paso de los continentes sin deformarse el mismo de manera apreciable en el proceso (Tarbuck y Lutgens, 2005).

2.1.2. EXPANSIÓN DEL FONDO OCEÁNICO

Hace más de 50 años se pensaba que el fondo oceánico estaba formado por grandes llanuras cubiertas de sedimentos. Por aquellos años se comenzó a estudiar el Atlántico Norte por medio de equipos para determinar la profundidad y para extraer sedimentos y rocas del fondo marino. Se determinó que en el centro de las cuencas oceánicas había grandes elevaciones montañosas, denominadas posteriormente como dorsales oceánicas. La parte central de dichas formaciones estaba constituida por un sistema de fracturas que formaban un amplio surco llamado Rift. A su vez, estas dorsales estaban atravesadas por numerosas fracturas que se desplazaban horizontalmente, conocidas como fallas transformantes, causantes de intensas actividades sísmicas. En la dorsal oceánica se hallaron rocas volcánicas muy jóvenes, aproximadamente 100.000 años, que no estaban cubiertas por sedimentos. Por otra parte, la capa de sedimentos era mucho más fina de lo que se había postulado, prácticamente inexistente en las zonas próximas a la dorsal, aunque aumentaba de grueso cuanto más cerca estaba del continente o tierra firme. Se determinó que el fondo oceánico era relativamente joven y su edad aumentaba a cuanto mayor distancia se encontrara de la dorsal oceánica (Esteban, et al., 2012).

A partir de todos estos datos Harry Hess junto con su compañero Robert Dietz (1962) anunciaron la hipótesis de la expansión del fondo oceánico. En esta hipótesis proponen que las dorsales oceánicas están localizadas sobre zonas de ascenso conectivo con el manto de la Tierra. A medida que el magma asciende desde el manto el suelo oceánico se expande lateralmente, de manera parecida a como se mueve una cinta transportadora, alejándose de la cresta de la dorsal. En estos puntos las fuerzas tensionales fracturan la corteza y proporcionan vías de intrusión magmática para generar nuevos fragmentos de corteza oceánica. Por tanto, a medida que el suelo oceánico se aleja de la cresta de la dorsal, éste es sustituido por nueva corteza. Hess propuso además la existencia de zonas, concretamente en los alrededores de las fosas submarinas, donde la corteza oceánica es empujada de nuevo hacia el interior de la Tierra. Como consecuencia, las

porciones antiguas del suelo oceánico se van consumiendo de manera gradual a medida que desciende hacia el manto. Por este motivo el suelo oceánico es joven ya que se va renovando constantemente (Tarbuck y Lutgens, 2005). Por otra parte, Harry Hess, pudo especular que había una serie de elevaciones volcánicas submarinas de superficie plana, conocido como guyots, que estaban alineados desde la dorsal. Supuso que eran islas volcánicas formadas por la dorsal y que se iban alejando a medida que se iba creando nuevo fondo oceánico (Esteban, et al., 2012).

Sin embargo, no podían aportar pruebas suficientes para demostrar esta apertura. La prueba decisiva fue presentada por Fred Vine y Drummond Matthews en 1962 a través del estudio del magnetismo de las rocas ubicadas en el fondo oceánico (Esteban, et al., 2012). Su hipótesis es un corolario de la expansión del fondo marino y de las inversiones en la polaridad del campo magnético de la Tierra. Conforme el magma se solidifica a lo largo de los estrechos del rift de la cresta de las dorsales, queda magnetizado con la polaridad del campo geomagnético existente (Frankel, 1995). A causa de la expansión del fondo oceánico la anchura de esta franja de corteza magnetizada aumentaría de una manera gradual. Cuando se produjera una inversión de la polaridad del campo magnético el fondo oceánico se formaría en medio de la antigua franja (**Fig.5**). Gradualmente las dos partes de la antigua franja serían transportadas en direcciones opuestas lejos de la cresta de la dorsal (Tarbuck y Lutgens, 2005).

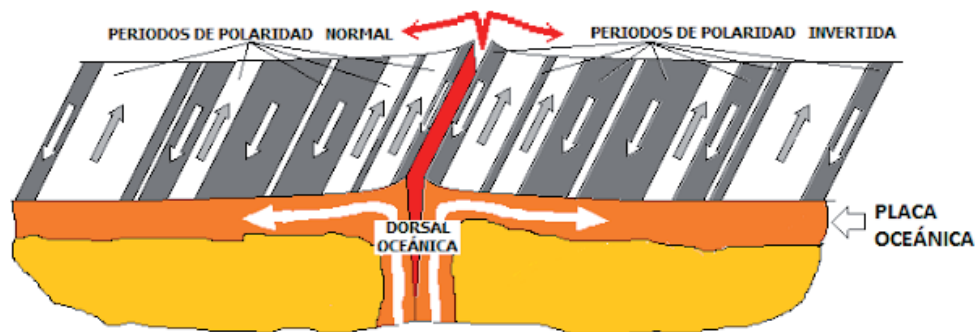


Fig. 5. Expansión del fondo oceánico asociado con la polaridad magnética de la Tierra. Fuente: <http://kurirosidadescientifiks.blogspot.com/2016/11/la-expansion-del-fondo-oceanico-y-la.html>

2.1.3. LA TECTÓNICA DE PLACAS

La tectónica de placas explica la disposición actual de los continentes y su movimiento a lo largo del tiempo geológico, la expansión de los océanos, la formación del relieve terrestre, la distribución geográfica de los volcanes y los sismos, entre otras cosas (Esteban, et al., 2012).

La superficie de la tierra o litosfera (lithos = piedra, sphere = esfera), según argumenta esta teoría, está dividida en piezas o placas rígidas de formas y dimensiones diferentes, denominadas placas litosféricas o tectónicas. En cuanto a grosor puede variar entre unos kilómetros a 100 km en dorsales y cuencas oceánicas, mientras que en la litosfera continental va desde 100 a 150 km, pero puede superar los 250 km (Tarbuck y Lutgens, 2005). La Tierra está compuesta por diversidad de grandes placas (Euroasiática, Norteamericana, Sudamericana, Africana, Indoaustraliana, Antártida y Pacífica) junto a

sus subplacas (Nazca, Caribe, Filipina, Arábica, etc.) (Esteban, et al., 2012). Para el desarrollo de dicha teoría fue esencial el teorema de Euler (cualquier movimiento de un bloque rígido sobre la superficie de una esfera puede describirse mediante la rotación alrededor de un polo o polo de Euler). Este teorema podría usarse para describir los movimientos relativos de las placas rígidas que forman la capa externa de la Tierra, la litosfera (Frankel, 1995).

El movimiento de las placas es originado por el flujo convectivo del calor del manto rocoso de 2900 km de espesor, y su pérdida a través de la corteza terrestre. Actualmente se desconoce la naturaleza que precisa de esta corriente convectiva. Algunos científicos consideran que esta circulación convectiva se produce en todo el manto, mientras que otros defienden que se produce solamente en el manto superior, en la astenosfera (asteno = débil, sphere = esfera). La astenosfera es una región muy dúctil donde las temperaturas y presiones son tan altas que los materiales rocosos alcanzan su temperatura de fusión, permitiendo así la ruptura de la litosfera y su movimiento (Tarbuck y Lutgens, 2005). Se podría entender como si la litosfera fuera un filtro de cafetera en donde la entrada de calor es continua. Sin embargo, debido a la pobre conducción continental (calor en movimiento), el calor se libera en impulsos repentinos. Ello respondería a fenómenos geológicos como periodos de intensa producción de montañas, episodios de glaciación y cambios en la naturaleza de la Tierra (Nance, et al., 1998).

La transferencia de calor desde el manto a la litosfera es responsable de todos los fenómenos geológicos y geodinámicos que tienen lugar en la superficie. Esta transferencia se produce en el límite entre las placas, una zona con una gran actividad sísmica y volcánica, donde se da lugar la destrucción, construcción o fricción de la corteza terrestre (Esteban, et al., 2012).

1. Los **bordes divergentes** (di = aparte, vergere = moverse) son constructivos donde se genera nueva litosfera oceánica (**Fig.6**). También se les conoce como centros de expansión. A medida que las placas se separan del eje de la dorsal oceánica, las fracturas creadas se llenan inmediatamente con magma que asciende desde el manto. Este magma se enfría de una manera gradual generando una roca dura, dando lugar a un nueva corteza oceánica o fondo oceánico. Estos bordes divergentes no solo se desarrollan en los fondos marinos, también en el interior de los continentes. Se piensa que esta fragmentación empieza con una depresión alargada. Cabe destacar el caso del Rift de África, cuya formación es a causa de un borde divergente ocasionado en el interior del continente (Tarbuck y Lutgens, 2005).

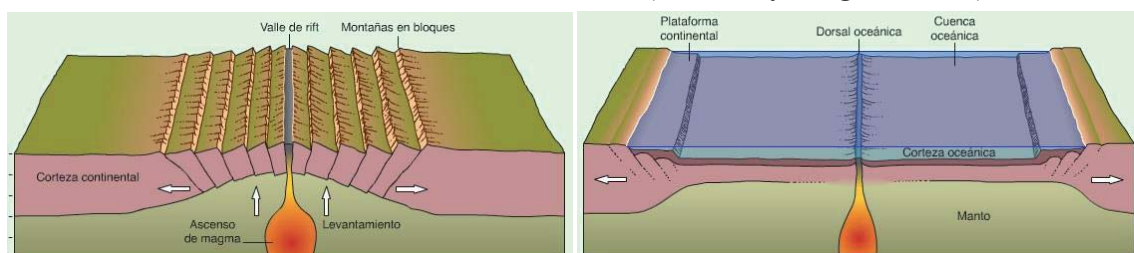


Fig.6. Representación de un borde divergente donde las placas tectónicas se van separando gradualmente hasta crear un nuevo océano. Fuente: http://csdelatierraconcordia.blogspot.com/2013_04_01_archive.html

2. Los **bordes convergentes** (con = junto, vergere = moverse) son destructivos. Dos placas se van atrayendo y acercando una a otra dando lugar a la destrucción de una de ellas, es decir, la placa más densa acaba descendiendo hacia la astenosfera. La región donde se hunde se le conoce como zona de subducción (**Fig.7**). Estas zonas están compuestas por fosas oceánicas y arcos de islas. En general, la placa oceánica es mucho más densa que la placa continental por lo que acaba hundiéndose, mientras que la continental se mantiene a flote. Sin embargo, en ocasiones esta acción destructiva se puede llevar a cabo entre dos placas continentales o dos oceánicas. En el caso de que sea entre dos placas oceánicas se subduce la que sea mucho más densa. Sin embargo, cuando son dos placas continentales, al presentar ambas la misma densidad que les impide poder hundirse, el resultado es una colisión dando lugar a una cordillera montañosa (Tarbuck y Lutgens, 2005).

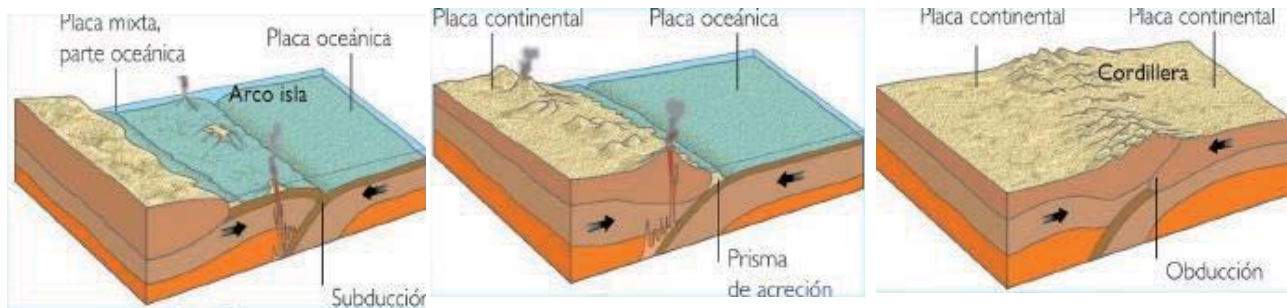


Fig.7. Representación de las tres acciones de un borde convergente. Fuente: http://csdelatierraconcordia.blogspot.com/2013_04_01_archive.html

3. En los **bordes de fallas transformantes** (trans = a través, forma = forma) las dos placas se desplazan una al lado de la otra sin crear ni destruir la litosfera. Se efectúa una fricción entre dos placas de manera paralela, pero en sentidos contrarios, ocasionando un movimiento sísmico (**Fig.8**). Son zonas de fractura localizadas aproximadamente cada 100 km a lo largo del eje de una dorsal oceánica. Unas pocas suelen atravesar la corteza continental como la falla de San Andrés, en California (Tarbuck y Lutgens, 2005). En las fallas se desgarra la litosfera. Se va acumulando un esfuerzo continuo y durante un terremoto se libera por medio del desplazamiento horizontal de las placas (Esteban, et al., 2012).

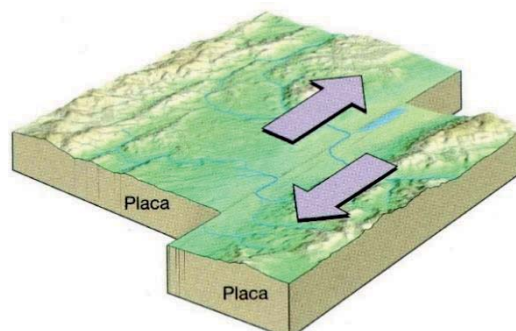


Fig. 8. Representación de una falla transformante. Fuente: http://csdelatierraconcordia.blogspot.com/2013_04_01_archive.html

2.1.4. EL CICLO DE WILSON

John Tuzo Wilson, padre de la teoría del Ciclo supercontinental Wilson (1960), postuló que dicho ciclo era un proceso mediante el cual los continentes se fragmentan formando cuencas oceánicas para luego cerrarlas, reuniéndose de nuevo (Nance, et al., 1998).

En la primera fase del ciclo se forman los “puntos calientes” volcánicos en el interior del continente; a continuación, los puntos calientes se van conectando en rifts, a lo largo de los cuales se acaba rompiendo el continente. Cuando esto ocurre los rifts se ensanchan y generan un pequeño mar al mismo tiempo que va manando a través de estas fracturas materiales calientes del manto, dando lugar finalmente a un nuevo fondo oceánico. Los fragmentos se distancian alejándose de los centros de expansión, mientras persiste la salida de material del manto. Al envejecer el material que forma el fondo marino, se enfría, se vuelve más denso y se hunde. En este sentido, la porción más antigua del nuevo fondo oceánico que se formaría hace X tiempo y que ahora se encuentra adyacente a los fragmentos continentales (a la par que se va formando un nuevo fondo oceánico, el antiguo se va alejando de la dorsal oceánica para acabar cerca de los continentes), ha adquirido tal densidad que se hunde, se subduce. Este proceso de subducción inicia el proceso de aproximación de los continentes (Nance, et al., 1998).

Todos los ciclos de Wilson están registrados en lo que hoy es la región noratlántica. Cabe esperar que el Océano Atlántico se vuelva a cerrar creando de nuevo un supercontinente rodeado por un superocéano. En la actualidad los continentes que rodean al Atlántico se encuentran todavía en proceso de dispersión, tras la última rotura ocurrida hace 200 m.a. del supercontinente más reciente, el que Wegener bautizó como *Pangea* (Nance, et al., 1998).

En el proceso de aproximación de los continentes actúan fuerzas compresivas de colisión que levantan cordilleras. Wilson advirtió una sorprendente regularidad en las edades de las cordilleras, revelando que cada 400 o 500 m.a. aproximadamente se llevaba a cabo su formación. Tales regularidades indican que los supercontinentes se crean en el transcurso de un proceso cíclico del que se puede determinar su cronología de manera precisa. Contando a partir del inicio de la separación de los fragmentos del supercontinente (probablemente hace 400 m.a. después de iniciarse), los fragmentos tardan unos 160 m.a. en alcanzar su dispersión máxima, empezando entonces la subducción oceánica. Una vez iniciado el proceso a la reunificación habrán transcurrido otros 160 m.a. El supercontinente perdurará 80 m.a. en cuyo transcurso se acumulará el calor suficiente para provocar que se fracture de nuevo. Al cabo de 40 m.a. el cuarteamiento conducirá a otra rotura, 440 m.a. después de la del ciclo precedente (**Fig.9**) (Nance, et al., 1998).



Fig. 9. Ciclo del supercontinente de Wilson, apertura y cierre de los océanos. Fuente: <https://www.goconqr.com/flashcard/9201225/fichas-geologia>

Este fenómeno se puede corroborar puesto que es probable que ejerza efectos importantes sobre el nivel del mar. Durante 80 m.a. el nivel del mar se mantendría alto a medida que los océanos jóvenes de tipo Atlántico reemplazan el océano viejo o superocéano de tipo Pacífico. Con el envejecimiento de los océanos jóvenes el nivel del mar disminuiría durante 80 m.a. hasta que se empezara a subducir. Cuando comenzaran a aproximarse los continentes volvería a aumentar por efecto de la subducción. El aumento seguiría durante otros 80 m.a. hasta que se empezara a reensamblar. Al chocar y levantarse térmicamente el supercontinente, el nivel del mar disminuiría durante 80 m.a. Formado el supercontinente el nivel del mar permanecería estático durante 120 m.a (Nance, et al., 1998).

El ciclo del supercontinente también estriba en el clima y en la vida. Cuando el nivel del mar disminuye la superficie de la corteza terrestre queda expuesta a meteorización y erosión de grandes cantidades de silicato. Estos elementos se disuelven en el océano mundial y se mezclan con el CO₂ extraído de la atmósfera. Como sabemos en la atmósfera el CO₂ retiene la radiación solar y con ello aumenta la temperatura en el planeta. Si su porcentaje disminuye al unirse con el silicato, se reduce el efecto invernadero y el clima se enfría. Si en ese momento existe una masa continental lo bastante cerca de los polos, se formarán glaciares. Los glaciares provocan diversos efectos como la disminución del nivel del mar y el agrandamiento de la circulación y mezcla del océano mundial donde se distribuye el oxígeno y otros nutrientes por este océano. Asimismo, mantiene las diferencias de temperatura que favorecen la vida en el planeta y a diversos ecosistemas. Sin embargo, durante el proceso de subducción del fondo oceánico se liberan grandes cantidades de CO₂ provenientes del manto que manan de los centros de expansión y de los volcanes. Con este aumento del CO₂ en la atmósfera la temperatura en el planeta aumenta provocando que los casquetes de hielo polar se derritan, aumentando así el nivel del mar. La ausencia de hielo disminuye, por otro lado, la concentración de oxígeno y nutrientes y con ello la productividad biológica (Nance, et al., 1998).

El ciclo del supercontinente sugiere que los macroprocesos de la tectónica de placas están regidos en lo fundamental por un mismo mecanismo cíclico. Además, los efectos climáticos a gran escala desencadenados por diversas fases del ciclo han dirigido muchas innovaciones biológicas que han regido el curso ulterior de la evolución. En cierto modo, el ciclo del supercontinente constituye el pulso de la Tierra; en cada latido, el clima, la geología y la población de organismos progresan y se renuevan (Nance, et al., 1998:43).

2.2. EL ÁRBOL DE LA VIDA:

La biodiversidad es una propiedad de los sistemas vivientes de ser variable. En consecuencia, no es una entidad o recurso, sino más bien una propiedad, una característica de la naturaleza, Sin diversidad no se puede concebir la vida (Solbrig, 1980).

Una bacteria, una ameba, un roble, un hongo, una ballena azul, etc. aparentemente tan diferentes y sin embargo forman parte de la historia de la vida en la Tierra. A pesar de sus notables diferencias, comparten características básicas muy significativas. Esto sugiere que todas las formas de vida que habitan la Tierra, junto con sus antepasados extintos, comparten rasgos íntimos debido a que estas características ya estaban presentes en un antepasado común, un ancestro único (Massanni, 2010).

Desde el punto de vista de la clasificación biológica o taxonómica (del griego τάξις táxis ‘ordenamiento’ y νόμος nómos ‘norma’ o ‘regla’) la unidad básica o fundamental es el de **especie** (Camps, 2019). En un principio la clasificación de los seres vivos era arbitraria y se basaba especialmente en la morfología y en la anatomía comparada, posteriormente fueron las evidencias embriológicas, las de la biología molecular (Esteban, et al., 2012).

2.2.1. ¿QUÉ ES UNA ESPECIE?

La biosfera es rica en diversidades, en formas biológicas que identificamos como entes diferentes denominándolas especies. Su reconocimiento se basa en la constatación de que existen discontinuidades dentro de esta biodiversidad (Perfeccti, 2002).

A lo largo de la historia distintos especialistas han ido proponiendo varias definiciones para el término especie sin llegar a un consenso. El concepto más antiguo de especie podría considerarse el denominado tipológico o esencialista el cual establece una serie de categorías específicas basándose en los rasgos fijos de un organismo único,

considerado el patrón, negando que las diversas adaptaciones en la naturaleza pueden dar lugar a variedad de poblaciones. Sin embargo, a parte de este concepto, existen una gran gama de definiciones todas ellas referentes al término especie, pero presentadas desde distintos puntos de vista (Perfeccti, 2002). La evolución de este concepto se puede encontrar en detalle en autores como Barberá (1994), De Queiroz (2007) y Folguera y Marcos (2013).

El consenso actual de la comunidad científica sobre el concepto especie puede definirse como todos aquellos grupos formados por un conjunto de organismos que se caracterizan por compartir rasgos comunes que les diferencian de los restantes grupos, así como por la capacidad de poder reproducirse entre sí y dar lugar a una descendencia fértil (Sánchez Cerezo, et al., 2004).

2.2.2. TIPOS DE ESPECIACIÓN

La especiación se puede definir como el proceso de formación de nuevas especies por la presencia de barreras reproductivas, las cuales se presentan como aquellas características intrínsecas y extrínsecas de los organismos que impiden o minimizan el intercambio de genes entre organismos de poblaciones distintas (Cuevas García, 2012).

Según Hallam (1972) cuando una masa de tierra se rompe y se separa crea un aislamiento genético y nuevos climas. El cambio de posición de los continentes puede dar lugar a procesos evolutivos diferentes (Sequeiros, et al., 1995):

1. **Divergencia:** en un primer momento flora y fauna son similares, pero van divergiendo con la separación geográfica de áreas continentales (Sequeiros, et al., 1995).
2. **Convergencia:** aumento a lo largo del tiempo en el grado de similitud entre faunas de distintas regiones debido a la unión de dos masas de tierra (Sequeiros, et al., 1995).
3. **Complementariedad:** las faunas de costas y de plataformas oceánicas adyacentes reaccionan a modificaciones del medio ambiente de forma complementaria. Es el caso de los moluscos que durante el Plioceno, cuando el océano Pacífico y el Atlántico estaban unidos, eran similares, pero con el Istmo de Panamá se comienzan a diferenciar. Sin embargo, para los mamíferos ubicados en las plataformas continentales fue el proceso contrario (Sequeiros, et al., 1995).

Los tipos de especiación se han clasificado basándose en la distribución geográfica de las poblaciones dando lugar a nuevas especies. Se distingue entre especiación alopátrica, parapátrica y simpátrica (**Fig.10**) (Perfeccti, 2002).

El primer defensor de la **especiación alopátrica** fue Mayr, según el cual propuso que una población se divide debido a algún tipo de barrera física interrumpiendo así el flujo génico. Estas barreras pueden ser geográficas o ecológicas. Distintas partes de la población se adaptarán a ambientes diferentes dando como resultado dos o más nuevas

poblaciones muy distintas entre sí. Cuanto más tiempo se mantengan aislados, mayor será la diferencia genética entre ambas poblaciones (Boyd y Silk, 2001). La separación puede ser debido a migración, extinción de las poblaciones situadas en posiciones geográficas intermedias o por sucesos geológicos (Perfeccti, 2002). Como ejemplo cabe destacar la formación del Istmo de Panamá hace 3 m.a. que dividió las costas pacíficas y atlánticas dando lugar a nuevas especies de organismos marinos (Cuevas García, 2012). Dentro de esta especiación existen tres clases:

1. **Especiación geográfica o vicariante:** se produce por la separación de una especie ancestral en dos poblaciones relativamente grandes que permanecen aisladas hasta la aparición de independencia evolutiva. Este tipo de divergencias son resultado de una adaptación diferencial de la zona geográfica (Perfeccti, 2002).
2. **Especiación mediante poblaciones periféricas o especiación peripátrica:** las nuevas especies aparecen en hábitats marginales, habitualmente en los límites de distribución de una población central de mayor tamaño. El flujo génico entre estas poblaciones puede reducirse y finalmente ser inexistente dando lugar a especies diferentes (Perfeccti, 2002).
3. **Especiación alopátrica aplicada a especies asexuales:** no hay evidencias de flujo génico entre poblaciones y la identidad como especie está determinada por motivos históricos (Perfeccti, 2002).

La **especiación parapátrica** se produce sin una separación geográfica completa de las poblaciones (Perfeccti, 2002). Una pequeña parte una población extensa se separa del resto y posteriormente evoluciona de una manera independiente (Cuevas García, 2012). La selección por sí sola no es suficiente para producir una especie nueva, pero las especies nuevas pueden surgir si la selección se combina con un aislamiento genético parcial (Boyd y Silk, 2001). Dentro de este tipo de especiación existen subtipos:

1. **Especiación estasiopátrica:** puede aparecer cuando se produce una mutación o reordenación cromosómica que posibilita a los individuos portadores a colonizar con mayor éxito un hábitat o área contigua al de la especie madre. Las nuevas especies serán muy parecidas a la ancestral, pero diferenciándose en alguna característica cariotípica (patrón cromosómico) (Perfeccti, 2002).
2. **Especiación parapátrica y zonas híbridas:** las zonas híbridas son habitualmente estrechas donde poblaciones que son genéticamente diferentes se unen e hibridan (Perfeccti, 2002). Es el caso de los mandriles, localizados desde Arabia Saudí hasta el Cabo de Buena Esperanza, ocupan un amplio territorio de ambientes diversos. Algunos viven en selvas tropicales, otros en desiertos y algunos en prados. En los límites de los hábitats, los animales provienen de hábitats distintos poseyendo características diferentes, pero pueden aparearse entre ellos y crear una zona híbrida. Los híbridos suelen ser menos aptos que el resto. Ante ello, la selección natural debería favorecer el comportamiento y morfología que evite el apareamiento entre los miembros de poblaciones de hábitats

diferentes dando lugar así a nuevas especies reproductivamente aisladas (Boyd y Silk, 2001).

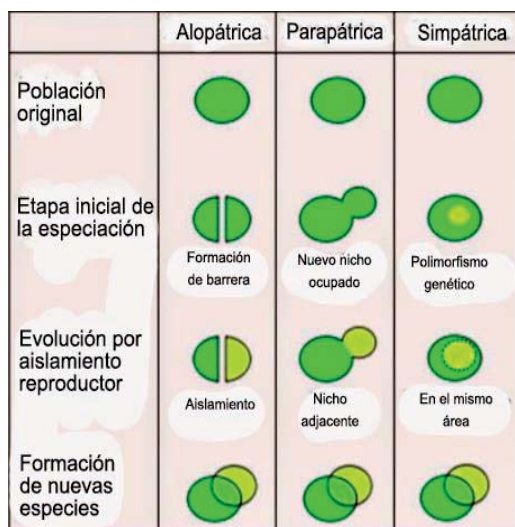


Fig. 10. Tipos de especiación. Fuente: <http://megustalagenetica.blogspot.com/p/especiacion.html>

Por su parte, la **especiación simpátrica** implica la divergencia de algunos demes hasta conseguir independencia evolutiva dentro de un mismo espacio geográfico. Habitualmente conlleva que las nuevas poblaciones utilicen nichos ecológicos diferentes, dentro del rango de distribución de la especie ancestral, desarrollando mecanismos de aislamiento reproductivo. Puede estar impulsada por especialización ecológica de algunos demes o por hibridación entre especies muy próximas o por la formación de una especie asexual de una especie precursora sexual (Perfeccti, 2002).

El aislamiento reproductivo puede estar producido por diversas barreras reproductivas, es decir, que las características propias de los organismos son los responsables de evitar o reducir el flujo génico (Cuevas García, 2012). Estas barreras están catalogadas como prezigóticas y postzigóticas:

Las **barreras prezigóticas** impiden la formación del cigoto. Esto implica que dos especies no pueden aparearse debido a: incompatibilidades mecánicas o fisiológicas entre los aparatos reproductores de ambas especies; aislamiento etológico donde individuos de sexos opuestos, pero de especies distintas no se reconocen como potenciales para parejas sexuales (Marshall y Cooley, 2000); diferenciación de hábitats y recursos; y aislamiento temporal en el que distintas especies presentan diferentes ciclos de vida como es el caso de los imagos o cigarras. Existen dos clases de cigarras que emergen desde la tierra cada 13 o 17 años (dependiendo de la especie de cigarra), dificultando así la posibilidad de apareamiento entre ambas especies (Perfeccti, 2002).

Las **barreras postzigóticas** actúan después de la formación del cigoto (García Cruz, 2003). Resultan de todas aquellas situaciones en las que el cigoto y los individuos adultos sí llegan a completar su desarrollo, pero tienen prácticamente anulada la eficacia biológica. Las causas de este fenómeno son diversas, desde la mortalidad del cigoto a inviabilidad o esterilidad de un único sexo (Perfeccti, 2002).

2.2.3. TEORÍAS EVOLUCIONISTAS: GRADUALISMO VS EQUILIBRIO PUNTUADO

GRADUALISMO:

El principio de gradación, dado a conocer por primera vez de la mano de Aristóteles, consideraba que las series de transformaciones que se daban en entidades o unidades, es decir, el paso de lo inanimado a lo animado, de lo vegetal a lo animal, de los seres materiales a espirituales, variaban de un modo continuo y gradual. Posteriormente, surge una visión del mundo expresada en forma de una gran cadena de seres. Esta gran cadena estaría formada por un número casi infinito de eslabones articulados lineal y jerárquicamente, desde las manifestaciones más simples de la vida hasta las más complejas, pasando por todos los grados posibles que permiten completar la cadena. La conjugación del concepto de gradación unilineal terminaría de conformarse en la Edad Media hasta el siglo XVIII (Vera Cortés, 1999).

A finales del siglo XVIII surge el uniformismo, siendo su autor James Hutton. Esta teoría postulaba que la acción lenta, semejante y constante de causas tan comunes como el agua, el viento, la erosión, etc. podían dar respuesta a los fenómenos geológicos del pasado, sin necesidad de recurrir al catastrofismo. Bajo esta premisa, tanto el *Gradualismo* como el *Uniformismo* se complementan (Makinistan, 2012). El gradualismo viene a decir que la existencia de especies intermedias o eslabones evolutivos responde a un proceso evolutivo de cambio continuo y gradual. Asume que la transformación entre dos poblaciones de la misma especie está formada por la presencia de estadios intermedios (Vera Cortés, 1999).

Siguiendo esta línea gradualista cabe destacar la figura de Darwin, fiel defensor de esta teoría, el cual concibe el proceso evolutivo como una serie de cambios graduales y continuos (Massanni, 2010). Asume una visión gradualista de la historia de la vida donde la efectividad de la selección natural depende de una infinidad de pequeños cambios o variaciones físicas ocurridas a través del tiempo. Ningún órgano surgió bruscamente, sino a través de una sucesión continua y gradual de pequeños cambios estructurales (**Fig.11**). La selección fue favoreciendo a cada una de esas pequeñas estructuras de transición hasta llegar al órgano completo. Defiende, además, la existencia de una continuidad plena entre distintos niveles de variaciones donde el límite existente entre ellos se torna borroso porque no es posible fijar el punto exacto donde termina un nivel y comienza otro. Está convencido de la existencia de una comunidad de origen entre todos los seres vivos. Asimismo,

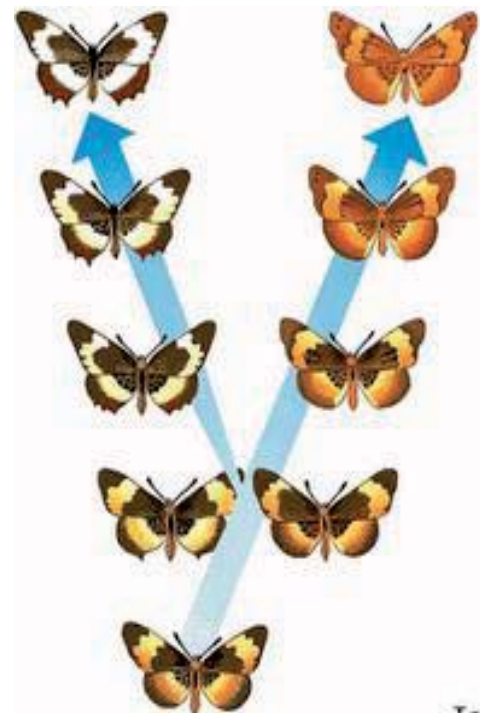


Fig.11. Visión gradualista de la evolución.
Fuente: <http://slideplayer.es/slide/8030085/>

considera que, entre una variedad y una especie, y entre una especie y otra existe grado de semejanza. De este modo, el parecido físico entre dos seres vivos es mayor cuanto más emparentados estén y viceversa (Makinistan, 2012).

Por otra parte, según Darwin, la selección natural también desempeña un papel relevante en la acumulación lenta de pequeñas variaciones favorables. Cree que, a partir de una especie dada, la acumulación de cierto número de pequeñas variaciones por parte de la selección natural originaría una variedad y ésta a su vez, con más variaciones acumuladas, se transformaría finalmente en una nueva especie (Makinistan, 2012).

Algunos de los planteamientos gradualista presentados por Darwin son (Olea Franco, 1986):

1. Las variaciones importantes en la evolución son pequeñas y aparecen en todas direcciones sin conexión inmediata o directa con el proceso adaptativo.
2. La selección natural preserva las variaciones favorables y elimina las desfavorables. Al mismo tiempo produce divergencias de los caracteres o separación de los lugares que los organismos ocupan en la naturaleza. Asimismo, dentro de una localidad determinada posibilita la convivencia de una cantidad de organismos diferentes.
3. La selección natural actúa sobre los individuos y construye lenta y acumulativamente las adaptaciones y diversidades. Es esencialmente creador, aunque también conserva y destruye.
4. Todos los procesos evolutivos son graduales: adaptación, especiación y extinción.
5. No hay tendencia interna hacia la perfección, pues la complejidad de la organización puede aumentar o disminuir. Los organismos pueden evolucionar o permanecer estables durante largos periodos de tiempo.
6. La selección natural conserva las variaciones favorables y su herencia a la progenie.

La principal objeción a la visión gradualista provenía del registro fósil, el cual presentaba discontinuidades serias, y en la mayor parte de los casos, las formas intermedias estaban ausentes (Massanni, 2010).

EQUILIBRIO PUNTUADO:

Antes del surgimiento de la teoría del Equilibrio puntuado, nace la teoría *mutacionista* en respuesta a la teoría gradualista defendida por Darwin. El mutacionismo sugiere que la evolución ocurre a saltos y atribuye a la selección natural un papel destructor y conservador, pero no creador. Niega la importancia de las pequeñas variaciones presentes en las poblaciones. Con el apoyo de datos experimentales propone que la evolución se desarrolla a través de grandes variaciones discontinuas, que aparecen por mutaciones súbitas. Algunas de estas grandes variaciones discontinuas resultan por sí mismas adaptativas, siendo conservadas por selección natural y aquellas que son

desfavorables son eliminadas. Estas variaciones no son construidas paso a paso mediante acumulación gradual de pequeñas variaciones generación tras generación (Olea Franco, 1986).

En 1972 los paleontólogos Nile Eldredge y Gould propusieron una nueva concepción sobre el despliegue de la especiación en el tiempo geológico, para interpretar el tiempo y modo de evolución (Olea Franco, 1986).

En primer lugar, sugerían que el modo dominante del cambio evolutivo no es la transformación de los linajes evolutivos por la fijación gradual y adaptativa de variaciones favorables a través de la selección natural, sino la especiación por ramificación o cladogénesis (Olea Franco, 1986). A partir de análisis de datos del registro fósil, observaron que las nuevas especies parecen originarse por procesos generalmente abruptos, en periodos muy breves en la escala de tiempo geológico. Además, una vez establecida las nuevas especies se mantienen sin mayores cambios durante largos periodos de tiempo, solo presentando pequeñas fluctuaciones. A este evento se le denominó éntasis evolutiva (Massanni, 2010).

A partir de esta interpretación, el registro fósil resulta ser un fiel reflejo de la historia de la vida ya que la ausencia de formas transicionales se debe a que éstas, en muchos casos, no existieron (Massanni, 2010).

Bautizaron a su teoría como *Evolución por equilibrios puntuados* (**Fig.12**). Los equilibrios se refieren a la estabilidad morfológica exhibida por las especies fósiles durante millones de años, mientras que las puntuaciones significan que los eventos de especiación son geológicamente instantáneos (Olea Franco, 1986).

En cuanto a los planteamientos teóricos de Eldredge y Gold (Olea Franco, 1986):

1. La especiación por ramificación sería la responsable de generar diversidad biológica, nuevas especies, y cambios morfológicos, fisiológicos y conductuales en el curso de la evolución.
2. Las nuevas especies entran en una larga fase de estasis, dominada por constancias morfológicas solo perturbadas por pequeñas fluctuaciones sin dirección aparente.
3. Estas especies sufren cambios abruptos en cortos periodos de tiempo.

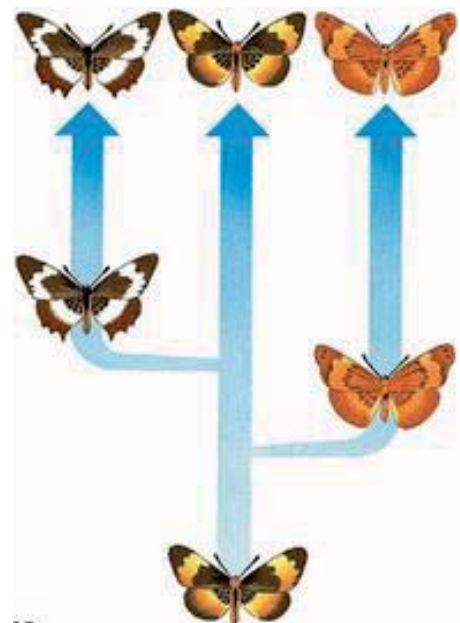


Fig. 12. Visión saltacionista de la evolución o teoría del Equilibrio puntuado. Fuente: <http://slideplayer.es/slide/8030085/>

2.3. LOS PRIMEROS PASOS:

2.3.1. LA EVOLUCIÓN HUMANA

El origen de nuestra especie ha sido siempre motivo de debate a lo largo de la historia de la humanidad, concretamente en Europa y América (Estela Raffino, 2020). En un principio las ideologías que iban surgiendo eran de índole religiosa, en una época en la que la vida humana estaba regida por la Iglesia y todo cuanto existía se le asociaba a un origen divino. Dentro de este contexto cabe destacar dos teorías: el fijismo y el creacionismo.

El **fijismo**, idea heredada del pensamiento medieval y desarrollada por Carlos Linneo (1707-1778) considerado como uno de los principales defensores (**Fig.13**), sostiene que todos los seres vivos que conforman las distintas especies tienen las mismas características esenciales. No han variado desde el comienzo de los tiempos. Todas presentan la misma antigüedad (Junta Andalucía, 2020). Cada especie, animal o vegetal, es inmutable y no es posible ningún cambio en ellas (Collado, 2014).

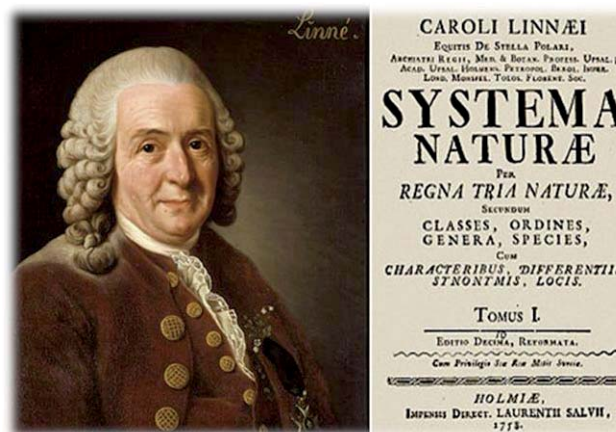


Fig. 13. Retrato de Carlos Linneo junto a su obra principal "Sistema naturae".
Fuente: <https://apuntesdelnanomundo.blogspot.com/2011/05/carlos-linneo.html>

El **creacionismo**, por su parte, sostiene que la voluntad de Dios fue la causa de la existencia del mundo y de los seres que lo pueblan (Junta Andalucía, 2020). Asimismo, niega el hecho de que haya un origen o antepasado común para todos los seres vivos, sino que todos fueron creados de manera separada e independiente (Collado, 2014).

Cuvier, fundador de la anatomía comparada, desarrolló la teoría catastrofista o catastrofismo (**Fig.14**). Esta teoría propone que los cambios biológicos y geológicos desarrollados en el planeta se deben a cambios repentinos y violentos a través de catástrofes ambientales. Cuvier quiso justificar las teorías fijistas y creacionistas debido a la existencia de especies fósiles desaparecidas. Argumentaba que los fósiles eran el resultado de la extinción de seres vivos creados por Dios durante las catástrofes bíblicas (Collado, 2014).



Fig. 14. Retrato de George Cuvier junto a su obra "Leçons d'anatomie comparée". Fuente: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/c/cuvier.htm> (Cuvier) https://archive.org/details/b24923461_0003/page/n5/mode/2up (Obra)

Sin embargo, con el paso de los años fueron surgiendo teorías de corte más científicas, en un mundo en el que había empezado a cuestionarse todo cuánto existía, así como su origen.

Desde el punto de vista de la evolución biológica, el cambio puede explicarse a través de dos posturas, a causa de factores externos o internos. Las teorías autogenéticas, siendo partidarias de la segunda postura, postulan que, desde los inicios, el primer organismo que habitó la Tierra contenía en estado latente todas las formas orgánicas, tanto su progreso evolutivo como su muerte. Éstas se fueron desarrollando de manera gradual adaptándose a los cambios en el entorno. En el caso de las teorías partidarias de la primera postura, las teorías ectogenéticas, argumentan que el medio ambiente es el principal factor que modela la dotación genética (Dobzhansky, 1963). Lamarck, uno de los principales defensores de esta postura y padre del transformismo o herencia de los caracteres adquiridos, estaba convencido de que los seres vivos se adaptaban a los cambios en el medio a través de adecuar su morfología. Desarrollan aquellos órganos necesarios para la supervivencia en el medio, mientras que aquellos que ya no son útiles, acaban por atrofiarse y desaparecer. Estas nuevas características anatómicas son transmitidas posteriormente a la descendencia (Junta Andalucía, 2020).

Darwin, padre de la teoría de la evolución y autor de la obra *El origen de las especies*, parte de tres ideas principales: variabilidad, selección natural y herencia (Fig.15). Postula que el cambio evolutivo a través del tiempo y la diversificación evolutiva ocurren como consecuencia de la selección natural. En este sentido, una población, donde existe **variabilidad** entre sus individuos, crece hasta aproximarse a los límites de sus recursos. En la lucha por la supervivencia tendrá más posibilidades aquellos cuyos rasgos favorezcan su adaptación al medio, mientras que los individuos que no posean aquellos rasgos no tendrán las mismas posibilidades de sobrevivir y reproducirse. Estas presiones externas se les conoce como **selección natural**. La progenie resultante tenderá a **heredar** los rasgos favorables y transmitirlos a futuras generaciones (Junta Andalucía, 2020).

En su segunda obra, *El origen del hombre*, Charles Darwin propone que los seres humanos descendían de una forma de vida que presentaba muchas características

similares a la especie humana, los primates. Esta forma de vida o especie se vio presionada por una sucesión de cambios en el ambiente dando lugar a nuevas especies con adquisiciones biológicas y cognitivas cada vez más complejas (Estela Raffino, 2020).

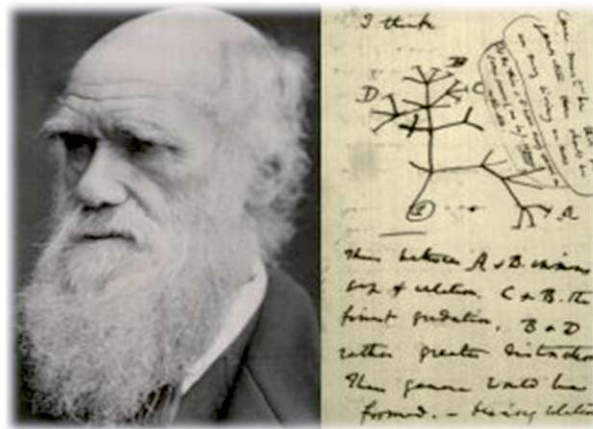


Fig. 15. Retrato de Charles Darwin junto al primer boceto del árbol genealógico.
Fuente: <https://www.actualidadeditorial.com/darwin-online-project-todas-las-obras-de-darwin-digitalizadas-y-al-alcance-de-todo-el-mundo/>

2.3.2. LA FAMILIA HOMINIDAE

La especie humana se podría definir como un conjunto de individuos perteneciente a la familia de los homínidos, en el orden de los primates, dentro del reino de los animales, que comparten caracteres comunes y son capaces de reproducirse entre sí (Fig.16). Se trata de una especie bípeda, mamífera y social con capacidad de raciocinio, de concebir, aprender y transmitir nuevos conceptos, así como de modificar su entorno (Sánchez Cerezo, et al., 2004).

África, uno de los cinco continentes que conforman el actual globo terrestre, fue la cuna de la evolución humana. Hace unos 7 millones de años el continente africano era mucho más verde y húmedo donde dominaba un clima cálido y lluvioso. Estaba teñido por una espesa selva ecuatorial que iba desde el golfo de Guinea hasta el océano Índico, mientras que de norte a sur estaba flanqueado por una densa franja de bosques tropicales. En este entorno vivía una diversidad de homínidos de cuerpo grande parecido a los orangutanes modernos. Pasaban la mayor parte de su tiempo colgado de los árboles y poseían una dieta granívora. A finales del Mioceno, entrando ya en el Plioceno, el continente empezó a experimentar una serie de cambios dando lugar a un paisaje similar al que se presenta actualmente, compuesto por sabanas en el este y por bosques tropicales en el oeste (Iñigo Fernández, 2011). Dentro de este contexto, los homínidos sufrieron una serie de transformaciones diversificándose e iniciando así la evolución humana (Fig.19) que se extendió por África oriental y meridional (Boyd y Silk, 2001). Algunos de estos cambios morfológicos podrán ser analizados en el **Diagrama 1** y **Diagrama 2**.

En torno a los 4 millones de años un nuevo género de primates bípedos surge en el África oriental. Son los conocidos *Australopithecus* o “simios del sur”. Por aquel entonces el clima era aún más seco y el retroceso de la selva era mayor (Iñigo Fernández,

2011). *Australopithecus ramidus*, descubierto en 1992, es uno de los más antiguos dentro de la familia de los australopitecos. Vivió en hábitats mucho más arbolados que las posteriores especies. Se caracteriza por presentar rasgos compartidos con los homínidos. Destaca la posición del foramen magnum, próxima a su actual ubicación, así como dientes caninos de reducido tamaño. Sin embargo, la articulación mandibular, la base del cráneo y el esmalte dentario son más cercanos a los rasgos propios de los grandes simios modernos. Estos caracteres anatómicos y la preferencia por ambientes arbolados hacen pensar que esta especie pudiera representar uno de los primeros estadios evolutivos de los homínidos, pudiendo estar en la raíz del árbol que une el linaje humano con los grandes simios (Boyd y Silk, 2001).

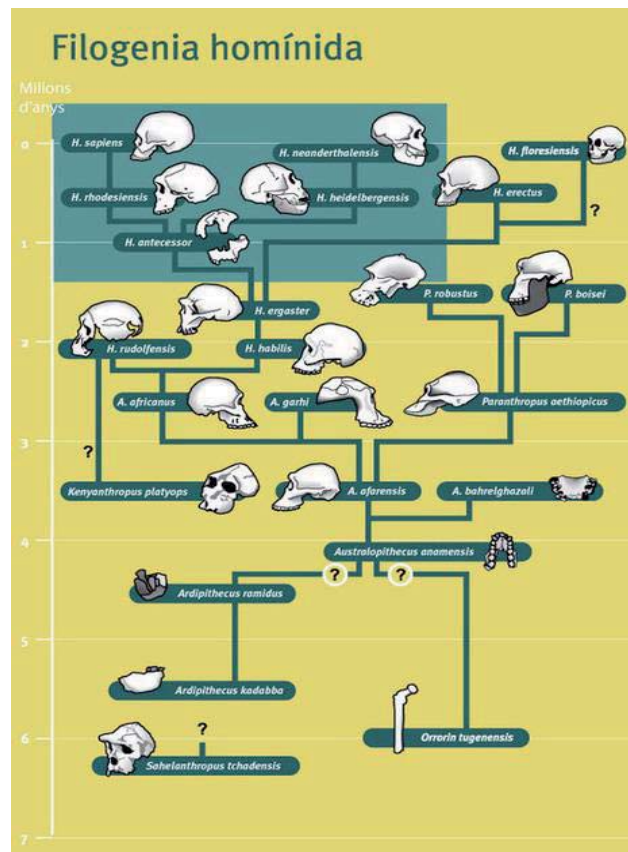


Fig. 16. Representación de la evolución humana. Fuente: <https://reflexiones-de-un-primate.blogspot.com/2016/01/12/a-proposito-del-arbol-de-la-filogenia-humana/>

En 1973-1974 se descubre el primer esqueleto casi completo de un *Australopithecus afarensis*, perteneciente a una hembra, la cual bautizaron como Lucy (**Fig.17**) por la canción de los Beatles *Lucy in the sky with diamonds* (García Ramos, 1987). Afarensis, por su parte, vivía en un hábitat mucho más diverso compuesto por sabanas arboladas secas, bosques en galería que rodeaban ríos y praderas abiertas. Esta especie posee grandes molares con una gruesa capa de esmalte y caninos pequeños lo que indica que eran frugívoros, se alimentaban de frutos secos duros. Sus extremidades

superiores son más largas que sus extremidades inferiores, facultadas para la vida arbórea, aunque las articulaciones de la rodilla y tobillo indican que eran bípedos. Su volumen endocraneal es de 426 cm^3 , aproximado al valor de los chimpancés modernos. Asimismo, los orificios auditivos destacan por ser pequeños y elípticos, similares a los de los simios actuales, así como una arcada dental en forma de U y un prognatismo subnasal. En cuanto a su altura se ha estimado unos 100 cm para la hembra y unos 145 cm para el macho mostrando un marcado dimorfismo sexual. La pelvis de *afarensis* se parece más al de los humanos, aunque es mucho más ancha (Boyd y Silk, 2001). En cuanto al incipiente bipedismo presente en esta especie han surgido varias hipótesis:



Fig. 17. Ilustración de Lucy, *Australopithecus afarensis*. Fuente: <https://www.nbcnews.com/science/science-news/40-years-later-lucy-discoverer-don-johanson-adds-human-origin-n253991>

1. Rodman y Mchenry argumentan que los antepasados de los simios eran cuadrúpedos arborícolas y que se alimentaban en lo alto de las ramas, mientras que los ancestros de los homínidos eran branquiadores, es decir, se colgaban de las ramas más bajas para alimentarse. Posiblemente la selección natural hubiera favorecido el cuadrupismo a aquellos que se alimentaban por encima de las ramas y el bipedismo a los que se alimentaban por debajo (Boyd y Silk, 2001).
2. Wheeler, por su parte, postula que el bipedismo ayuda a reducir el calor y a disminuir la cantidad de agua por medio de evaporación. Este fenómeno es debido a que el sol incide menos en un cuerpo erecto que en uno cuadrúpedo. Asimismo, el aire está mucho más caliente a ras del suelo puesto que el viento sopla con mayor fuerza a cuanto más altura se encuentre un individuo (Boyd y Silk, 2001).
3. Kevin Hunt señala que la pelvis de *afarensis* serviría como plataforma estable a la que sostenerse mientras estuviera en posición erguida, y así poder hacer ciertas funciones, pero no para caminar. Cree que con los rasgos presentes en hombros, manos y pies podría colgarse de una mano, estando erguido, mientras que con la otra se alimentaría (**Fig.18**) (Boyd y Silk, 2001).



Fig.18. Ilustración de un chimpancé usando una mano para equilibrarse, mientras que con la otra se alimenta. Fuente: Boyd y Silk (2001)

Australopithecus africanus (simio austral de África) fue identificado en 1924. Su dimorfismo sexual es muy marcado, los machos medían 140 cm y pesaban 44,6 kilos, mientras que las hembras 115 cm y pesaban 29,3 kilos. La capacidad craneana tiene una media un poco mayor que la de *afarensis*, 436 cm^3 , pero comparte rasgos como el

prognatismo nasal y una mandíbula robusta con grandes molares. Sin embargo, también posee caracteres propios de los grandes simios, distantes de *afarensis*, como unos brazos muchos más largos y dedos pulgares que le permiten poder alimentarse con las extremidades inferiores. A pesar de ser una especie mucho más tardía a *afarensis*, muestra rasgos más próximos a los grandes simios actuales. Este hecho puede que sea debido a que a lo largo de toda África las especies hubieran estado sometidas a los procesos evolutivos que conocemos, pero posteriormente la tendencia se hubiera invertido en el sur del continente donde se ubicaba *afarensis* (Boyd y Silk, 2001).

Hace 2,8 millones de años *Australopithecus* se fue diversificando en dos ramas, por un lado, está la rama de los homínidos y, por otro lado, la rama de los *Paranthropus*, aunque inicialmente se le conocía como *Zinjarthropus* (*Zinj* significa el “este” en lengua árabe) para pasar posteriormente a llamarse *Australopithecus* y finalmente *Paranthropus*. Esta última especie fue mucho más robusta que el australopiteco. Posee un esqueleto compuesto por huesos muy duros y fuertes. Su capacidad craneal es superior a las vistas con anterioridad, de 508 cm^3 , pero hay un fenómeno que cabe destacar en los parantropidos; todo su cráneo se reorganiza para sostener el masivo aparato masticador. En la parte superior exhibe una cresta sagital, una cresta ósea que recorre la línea media anteroposterior del cráneo, en la que se insertan los músculos temporales que permiten mover la mandíbula, y unos arcos zigomáticos a los laterales, muy marcados, que dejan espacio a estos músculos temporales. Su dieta era a base de alimentos duros como semillas y frutos secos. Muestra un marcado dimorfismo sexual donde la hembra mide 110 cm de altura y el macho 135 cm (Boyd y Silk, 2001).

En 1960 se dio a conocer a *Homo habilis*, clasificándolo dentro de la rama homínida, de unos 2,5 – 1,4 millones de años. Esta nueva especie presentaba rasgos cercanos a los humanos modernos y alejados de los grandes simios como un bipedismo natural, una capacidad craneal mucho mayor comparado con el tamaño del cuerpo, cráneos redondeados, un rostro más pequeño y no tan prognatado, pequeños músculos en la zona de la mandíbula, una arcada dental en forma de V, un esmalte dentario delgado, dientes caninos de reducido tamaño y molares grandes en comparación con el resto de los dientes, aunque su estructura postcraneal se aproxima a la estructura de los *Australopithecus* (Boyd y Silk, 2001). Sin embargo, *Habilis* cuenta con un cerebro mucho mayor al de los autropitecinos y parantropidos, 619 cm^3 . Es un cerebro eficaz, cuyas áreas donde reside la comunicación y manipulación muestran un evidente desarrollo (Iñigo Fernández, 2011). A esta especie se le han asociado restos de una rudimentaria industria lítica dando a entender que posiblemente fuera la primera especie, dentro del género *homo*, capaz de modificar de manera limitada su entorno (García Ramos, 1987).

Las herramientas halladas corresponden a una industria olduvayense, compuesto por cantos rodados sin función específica alguna. Se manufacturan a partir de rocas provenientes de diferentes lugares dentro de una misma área. Se ha cuestionado si la fabricación de estas herramientas tuvo alguna función para la ingesta de carne, que se inicia en estos momentos. Existen muchas posibles respuestas a la asociación presente entre artefactos líticos y restos fósiles. Los huesos pueden acumularse en ciertos puntos

por diferentes motivos como por una sequía extrema que acabe con un conjunto de individuos, por una deposición a causa de corrientes de agua, por una muerte natural en un lugar determinado o por que hayan sido transportados por otros depredadores. Sin embargo, estos análisis tafonómicos pueden afirmar que para estar fechas los homínidos procesaban la carne para luego consumirla de distintas maneras: robando las capturas hechas por otros predadores, aprovechando los cadáveres de animales muertos por causas naturales, etc. (Boyd y Silk, 2001). Sin embargo, esta idea no siempre estuvo en boga.

En 1871 Darwin es el primer autor en dar a conocer la hipótesis del *Hombre cazador*. La caza se presenta como un catalizador etológico que encauza la selección hacia la adquisición de habilidades cognitivas e intelectuales y que estas evidencias aparecen en los primeros australopitecos. Sin embargo, a principios del siglo XX, Dart junto a su alumno Brain, estudian los restos faunísticos asociados a los *Australopithecus* y descubren que en los restos óseos de los australopitecos hay marcas de dientes provenientes de otros depredadores, dando a entender que por entonces el género *Australopithecus* no eran los cazadores sino los cazados. A partir de este momento se comienza a desmontar la hipótesis inicial del *Hombre cazador* (Blumenshine, 1992).

Isaac, partiendo de los estudios tafonómicos realizados por Dart y Brain, en 1978 formula un nuevo modelo de repartición de los alimentos entre los primeros homínidos. Para ello realiza comparaciones de los patrones de conducta entre los simios y los cazadores recolectores actuales. Observa que, a diferencia de los cazadores y recolectores, no posponen el consumo de carne hasta llegar al “campamento base”. Asimismo, en el caso de los cazadores - recolectores sí comparten la comida, mientras que en los simios la obtención y consumo es una labor individualista. Tras estos estudios concluye que los homínidos se dividirían a diario en partidas más pequeñas para la búsqueda de alimento y su consumo se retrasaría hasta el regreso al campamento base. Este modelo habría reforzado los vínculos sociales. Su modelo fue criticado por ir demasiado lejos proyectando modelos etnográficos actuales. Ante ello reelabora su modelo anterior dando a conocer el *Forrajeo central* (Blumenshine, 1992).

En 1981 Binford parte de la base de que los primeros homínidos eran carroñeros marginales, los últimos de la cadena trófica en acceder a los derechos de los grandes felinos. No desarrollan la caza hasta los últimos 100.000 años. Por otra parte, los yacimientos en los que se habrían encontrado evidencias de actividad humana serían solo puntos del paisaje donde los félidos habrían abandonado las carcasas. El acceso a los recursos cárnicos estaría muy restringido y por tanto un reparto recíproco, tal y como Isaac proponía, no tenía cabida. Sin embargo, cambia su modelo por *Modelo del forrajeo de ruta* puesto que Bunn y Potts (1980), a través de sus estudios tafonómicos y geológicos, detectan que la manipulación de los homínidos era mayor de lo que Binford suponía. Asume las críticas y expone nuevas interpretaciones. Los homínidos acarrearían recursos líticos y óseos hasta emplazamientos ubicados en territorios con particularidades topográficas (vegetación, fuentes de agua, presencia de sombra, etc.) y que serviría de resguardo de los depredadores (Blumenshine, 1992).

El *Escondrijo de piedra*, teoría propuesta por Potts en 1984, postula que los “campamentos base”, más o menos estables y localizados en puntos concretos del paisaje, supondrían un peligro para los homínidos ya que ejercerían sobre ellos una presión trófica por parte de los depredadores. En cambio, habría puntos fijos donde acumularían piedras que funcionaría más como escondrijos que como campamentos. Los homínidos trasladarían las carcasas de carne al escondrijo de piedras más cercano, donde habría ya restos líticos y óseos procedentes de visitas anteriores. Allí las procesarían y luego lo abandonarían rápidamente. El modelo de Potts fue criticado puesto que proyectaba rasgos modernos de planificación estratégica y patrones complejos del uso del paisaje (Blumenshine, 1992).

Finalmente, en 1991-1998, Blumenshine y Peters, desarrollan su teoría sobre los *Refugios en bosques galería* donde lo combina con el *Escondrijo de Piedras* de Potts. Estos refugios serían localidades naturales que se escogerían para procesar las carcasas. Los pequeños afluentes del lago de Olduvai ofrecerían un excelente refugio para los homínidos (agua fresca, recursos vegetales, cantos para la industria lítica, protección contra los depredadores). Se realizaría cortas visitas a la sabana con el objetivo de obtener alimentos y luego volverían a los bosques galería para procesarlos (Blumenshine, 1992).

Evolución de la capacidad craneana

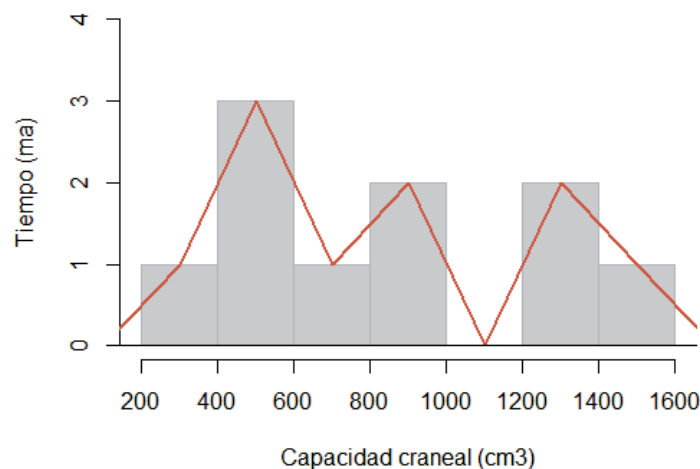


Diagrama 1. Representación en un histograma con un polígono de frecuencia de la evolución de la capacidad craneal a través del tiempo. Fuente: Martínez Nyman, S.S. (2020)

Hace unos 1,8-1,7 millones de años apareció en África un nuevo tipo de homínido. Esta especie, clasificada como *Homo erectus*, evolucionó gradualmente a un cerebro más grande, 940 cm^3 , dando lugar a una tecnología mucho más compleja y sofisticada. Continúa con la tradición de los choppers olduvayenses, pero a ello le añade una nueva industria conocida como Achelense, donde destaca un tipo de instrumental lítico, el bifaz. La estandarización de su forma sugiere que poseía un diseño específico (Boyd y Silk, 2001). Exhibe algunas modificaciones anatómicas como torus supraorbitario (hueso frontal que cubre las órbitas oculares) bastante desarrollado, frente huidiza o inclinada, hueso occipital más afilado, cara ancha y plana, ausencia de mentón, dientes pequeños, los molares aún más pequeños que los incisivos dando a entender que servirían para desgarrar y morder más que para triturar, y una nariz sobresaliente con la

función de conservar el agua (cuando el aire húmedo se enfría dentro de la nariz, parte del agua se condensa y se mantiene dentro del cuerpo) (García Ramos, 1987). En cuanto a su altura, los machos miden 180 cm, mientras que las hembras 160 cm. El dimorfismo sexual ya no es tan marcado debido a que posiblemente ya no habría competencias entre los machos, sino que el sistema de apareamiento habría cambiado (Boyd y Silk, 2001).

A *Homo erectus* se le conoce por ser la primera especie en salir de África y colonizar el área que comprende Eurasia. Se han encontrado restos fósiles de hace 1,8 millones de años en Dmanisi, Georgia. Estos restos muestran rasgos distintos a los que se localizan en África: cráneos más gruesos, arcos supraorbitarios y torus occipitales más pronunciados y quilla sagital más exagerada. Varios autores discuten la idea de que esta especie pudiera haber controlado el fuego puesto que habitó en zonas mucho más frías a las que se pueden encontrar en África. Sin embargo, no hay evidencias de estructuras destinadas, específicamente, para el uso del fuego hasta *Homo heidelbergensis*, pero posiblemente habría utilizado el fuego de manera oportunista, sin un planteamiento estratégico previo. Se han realizado varios análisis en aquellos lugares habitados por Erectus y se han obtenido resultados satisfactorios como la presencia de depresiones cóncavas en el suelo y una alta magnetización, debido a las altas temperaturas, en comparación con el área circundante (Boyd y Silk, 2001).

Durante el Pleistoceno medio surge una nueva especie con cerebros más grandes, cráneos redondeados, arcos supraorbitarios más suavizados, dientes cada vez más regulares entre sí y un prognatismo menos marcado. *Homo heidelbergensis* es el primer homínido que vive fuera de África, de hace 1,5 millones de años. Introduce nuevos aspectos que marcan un antes y un después en la evolución humana. Con esta especie se inicia una caza sofisticada y ello lo corrobora la evidencia en varios yacimientos de un adecuado instrumental adaptado a esta actividad, como puntas líticas enmangadas en lanzas arrojadas de madera, junto a restos faunísticos que presentan perforaciones causadas por estas armas (Carbonell e Iglesias Gil, 2005). Por otra parte, Heidelbergensis muestra una constitución física muy desarrollada, con una altura media de 185 cm para los machos, mientras que para las hembras 165 cm, y un peso medio de 100 kilos y 70 kilos tanto para los machos como para las hembras, respectivamente. En cuanto a su capacidad craneal se aproxima a la de *Homo sapiens*, 1300 cm^3 (Iñigo Fernández, 2011). Estos caracteres responden a un control del fuego por parte de esta especie. La cocción de los alimentos, como la carne, provoca la ruptura de las cadenas proteínicas, facilitando su digestión y un mayor aporte de estas proteínas. Asimismo, el uso del fuego implica la creación de espacios termorregulados, colonización de zonas a mayor latitud y altitud, defensa ante depredadores, nuevas técnicas de caza (acoso y encauzamiento de manadas), localización de grupos en el paisaje y ámbito de socialización (invita a reunir al grupo) (Carbonell e Iglesias Gil, 2005).

Se han encontrado cadáveres en la Sima de los Huesos, Atapuerca, junto a materiales simbólicos dando a entender que ya poseerían una conciencia sobre la muerte, aunque hay otros autores que afirman que los cadáveres eran abandonados sin intencionalidad ninguna y la presencia de elementos simbólicos posiblemente responda a los objetos que portarían los difuntos (Carbonell e Iglesias Gil, 2005).

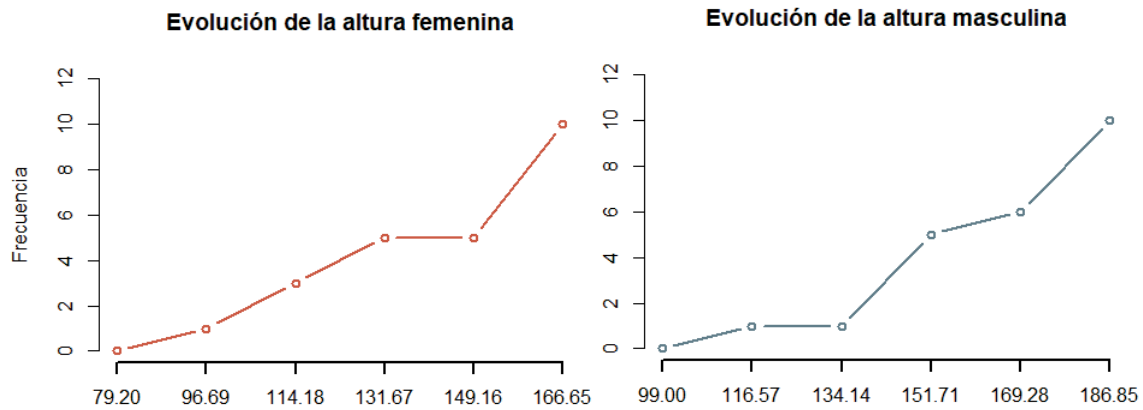


Diagrama 2. Representación con polígonos de frecuencia de la evolución de la altura tanto del sexo femenino como del masculino. Fuente: Martínez Nyman, S.S. (2020)

En 1856 se descubre una nueva especie caracterizada por poseer capacidad craneal mucho mayor que la de *Homo sapiens*, 1500 cm^3 , y una constitución física muy robusta y musculosa. A esta especie se le conoce como *Homo neanderthalensis*. Los neandertales son mucho más bajos que los homínidos actuales, los machos pueden llegar a medir 170 cm de altura, mientras que las hembras 156 cm. Sin embargo, pesan un 30% más, con una media de 80 kilos para los machos y 60 kilos para las hembras. Exhibe un cráneo alargado donde destaca una carencia de mentón, un ligero prognatismo, unas cuencas oculares grandes y redondeadas y una nariz grande. En cuanto a la estructura postcraneal muestra fuertes, grandes y acortadas articulaciones con respecto al cuerpo, amplia caja torácica en forma cónica y pelvis ancha facilitando así el parto. Todos estos rasgos anatómicos tienen como finalidad termorregular el cuerpo como respuesta a ambientes glaciales (Iñigo Fernández, 2011). La tasa de pérdida de calor corporal es proporcional al área de su superficie corporal, de tal forma que cualquier cambio que reduzca la cantidad de superficie de un volumen dado, conservará el calor (Boyd y Silk, 2001).

Homo neanderthalensis es una especie que presenta capacidades cognitivas e intelectuales que actualmente se pueden observar en la especie *Homo sapiens*. Es capaz de realizar herramientas mucho más sofisticadas y complejas a partir de nódulos líticos, como la técnica de Levallois, entre otras. La mayoría de sus restos fósiles se han hallado en cuevas y abrigos rocosos donde se puede evidenciar una presencia de enterramientos. Los difuntos eran enterrados en fosas u oquedades en el suelo en posición fetal. En estos momentos se desarrolla una conciencia de lo que simboliza la muerte puesto que existe una preocupación por proteger los cuerpos ante el desmembramiento de predadores y carroñeros y así poder conservarlos intactos. (Boyd y Silk, 2001). Junto a estas dos especies, sapiens y nenadertal, convivió otra de rasgos muy similares a *Homo*

neanderthalensis, aunque algunos científicos lo consideran mucho más robusta, el Denisovano (BBC, 2019).

Como se comentó anteriormente, *Homo erectus* fue la primera especie dentro de la rama homínida en abandonar el continente africano y dar lugar a las distintas especies que se han ido explicando a lo largo de este apartado. Sin embargo, algunos individuos de esta especie se mantuvieron en África y evolucionaron a *Homo sapiens*. A diferencia de los neandertales, Sapiens exhibe un cráneo mucho más redondeado con una nariz fina, una frente plana sin evidencia de prognatismo, un pequeño mentón prominente, unos dientes y maxilares mucho más pequeños y una laringe más apta para producir sonidos articulados y un lenguaje mucho más rico, aunque neanderthalensis también era capaz de comunicarse por medio del lenguaje. Su estructura postcranial es mucho menos robusta, compuesta por unas articulaciones largas y una pelvis estrecha (Iñigo Fernández, 2011). La capacidad craneana de los bebés al nacer presenta unas medidas aproximadas a las medidas del canal del parto, dando lugar a crías no encefalizadas del todo y a complicaciones en el alumbramiento. Al nacer, el feto tiene que atravesar dos contornos de la cintura pélvica: el superior y el inferior, con el agravante de que la orientación de estos dos contornos es distinta. El contorno superior es más ancho en sentido lateral (paralelo a los hombros), mientras que el contorno inferior es más ancho en sentido antero-posterior. Este cambio de orientación hace que el feto tenga que rotar cuando pasa a través del canal del parto. Primero se coloca lateralmente con su cara mirando a uno de los lados de la madre, y acto seguido se gira hasta que su cara termina mirando hacia atrás, momento en que su cabeza sale al exterior. Finalmente, los hombros llevan a cabo una nueva rotación para acomodarse al diámetro del canal del parto. Debido a que las crías nacen inmaduras aumenta la dependencia en su cuidado y el alargamiento de todas las fases de su crecimiento y desarrollo, aunque, de manera proporcional, aumenta la cohesión grupal y el cuidado paternal, así como la monogamia. Todos estos caracteres tanto anatómicos como intelectuales permitirán que esta especie pueda adaptarse a cualquier entorno y, de ese modo, expandirse por todo el mundo hasta dar lugar a nuestra especie actual (Salamanca Ballesteros y Mendoza Ladrón de Guevara, 2009).



Fig. 19. Representación de las distintas especies que forman la evolución humana. Fuente: <https://www.xlsemanal.com/conocer/naturaleza/20180324/homo-sapiens-frente-al-neandertal-origen-del-hombre.html>

2.4. TECTÓNICA Y EVOLUCIÓN HUMANA: RIFT AFRICANO, EL PUNTO DE PARTIDA

2.4.1. LA FORMACIÓN DEL GRAN RIFT DE ÁFRICA

La placa africana es la tercera placa tectónica más grande del planeta, de unos 60 millones de km^2 , y comprende 2.500 millones de años de transformaciones geológicas. Hace 200 millones de años el continente, estando casi en su posición actual, fue rotando unos 10° en el sentido contrario de las agujas del reloj hasta lograrlo, separándose así de otros dos continentes dando lugar a nuevos océanos. Todo ello resultado del ciclo del supercontinente (véase la Fig.9). En este mismo momento de la historia se formaron el Rift Pérmico-Jurásico temprano del Karoo que afectó al sur y este del continente y el sistema del Rift africano central durante el Jurásico tardío – Cretácico temprano (CARS). La cuenca Somalí, perteneciente al Jurásico – Cretácico, fue resultado de la separación de la placa africana Somalí y Madagascar que cesó hace 123 millones de años. A mediados del Cretácico, hace 130 m.a., el continente africano vuelve a estar sujeto a deformaciones internas a causa del Rift del norte, noroeste, noreste y centro de África. Finalmente, a partir de los 30 millones de años se desarrolla el Gran Rift de África (Gaiana et al, 2013).

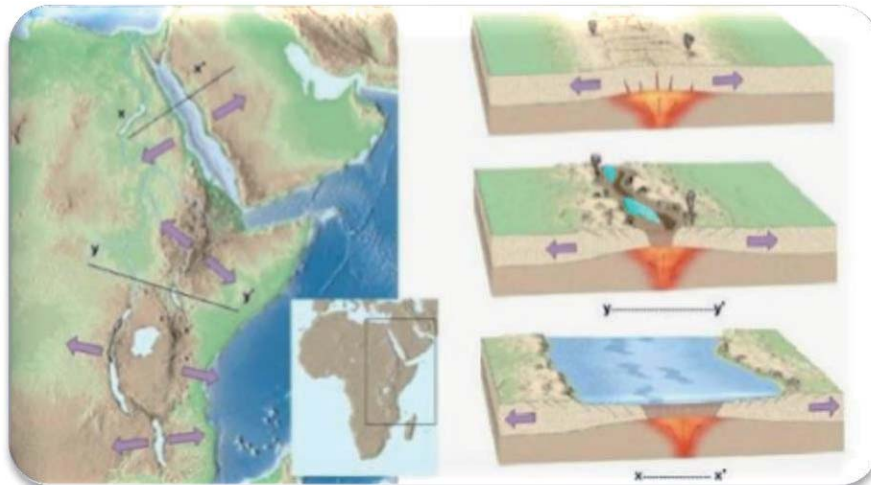


Fig.20. Representación del comienzo de la ruptura del Gran Rift de África. Fuente: <https://educandonaturaleza.wordpress.com/2012/02/14/un-rompecabezas-gigante/>

El Gran Rift de África es una gran fractura geológica resultado de la separación entre dos placas tectónicas continentales (véase la Fig.7) y localizada al este del continente africano con una extensión aproximada de 4.830 km que va de norte a sur. Está constituida por una depresión central, fracturas levantadas a los lados y una línea de adelgazamiento en la parte inferior del centro del Rift (Piña, 2011). Comenzó a formarse en el sureste de África hace 30m.a. y sigue creciendo en la actualidad (**Fig.20**). Esta misma estructura puede formarse en el suelo oceánico dando lugar a lo que se conoce

como dorsal oceánica. En el centro de esta dorsal, surcada por una serie de fracturas, se ubicaría el Rift (Wood y Guth, 2018).

Dicha fractura geológica forma parte de un sistema denominado EARS o *Sistema del Rift africano del Este* compuesto por el Rift de Etiopía y el Rift del Este de África. El

primer caso, conocido también como “Triple unión”, se ubica en el Afar, Etiopía, donde las placas Somalí (pequeña región al este), Nubia (la restante región de África) y Arábica se están separando por fuerzas divergentes. Dos de los brazos que forman la “triple unión” están ocupadas por el Golfo de Adén y el Mar Rojo, mientras que el tercer brazo se dirige hacia el sur, atravesando Etiopía. El segundo caso se compone por dos ramas que rodean el lago Victoria. La zona o rama oriental se le denomina *Kenia* o *Gregory Rift* puesto que divide Kenia de norte a sur. Se formó hace 16-8 millones de años por medio de la erupción de basalto de Samburu. Mientras que, por otro lado, la rama occidental se le conoce por *Rift del Lago Albertino* ya que en él se ubican los mayores lagos (Fig.21). Su formación fue hace 15 millones de años, en el mismo momento en el que la placa Arábica y africana colisionaron dando lugar a los Montes Zagros. Estas dos ramas (occidental y oriental) posiblemente correspondan a antiguas suturas resultantes de masas continentales que colisionaron hace billones de años. Durante dicha acción se encontraron ante un cratón, masa continental con un estado de rigidez que impide su deformación o destrucción. Al no poder romperlo, posiblemente las dos suturas terminarían rodeando dicha área para dar lugar a las actuales ramas del Rift del Este de África (Wood y Guth, 2018).

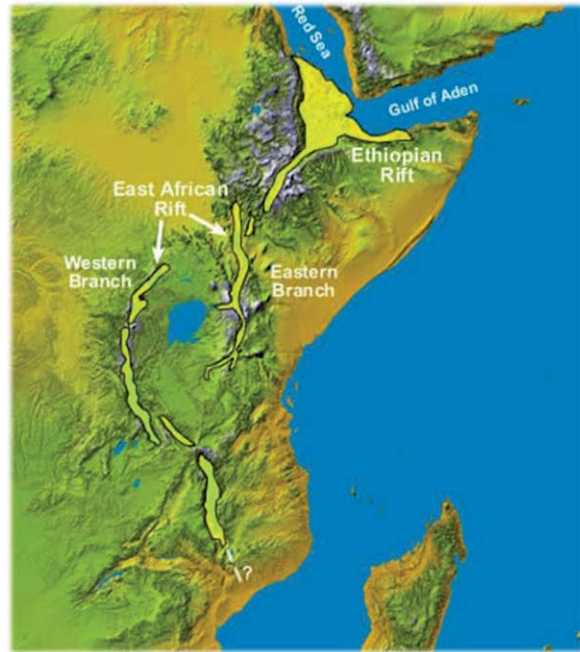


Fig.21. EARS compuesto por el Rift de Etiopía y el Rift del Este de África. Fuente: <https://geology.com/articles/east-africa-rift.shtml>

El segundo caso se compone por dos ramas que rodean el lago Victoria. La zona o rama oriental se le denomina *Kenia* o *Gregory Rift* puesto que divide Kenia de norte a sur. Se formó hace 16-8 millones de años por medio de la erupción de basalto de Samburu. Mientras que, por otro lado, la rama occidental se le conoce por *Rift del Lago Albertino* ya que en él se ubican los mayores lagos (Fig.21). Su formación fue hace 15 millones de años, en el mismo momento en el que la placa Arábica y africana colisionaron dando lugar a los Montes Zagros. Estas dos ramas (occidental y oriental) posiblemente correspondan a antiguas suturas resultantes de masas continentales que colisionaron hace billones de años. Durante dicha acción se encontraron ante un cratón, masa continental con un estado de rigidez que impide su deformación o destrucción. Al no poder romperlo, posiblemente las dos suturas terminarían rodeando dicha área para dar lugar a las actuales ramas del Rift del Este de África (Wood y Guth, 2018).

A su vez, el EARS (sistema del Rift africano del Este) forma parte de un sistema mucho mayor, el Rift Afro-Arábico. Se extiende unos 6.500km yendo desde Turquía hasta Mozambique y dentro de este sistema se incluye al Mar Muerto o Rift Levantino, el Rift de Etiopía y el Rift del Este de África (Piña, 2011).

Existen otro tipo de estructuras mucho más pequeñas que están asociadas a las fracturas principales o Rifts. La placa de Nyanza en el oeste de Kenia sería un ejemplo. Todas estas pequeñas grietas forman parte de la geología y del desarrollo de estos grandes sistemas (Wood y Guth, 2018).

La placa Somalí se mueve medio centímetro cada año con respecto al resto del continente africano. Esta acción junto a las fuerzas divergentes ha dado lugar a cambios

como la formación de nuevo suelo oceánico en el Golfo de Adén, hace 10 millones de años, y el Mar Rojo, hace 5 millones de años (Burke, 1996)

El comienzo del proceso de formación del Gran Rift de África se constata por primera vez a través de un fósil de ballena picuda, perteneciente a la familia de los zífidos, localizada en la región de Laperot al oeste de Turkana, Kenia, a 740 km tierra adentro desde la costa actual del Océano Índico, a una altura de 620m. Fue hallada junto con otro tipo de fauna como moluscos, peces, cocodrilos, tortugas, primates, etc. bajo siete metros de basalto correspondientes al Mioceno inferior – medio, hace 17 millones de años. Tras varios estudios y estimaciones moleculares se ha determinado que mediría 7 metros de largo, siendo la ballena picuda más antigua conocida hasta el momento. La han asociado a las especies modernas de *Indopacetus*, *Hyperoodon* y *Mesoplodon*. Este tipo de especímenes son de mar abierto y suelen entrar en ríos durante las migraciones estacionales. Normalmente suele haber suficiente agua para evitar que se queden varados (Wichura, et al., 2015).

Se especula que nuestra protagonista entró por error dentro de un afluente ubicado en el interior del continente africano cuando estaba migrando desde el Océano Índico en dirección este. Al no poder corregir su trayecto se vararía y finalmente fallecería. Los restos de ballena y otros fósiles junto con restos de sedimentos estudiados indican que el río era considerablemente de bajo gradiente, entre 24 y 37 metros (Wichura, et al., 2015).

El fósil es un registro zoogeográfico relevante, pero al mismo tiempo ofrece una primera restricción temporal del inicio de la elevación de la parte oriental de África. Cuando la ballena se quedó varada, el este de África se encontraba a una altura correspondiente a la del nivel del mar. Sin embargo, con el desarrollo de formaciones tectónicas que dieron lugar al Gran Rift de África fue elevándose hasta la posición actual. Asimismo, también aporta información asociada a los cambios paleoambientales sufridos en aquel momento. En un principio, el paleoambiente presentaba un clima húmedo con precipitaciones de 1.000 mm por año y un paisaje dominado por una cubierta vegetal denso. Este clima junto con las precipitaciones habría facilitado la migración de la ballena. Sin embargo, la elevación del este de África trajo consigo un periodo de aridez donde se expandió un paisaje sabático (Wichura, et al., 2015).

El mecanismo o proceso de formación del Gran Rift de África es un tema bastante polémico en las áreas de la geología y la geofísica. Según estos científicos existen dos posibles modelos que responden a su posible formación. Por un lado, destaca el modelo activo cuya idea principal se podría esquematizar de la siguiente manera: levantamiento – vulcanismo – rompimiento (Piña, 2011). Este modelo postula que las corrientes ascendentes de la astenosfera, ubicadas en el manto de la Tierra, o también conocido como pluma magmática, van elevando y adelgazando la litosfera para finalmente fracturarla en una serie de fallas que forman la estructura clásica de horst y graben (sucesión de regiones altas y bajas) (Wood y Guth, 2018). Por otro lado, está el modelo pasivo que argumenta que primero se lleva a cabo la formación del Rift y a continuación el levantamiento de sus bordes. Debido a los esfuerzos diferenciales

desarrollados en la litosfera esto ocasiona una serie de celdas de convección a pequeña escala bajo el Rift (son movimientos ascendentes y descendentes de calor que se realizan de manera continua). Este mismo fenómeno explica el origen de algunas cadenas de islas oceánicas. De manera resumida seguiría este orden: rompimiento – levantamiento – vulcanismo (**Fig.22**) (Piña, 2011).

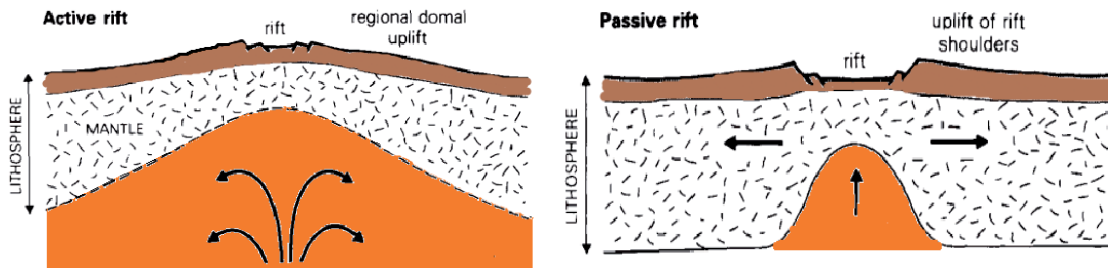


Fig.22. Formación de un rift a través del modelo activo (izq.) o el modelo pasivo (drcha.). Fuente: Piña (2011)

Por consenso el Gran Rift de África tuvo su origen a través de un modelo activo ya que es necesario para crear cuencas sedimentarias y márgenes continentales, tal y como pueden observarse actualmente (Piña, 2011). Siguiendo este modelo, el Rift de África ha sufrido a lo largo de su historia tres pulsaciones o ascensiones de plumas magmáticas. La primera de ellas, la pluma Lokitipi, se llevó a cabo hace 45-35 millones de años en el sur de Etiopía. La segunda fue la pluma de Afar, hace 30 millones de años. Finalmente, la tercera, la pluma de Samburu, tuvo lugar hace 20 millones de años (Burke, 1996). Cabe destacar que, durante el proceso de estrechamiento de este modelo, se procede a la erupción de volcanes fluyendo grandes cantidades de lava basáltica que van cubriendo grandes áreas. Si este estrechamiento no cesa, puede ir adelgazando la corteza hasta formar una cuenca oceánica. Este mismo fenómeno sucedió en el Mar Rojo y en el Golfo de Adén. Posiblemente con el tiempo el Gran Rift de África se convierta también en una nueva cuenca oceánica (Wood y Guth, 2018).

2.4.2. LA ACTIVIDAD TECTÓNICA Y LOS HOMÍNIDOS

El momento en el que los homínidos se separaron de los pánidos ha sido un tema de debate entre diversas ramas de la ciencia. Los bioquímicos, tras varios análisis proteínicos realizados en el material dental de la especie *Ramapithecus*, así como comparaciones con el ADN y las proteínas de los primates actuales, establecen su posible origen hace 3 millones de años. Por su parte, los paleontólogos postulan que fue hace 15 millones de años, según los estudios llevados a cabo en la mandíbula de *Ramapithecus*, cuyos resultados muestran similitud con los orangutanes. Finalmente, por consenso se ha aceptado que fue hace 7,5 millones de años (Coppens, 1994).

Según postuló Coppens (1994) con su teoría, *East Side Story*, a principios del Mioceno la mayoría de las regiones tropicales del planeta eran húmedas y cálidas. La temperatura no variaba demasiado a lo largo del año y las lluvias se distribuían uniformemente. Como resultado, las selvas continentales cubrían todo el continente africano. Sin embargo, a finales de este periodo e inicios del siguiente, Plioceno, la temperatura global disminuyó dando lugar a un enfriamiento global que descendió la

cantidad total de lluvia anual en África, siendo ahora más estacional (Boyd y Silk, 2001). Junto a este fenómeno se le unió la elevación por tectónica y fracturación de las mesetas orientales de África, un proceso ya iniciado hace 30 millones de años. El Gran Rift alcanzó una altura bastante considerable, 3.000 metros, bloqueando las masas de aire húmeda provenientes de corrientes marinas, como la corriente Benguela, del océano Atlántico. Como consecuencia, los paisajes selváticos comenzaron a retroceder en el Este del continente dando lugar a una mayor aridez del medio. En un primero momento las selvas pasaron a ser menos densas dejando paso a los bosques tropicales hasta que finalmente los claros se multiplicaron permitiendo avanzar a las praderas herbáceas salpicadas por arbustos (Iñigo Fernández, 2011).

Dentro de este contexto el ancestro común de los pánidos y los homínidos se vio afectado por los fenómenos geológicos y climatológicos (proceso alopátrico, véase Fig.10) dando lugar a dos tipos de especies. Aquellos que se quedaron en la zona occidental de África, donde se mantenía el antiguo paisaje tropical, evolucionaron a los actuales pánidos (chimpancés, orangutanes, etc.), mientras que los que se mantuvieron en la zona oriental fueron forzados a reaccionar ante los desafíos ecológicos naturales (Iñigo Fernández, 2011). Algunas especies lograron adaptarse y otras acabaron extinguiéndose. Las que se adaptaron sufrieron grandes cambios a lo largo de muchas generaciones de selección natural, permitiendo finalmente que algunas de estas especies bajaran de los árboles y se introdujeran en las sabanas iniciando así el proceso denominado evolución humana (Boyd y Silk, 2001). No se sabe con certeza quién pudo haber sido el ancestro común de los primates y humanos actuales. Según algunas propuestas, pudo ser *Sahelanthropus tchadensis*, hombre saheliiano del Chad, con una antigüedad de 7 millones de años. Su fósil fue bautizado como el nombre de Tumaí, *esperanza de vivir*. Otros posibles candidatos pudieron ser *Orrorintugenesis* de hace 6 millones de años o *Ardipithecus kadabba* y *Ardipithecus ramidus*, 4,5 millones de años. Todas estas especies poseen un rasgo en común, una hibridación entre las características principales de los primates más antiguos y las que pertenecen al género humano (Iñigo Fernández, 2011).

Se han documentados varios restos vegetales y óseos que corroboran los fenómenos geológicos y climáticos efectuados en África. En especies como *Elephantidae*, *Rhinocerotidae*, *Hippario* (antecesor del caballo), *Hippopotamidea* y algunos cerdos y antílopes exhiben un aumento de hiposodoncia (coronas elevadas) como respuesta a una vegetación herbácea que exige mayor resistencia ya que provoca un desgaste dental. Asimismo, en estratos más antiguos se han registrado granos de polen pertenecientes a árboles adaptados a medios húmedos como *Celtis*, *Acalypha*, *Olea* y *Typha*, mientras que los estratos más modernos muestran un aumento del número de *Myrica*, árboles de ambientes más secos (Coppens, 1994).

Tras estos procesos, según algunos autores, postulan que el cambio de una vida arbórea a una vida bípeda llevado a cabo en los homínidos habría sido complejo puesto que en un principio no eran ágiles, rápidos, buenos cazadores, etc. Lo más plausible es que se desarrollara en ambientes de costa. Sin embargo, otros autores opinan que la actividad tectónica generada durante la formación del Gran Rift de África desarrolló una

topografía compleja compuesta por una serie de distintas estructuras geológicas: levantamientos montañosos, valles, ríos, lagos, cuencas sedimentarias, fallas escarpadas, volcanes, campos de lava, etc (King y Bailey, 2006).

Durante la creación del Gran Rift se elevó 1 kilómetro, aproximadamente, dando lugar a la gran escarpa que atravesaba toda la costa sur de África hasta el valle de Zambezi, en la zona este, y hasta Luanda, en el oeste. La ascensión del calor proveniente del manto, especialmente de la astenosfera, generó una gran actividad volcánica y sísmica. Estos fenómenos se encontraban rodeados por ríos y fallas escarpadas formando profundos acantilados adyacentes a cuencas de subducción, que se llenaban constantemente con agua y sedimentos. La lava basáltica, resultado de las erupciones volcánicas, al enfriarse formaba grandes bloques afilados duraderos en el tiempo y resistentes a la erosión (King y Bailey, 2006).

Esta nueva topografía facilitó la configuración de rasgos tanto anatómicos como cognitivos en los homínidos (**Fig.23**):

1. El desarrollo paulatino de un paisaje mucho más árido dio lugar al paso de la cuadrupedia al bipedismo, pudiendo realizar largas caminatas. Este cambio, asimismo, introdujo la necesidad de caminar erguidos. Junto a ello se llevó a cabo la adaptación al calor y la pérdida de vello (King y Bailey, 2006).
2. El aprovechamiento de los paisajes escarpados constituidos por acantilados, rocas basálticas afiladas, etc. facilitó la obtención de recursos alimenticios puesto que actuaban como trampas, así como zonas que dificultaban la movilización de animales cuadrúpedos. Los homínidos en un primer momento consumirían la carroña abandonada por otros depredadores hasta que finalmente, por medio del desarrollo de nuevas habilidades cognitivas, acabarían convirtiéndose en un depredador más de la cadena trófica.
3. El desarrollo de estas habilidades cognitivas convirtió la observación y la inteligencia en una mejor arma que la velocidad (King y Bailey, 2006).
4. Se establecerían en zonas altas y seguras para resguardarse de los predadores, así como poder vigilar a sus presas sin asustarlas (Bailey, et al., 2000).
5. Según algunos autores, el control del fuego se pudo haber iniciado como imitación de los efectos del calor y el fuego expulsados por la actividad volcánica. El fuego introdujo una mayor diversificación de alimentos, así como el aporte cárnico que como resultado dio lugar a un aumento del tamaño del cuerpo y del volumen del cerebro. Asimismo, se convertiría también en un elemento de defensa ante los depredadores, de comunicación a largas distancias por medio de señales de humo, un modo de termorregular los asentamientos ubicados en zonas altas y de cohesionar el grupo (Bailey, et al., 2000).
6. Todos estos factores implicaban la necesidad de herramientas para defenderse, procesar los alimentos y cazar. La solución fue la producción de un instrumental lítico adaptado a las distintas circunstancias en las que se iban encontrando los homínidos. Cabe destacar los siguientes modos: Modo 1

u olduvayense, Modo 2 o Achelense, Modo 3 o Musteriense y Modo 4 (Bar-Yosef y Belfer-Cohen, 2001).

7. Durante la evolución homínida el periodo inmadurez y aprendizaje se va alargando, lo que significa mayor dependencia y cuidado tanto materno como paterno (King y Bailey, 2006).
8. La ingesta del agua es indispensable para disipar tanto el calor corporal, consecuencia de la radiación solar, como de la energía generada por el propio metabolismo. Se puede inferir que los homínidos primitivos tuvieron que habitar en zonas con surgencias de agua, ríos, lagos o estuarios de agua dulce siendo los lagos endorreicos del Gran Rift de África un elemento esencial para su supervivencia y dispersión (Estebanz Sánchez, et al., 2016).

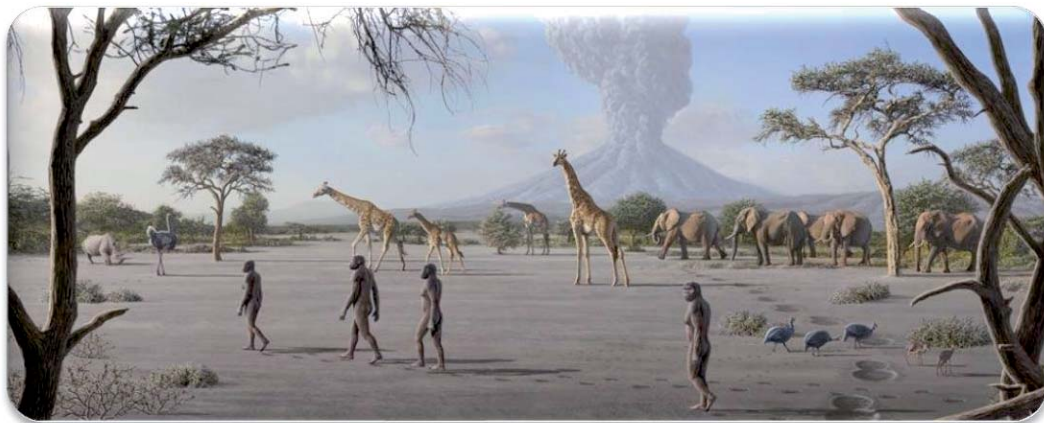


Fig.23. Entorno sabático desarrollado tras la formación del Gran Rift de África. Fuente: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/evolucion-hominidos-africa_8013/3

Existen otras propuestas alternativas sobre cómo y dónde habitarían los primeros homínidos. Cabe destacar la hipótesis del Bosque o Woodland donde se argumenta que los hábitats con mayor vegetación jugaron un papel determinante en los primeros pasos de la evolución humana. *Australopithecus afarensis* ocupó una amplia variedad de hábitats, desde praderas secas y húmedas hasta bosques y pastizales, todos ellos con recursos hídricos. Según nos comenta, los lagos ubicados al este de África, en su mayoría eran salinos, tal y como se encuentran actualmente. Tras el proceso de aridez muchos de ellos se secaron o se tornaron salinos, siendo la única excepción el lago Turkana. Por otra parte, las cuencas ubicadas en zonas llanas sin pendiente o sin un alto porcentaje de precipitaciones estarían solamente habitadas durante los periodos intensos de lluvia. Ante esto, *afarensis* ocuparía hábitats húmedos mediana o altamente arbolados la mayor parte del día, mientras que la otra parte visitaría de manera esporádica la sabana para obtener los recursos alimenticios necesarios. Estudios realizados en chimpancés de sabana, bastante parecidos anatómicamente con los primeros homínidos, han observado que durante las estaciones secas suelen usar hábitats cercanos a fuentes de agua (Estebanz Sánchez, et al., 2016).

2.4.3. LA SALIDA DE ÁFRICA

Desde que por primera vez en la historia se mostrara al mundo la teoría de la evolución humana por parte de Charles Darwin han ido surgiendo varias posturas que defienden posibles salidas de África por parte de los homínidos. Consideran que para que se diera lugar dicho fenómeno uno o varios factores tuvieron que jugar un papel importante. Los homínidos fueron desarrollando una serie de rasgos tanto biológicos como del comportamiento que les permitió adaptarse a cualquier circunstancia ambiental, facilitando el éxito de expandirse a Eurasia. Presentaban la capacidad de poder caminar erguidos y a un ritmo constante y de adaptarse al calor por medio de una morfología esbelta y alargada en la zona postcraneal y de un patrón vascular de las venas ubicadas en el cráneo. Asimismo, el aumento de su capacidad craneal les permitió aprender de manera rápida, crear relaciones sociales cada vez más complejas, poseer una dieta de una mayor calidad, fabricar artefactos líticos facilitando así el consumo de alimentos, etc. Las enfermedades zoonóticas, por su parte, dominan el medio africano debido a las condiciones climáticas que presenta. Son microparásitos que dependen de la transmisión de plantas y animales. Posiblemente al expandirse los homínidos saltaron dicha barrera zoonótica alejándose de ella puesto que en regiones con climas más fríos su presencia disminuye. Además, el hecho de haber estado expuestos a una gran cantidad de enfermedades creó una mutación genética haciéndoles inmunes (Bar-Yosef y Belfer-Cohen, 2001).

Otro de los posibles factores fueron un aumento de la demografía, así como cambios climáticos repentinos (Bar-Yosef y Belfer-Cohen, 2001). Han existido grandes eventos climáticos que han empujado a grandes mamíferos a movilizarse a otras tierras. Tras varios análisis isotópicos de $18O/16O$ (oxígeno) demuestran que hace 3,5-3,2 millones de años una variedad de mamíferos se dispersó durante fases climáticas frías. Posteriormente, hace 1,2 millones de años se llevó a cabo nuevas dispersiones cada uno o dos ciclos climáticos. Este fenómeno coincide con el ciclo de excentricidad de 100ka donde la órbita terrestre pasa de ser elíptica a oval, permitiendo en desarrollo de una época glacial (Van der Made y Mateos, 2010).

Los autores Martínez Navarro y Palmquist proponen que los homínidos y los depredadores se expandieron siguiendo las migraciones de los grandes herbívoros como el *Oryx sp* (antílope), *Kulpocherus olduwayensis* (jabalí) y *Equus tabeti* (asno salvaje), entre otros. Se han encontrado evidencias de esta fauna en el yacimiento de Ubediya, Israel. Sin embargo, tras varios estudios realizados se ha demostrado que estas migraciones no se llevaron a cabo en una única oleada, sino que fueron oleadas aisladas e independientes. La hiena, *Pachycrocuta brevirostris*, migró hace 2 millones de años, mientras que el hipopótamo, *Hipopotamus antiqua*, hace 400.000 años después. En el caso del babuino sus primeras evidencias en la Península Ibérica son de hace 1 m.a., después de la llegada del hipopótamo (Agustí y Lordkipanidze, 2017).

Tres de las posturas que se mantienen a día de hoy son:

1. Corredor de Levante: El modelo actual que está aceptado por consenso es aquel que postula que la salida de África se realizó por medio de la península del Sinaí en dirección al corredor de Levante. Una serie de fenómenos climáticos desarrollaron en regiones ubicadas fuera del continente un medio bastante similar al que se hallaba en África por aquel entonces. Saliendo del Afar en dirección Turquía y al este de Asia se desarrolló un cinturón árido bordeado por ambientes húmedos. A lo largo de este cinturón podemos encontrarnos con estructuras como el rift Sirio – Jordano. Dicha formación tectónica se extiende desde el Golfo de Aqaba hasta el este de Turquía donde hay una gran actividad volcánica desde hace 2 m.a. Asimismo, entre el norte de Israel y Siria una gran actividad generada por una serie de fallas transformantes, ubicadas a 20° del rift Sirio-Jordano, durante los últimos 10 m.a. ha dado lugar al monte Líbano. Esta elevación crea una topografía formada por entornos diversos, factibles para la vida homínida. Por su parte, en Turquía se localiza una falla al este que se extiende hacia el lago Van en el Cáucaso y hacia Irán y el Himalaya, mientras que esta misma falla en el oeste se extiende dirección el mar de Mármara. Yéndonos hacia el sureste de Asia podemos encontrarnos con un sistema de subducción asociado con una actividad tectónica y volcánica intensa (King y Bailey, 2006).

Evidencias tanto de actividad humana como de restos óseos se han asociado a estas regiones donde destaca una gran actividad tectónica y volcánica (King y Bailey, 2006). Las primeras evidencias homínidas son de hace 1,8 millones de años a través del hallazgo de un cráneo casi completo hallado en Dmanisi, Georgia, así como en Deal Mijlociu (Rumania) donde se ha documentado industria lítica o en Saldaljo 1 (Croacia) donde destaca un incisivo e industria lítica Olduvayense (Van der Made y Mateos, 2010).

Dentro de este mismo modelo hay autores que consideran que la primera dispersión homínida no fue a consecuencia de regiones con medios áridos, sino todo lo contrario, a través de medios húmedos. Según argumentan, estos homínidos vivirían aún de la carroña en medios boscosos con fuentes de agua cercanas puesto que son espacios más difíciles de ponerse en peligro ante la presencia de depredadores. En estos espacios, además, otro tipo de carroñeros tardan en detectar los cadáveres por la ausencia de buitres y dichos cadáveres pueden permanecer intactos hasta uno o dos días. De ese modo los homínidos tendrían mucho más tiempo para descarnarlo tranquilamente. El *Megantereon* y el *Homootherium* (diente de sable) era una competencia significativa. Sin embargo, proporcionaban fuentes de alimentos a los homínidos debido al tipo de dentición. Esta dentición no le permitía apurar sus presas dejando grandes cantidades de carne sin consumir (Agustí y Lordkipanidze, 2017).

En torno a 1,8 – 1,6 millones de años una nueva crisis climática daría lugar a una expansión de las zonas áridas frente a las boscosas. Una parte de los homínidos se verían obligados a entrar a la sabana desarrollando, en un proceso lento, la caza que les facilitaría, en gran parte, la vida en ese nuevo entorno. La otra parte de los homínidos se habrían refugiados en los últimos resquicios de zonas boscosas, al oeste, compitiendo con otros primates mejor adaptados, y al norte, en los límites del continente. En aquella región

habrían descubierto un entorno boscoso, similar al que dominó en África, favoreciendo la vida carroñera. Dicha región pudo ser el Cáucaso oriental que se encontraba rodeada por el Mar Negro y el Caspio, proporcionando un clima húmedo y un medio tropical. Asimismo, el gran Cáucaso actuaría como barrera efectiva contra los vientos y corrientes frías y secas. Varios análisis polínicos realizados en esta área demuestran la persistencia de plantas subtropicales como *Tsuga*, cipreses de pantanos, así como robles, abetos, etc. durante este periodo. Para alcanzar el Cáucaso tuvieron que haber cruzado Oriente medio por medio del corredor de Levante. Durante el proceso de aridez en África en el corredor se produciría el efecto contrario, un aumento de las precipitaciones y bosques templados debido a que el clima glacial del hemisferio norte se desplaza más en dirección sur, sin llegar a afectar a dicha región. De este modo el corredor se habría solamente durante picos glaciales desarrollando un contraste de entornos, al norte del Sahara los bosques crecían a lo largo del Levante conectando con los bosques Tauro y Zagros y con la topografía húmeda del Cáucaso, mientras que la sabana y el desierto se expandían en África. Durante los periodos interglaciales el corredor sería impenetrable (Agustí y Lordkipanidze, 2017).

2. Sur de la Península Arábiga: Recientemente se ha considerado otro posible modelo de dispersión, parecido al anterior, pero en este caso la salida se habría efectuado por medio de la línea de costa arábiga, en dirección al sureste de Asia. El margen del sur de Arabia provee un paso corto al subcontinente indio a diferencia del modelo anterior. Este paso requiere cruzar 20 kilómetros de mar entre África y el suroeste de la península arábiga. Sin embargo, con un nivel de mar bajo el estrecho representaría un camino o paso más corto, de unos 5 kilómetros. El problema que presenta es que la mayor parte de las evidencias se encuentran bajo mar, aunque eso no significa que deba descartarse (King y Bailey, 2006).

Tras alcanzar tierras orientales, a través del corredor del Levante, los homínidos se dispusieron a cruzar hacia Europa hace 1,2 millones de años, coincidiendo con las dispersiones de los grandes mamíferos comentado anteriormente (Van der Made y Mateos, 2010).

3. Estrecho de Gibraltar: Encauzándolo con la idea expuesta en el apartado anterior, otra alternativa a las dos modelos anteriores habría sido saliendo del este de África en dirección al noroeste bordeando la costa noreste del mar Mediterráneo y de ahí cruzar por el estrecho de Gibraltar o por Sicilia, hasta arribar a la Península Ibérica o Itálica, tal y como lo evidencian restos tanto líticos como óseos hallados en Atapuerca y Orce, y en Monte Poggiolo e Isernia. Sin embargo, muchos autores consideran ambigua esta teoría debido a la falta de evidencias datadas (King y Bailey, 2006). Eduardo Ripoll Perellón, por su parte, consideraba que los homínidos comenzaron a ocupar estas dos penínsulas a partir de 1,5-1,2 millones de años, mucho antes de los que se especula, aprovechando épocas donde el nivel del mar era bajo. Argumenta que, para los homínidos del Pleistoceno, capaces de seleccionar y organizar su entorno, un brazo de agua no habría sido obstáculo alguno puesto que la humanidad ha conseguido atravesar a lo largo de la historia extensiones de agua mucho más grandes como el Amazonas o el Congo, o el

poblamiento prehistórico de Oceanía. Se han hallado tanto industria lítica como restos óseos pertenecientes a este periodo de tiempo en una región extensa que va desde el Acudero (Cádiz) hasta el centro de Francia, destacando los yacimientos de Atapuerca y Orce (Diéguez, et al., 1998).

En 1968 José Gibert junto con sus colaboradores aportaron datos paleoecológicos y cronoestratigráficos para justificar la dispersión y colonización de Eurasia a través del estrecho de Gibraltar hace 2,4 millones de años. Asimismo, presentaron una serie de evidencias como la fabricación intencionada de un número elevado de objetos líticos y la presencia de estrías de descarnación y marcas de descuartizamiento que responden a una acción antrópica, entre otras cosas. Posiblemente la poca presencia de restos, como defienden algunos autores, responda a una baja demografía por aquel entonces donde los grupos no solían estar integrados por un gran número de individuos, o pudo haber varias oleadas siendo la de hace 0,7 millones de años la que aportara mayor cantidad de evidencias e información. Sin embargo, no se puede negar la existencia de algunos yacimientos con una datación mucho más antigua de la que se suele establecer, como es el caso de Barranco del Paso con material lítico asociado a fauna de hace 2 m.a., Barranco León 5 donde se han hallados manufactura lítica junto a restos de animales y un molar hominoide de hace 1,8 m.a., Venta Micena (1,7 m.a.) donde destaca una acumulación ósea con fracturas intencionadas y estrías de descarnación, y Fuente Nueva 3 (1,5-1,4 m.a.) con industria lítica vinculado a mastofauna diversa (Diéguez, et al., 1998).

Los tres modelos son plausibles debido a la gran cantidad de información que se ha documentado y registrado en cada uno de ellos a través de restos óseos tanto humano como faunístico y de instrumental lítico, pero uno de ellos sería el “elegido”. Sin embargo, también es posible que los tres coexistieran al mismo tiempo puesto que presentan una similitud en las edades de los distintos yacimientos que se han ido comentando a lo largo de este apartado. En este sentido se estaría hablando de una teoría multiregional de la dispersión humana (**Fig.24**). Durante el Plio-Pleistoceno una parte de los homínidos salieron del continente por el este, mientras que la otra parte salió por el norte como consecuencia de una serie de factores que permitieron su expansión de África al resto del mundo.

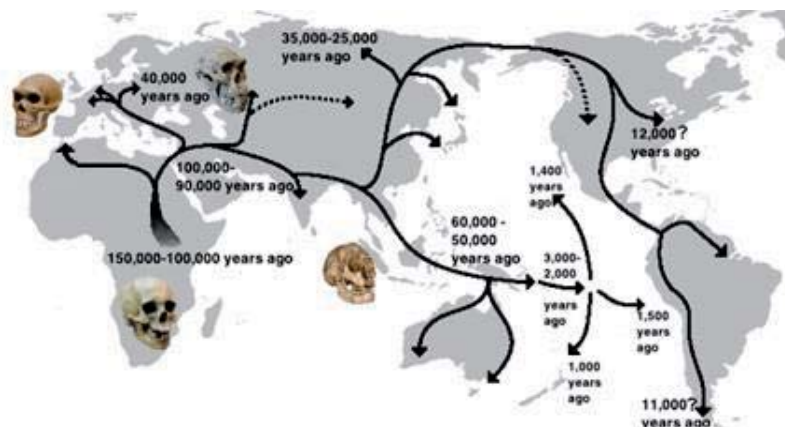


Fig. 24. Mapa donde se representa las tres posibles rutas de salida de los homínidos. Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_migration_out_of_Africa.png

2.5. LA TECTÓNICA A NIVEL MUNDIAL

Dentro de los tipos de bordes que se han comentado en el apartado 2.1.3, existe un tipo de estructura que se desarrolla como consecuencia de la acción destructiva o constructiva de las placas tectónicas. Este tipo de estructura corresponde con los volcanes, una formación geológica que representa una ruptura en la litosfera y la posterior salida del magma. Los volcanes suelen ubicarse en los límites de las placas tectónicas, y dependiendo de en qué placa tectónica se localice, podemos hablar de un tipo u otro. Por un lado, destacan los volcanes que se forman durante un proceso de subducción de una de las placas tectónicas. El material al llegar a cierta profundidad se calienta y se funde tornándose menos denso. Como consecuencia subirá a la superficie en forma de magma por medio de alguna fisura presente en la litosfera. Pueden encontrarse tanto en los límites de una placa oceánica y una continental, o en los límites de dos placas oceánicas. En ésta última se genera lo que se denomina como arcos de islas. Por otro lado, durante la separación de dos placas tectónicas que, como resultado dan lugar a una dorsal oceánica, se pueden desarrollar volcanes (Apaza, 2018). Por último, también cabe mencionar las plumas magmáticas. Son un tipo de salida de magma en los océanos que se generan por medio de previos puntos calientes. Cuando estas plumas magmáticas se desconectan de dicho punto caliente se sigue manteniendo su estructura dando lugar a islas volcánicas inactivas. Este modelo puede hallarse en Hawái (Esteban, et al., 2012).

El Gran Rift de África no es solamente el único evento geológico que dio lugar a la famosa evolución humana. A lo largo de la historia de la humanidad han existido varios fenómenos geológicos que podrían haber desempeñado un rol importante en la supervivencia de nuestra especie. Algunos de estos fenómenos corresponden a las formaciones supervolcánicas que según el registro geológico durante la evolución del planeta ocurrieron varias de magnitudes enormes, constituyendo una amenaza para la especie humana. Estas supererupciones generan estructuras volcánicas de grandes dimensiones con emisiones de enormes volúmenes de material piroclástico (del griego que significa “fuego roto” o lo mismo que fragmentos sólidos de material volcánico) junto con la introducción de gases nocivos en la atmósfera. Una supererupción puede llegar a emitir una masa de magma igual o mayor a 1×10^{15} Kg, aproximada al volumen de una roca densa de 450km. Durante las erupciones se expulsa magma fragmentado junto a gases con una velocidad superior a los 2000km/h. Si se ha adherido suficiente aire adquiere flotabilidad provocando que ascienda formando una columna explosiva hasta que se neutraliza. En ese momento se expande lateralmente impulsado por el viento dando lugar lo que se le conoce como pluma volcánica. El material piroclástico acaba cubriendo grandes extensiones de superficie terrestre. Estas supererupciones suelen ser fenómenos de larga duración afectando así a toda la vida que la envuelve, tanto terrestre como marina. El dióxido de azufre es uno de los gases emitidos por dichas erupciones que acaban siendo introducidos en la atmósfera creando aerosoles de ácido sulfúrico. Al enfriarse se

convierten en cristales que absorben y retrodispersan la radiación solar, dando lugar a un invierno volcánico (Báez, 2015).

En este apartado hablaremos de tres casos concretos en los que los homínidos se han visto comprometidos por una serie de formaciones geológicas:

2.5.1. LOS CAMPOS FLÉGREOS

El primer caso corresponde a la supererupción de los Campos Flégreos. Este supervolcán se ubica en Campania, Italia. Varios análisis realizados en testigos de hielo de Groenlandia, así como restos de cenizas ubicados en varias zonas del planeta, datan a este supervolcán en torno a 40.000 años BP. En este momento Eurasia estaba poblada por dos especies homínidas, *Homo neanderthalensis* y *Homo Sapiens*. Dicho supervolcán responde a una actividad tectónica convergente (véase la Fig.7), donde dos placas tectónicas chocan (continental y oceánica) y debido a que la placa oceánica es más densa se subduce hacia el interior de la Tierra (**Fig.25**). El material al fundirse pierde densidad volviendo a subir a la superficie por medio de alguna de las grietas. La salida del magma da lugar a la formación de este supervolcán que producirá grandes erupciones debido a la retención de masas de aire por parte de dicho magma (Espert, 2016).



Fig. 25. Mapa tectónico de Italia donde se representa los Campos Flégreos. Fuente: <https://elantroposofista.blogspot.com/2014/07/mappe-ditalia-free-download-todos-los.html>

Durante el último máximo glacial, entre 100 – 30 Ka, en el que el eje de la Tierra se desplazó alejando el hemisferio norte del sol, *Homo sapiens* salió de África y tomaron tierras europeas entrando en contacto con los Neandertales. Esta supererupción constituye el evento volcánico de mayor magnitud en la región del Mediterráneo de los últimos 200ka. Liberó 250-300 km^3 de material volcánico que se expandió sobre el centro y este de Europa ocupando una vasta región que iba desde Rusia hasta el Norte de África (Lowe, et al., 2012). Sus emisiones de ácido sulfúrico a la atmósfera bloquearon la luz solar y el oxígeno. Sus cantidades elevadas de flúor fueron un elemento químico mortal para la

vegetación, que a su vez afecta a la vida animal (Espert, 2016). La obtención de datos en la cueva de Hava Fteah en Libia, en cuatro importantes cuevas del centro de Europa (Kissoura, Golema Pesht, Kozarnika y Tabula Traiana) y en el sureste del mar Egeo indican que en este periodo hubo una drástica reducción de la cobertura arbórea, así como un clima mucho más árido (Lowe, et al., 2012).

Posiblemente la combinación de los cambios climáticos, la colonización de *Homo sapiens* y el supervolcán condujo a la movilización de los neandertales hacia el oeste de Europa, disminuyendo en número. No obstante, el registro fósil hallado en Marruecos de hace 100 ka y Egipto (60ka) responde a que *Homo sapiens* ya existía en el Norte de África mucho antes de la supererupción, lo que indica a su vez que su expansión y colonización de Europa fue previa a esta formación geológica. De este modo, la interacción de *Homo sapiens* y los neandertales tuvo que ocurrir antes, así como la consecuente movilización de *Homo neanderthalensis* al oeste de Europa. En cuanto al impacto generado en los homínidos por el supervolcán, dependería de cuan próximo o lejano se encontrarían del volcán. Serino, al estar localizada en las proximidades de los Campos Flégreos, aproximadamente 50 km al este, sufrió un gran impacto. Así lo demuestra una gran capa de ceniza que presenta evidencias de una incapacidad de recuperación por parte de la población que habitara dicha región (Lowe, et al., 2012). Asimismo, la ola de frío repentino que siguió a la erupción podría haber impactado significativamente en el día a día de estos homínidos (Europress, 2015).

2.5.2. EL SUPERVOLCÁN TOBA

El análisis de isótopos de oxígeno, así como de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Argón) realizado en registros de ceniza hallados en los niveles bajos del Océano Índico, indica que hace 73.000 años BP se llevó a cabo otra supererupción en Indonesia por parte del supervolcán Toba. La erupción del volcán Toba es otro de los eventos geológicos que pudiera haber estado asociado con la reducción de la población humana. Dichos análisis muestran que esta supererupción tuvo lugar durante la transición frío – cálido en el hemisferio norte, en el último máximo glacial, así como el registro polínico en Grande Pile, Francia (Rampino & Ambrose, 2000). El evento Toba fue resultado de una acción convergente entre tres placas, la placa indoaustraliana, euroasiática y pacífica (**Fig.26**), todas ellas oceánicas (véase la Fig.7). Una de ellas acabaría subduciéndose por debajo de la otra. Esta placa, debido a su alta densidad, se hundiría hasta acabar fundiéndose. El material fundido al mostrar menos densidad tornaría a subir a la superficie generando un arco de islas, como podemos encontrarnos actualmente en esta región (Burnham, 2017).

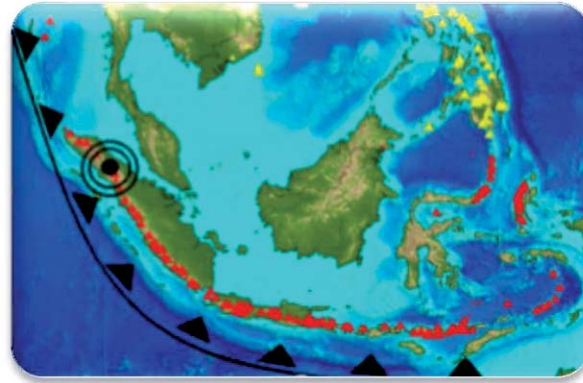


Fig. 26. Mapa tectónico de Indonesia donde se representa el volcán Toba. Fuente: <https://watchers.news/2011/09/05/increased-activity-at-22-volcanoes-in-indonesia/>

Su caldera de colisión presenta una extensión de 35x100 km, considerada la caldera más grande del Cuaternario (Chesner y Rose, 1991). Se estiman que su erupción pudo haber ocupado 2.800 km³ (Romero, 2018), haber durado una o dos semanas y haber inyectado aproximadamente 3x10¹⁵ gramos de azufre en la atmósfera. Este fenómeno redujo la luz solar provocando una disminución de la fotosíntesis en el reino vegetal, sobre todo en zonas tropicales debido a la escasa lluvia, así como de la biodiversidad que habita en ella. La biodiversidad marina también se vería afectada (Rampino y Ambrose, 2000).

Estudios genéticos realizados en el ADN nuclear y mitocondrial revelan que *Homo sapiens* salió de África hace 100.000 años y se expandió por el resto del mundo. Según Harpending et al (1993), con su teoría *Jardín débil del Edén*, proponen que, tras su salida y expansión, pasaron por un cuello de botella que coincide con este evento volcánico. Análisis realizados en el ADN mitocondrial de los chimpancés, *Pan troglodytes schweinfurthii*, muestran un patrón similar al ADN humano sugiriendo una severa reducción (Rampino y Ambrose, 2000).

2.5.3. LA ISLA DE FLORES

La Isla de Flores se ubica en Indonesia, una región que se originó como resultado de la colisión entre la India y el continente asiático hace 130 m.a., durante la separación del supercontinente, Pangea (véase la Fig.3). En Indonesia se localizan tres placas tectónicas de tipo oceánica que se caracterizan por una intensa actividad sísmica y volcánica (placa indoaustrialiana, euroasiática y pacífica). A esta zona se le conoce como Cinturón de fuego del Pacífico. La subducción de la placa indoaustrialiana bajo la placa euroasiática dio lugar a la formación de un arco de islas, entre ellas destaca la Isla de Flores (Delgado Ocaña, 2017).

Entre el año 2003 y 2004 se descubrió en la cueva de Ling Bua (Isla de Flores) un esqueleto casi completo de una nueva especie homínida, *Homo floresiensis*, o más conocido como el Hobbit (**Fig.27**). Dicha cueva se ubica a 14 km del norte de la capital de Ruteng, al oeste de la Isla de las Flores. Responde a dos periodos de ocupación, el primero de hace 74-61 ka que se localiza al oeste y centro de la cueva, mientras que el

segundo (18-16 ka) se ubica en el este. Los restos hallados se encuentran bajo depósitos resultantes de una erupción volcánica de hace 17 ka. Este fenómeno junto con el desarrollo de un clima mucho más frío, dando lugar a áreas abiertas, pudo haber puesto fin a esta especie (Aiello, 2010).

Homo floresiensis se caracteriza por ser un individuo que medía 106 centímetros y que ocupó la cueva entre los 95-74 ka hasta los 17ka. Presentaba algunos rasgos similares a los australopitecos como sus cortas extremidades superiores e inferiores, aunque su capacidad craneal era de $385-417\text{cm}^3$, asociada al de *Homo erectus*. Sin embargo, a pesar de mostrar una capacidad muy pequeña, se le ha vinculado con instrumental lítico avanzado, así como con otras actividades culturales como el uso del fuego o la caza (Aiello, 2010). Por otro lado, hay otros autores, como Jacob (2006) o Kaifu (2009), que defienden que esta especie era patológicamente un humano moderno, pero que sufrió una serie de desarrollos anormales como la microcefalia o la asimetría craneal. No obstante, estudios recientes demuestran que, si fueran *Homo sapiens* con patologías, el cráneo no habría cambiado de tamaño (Aiello, 2010). De este modo su morfología puede ser resultado de una adaptación a unas condiciones donde los recursos eran escasos y donde no había una gran presencia de depredadores. Se separarían de la especie original colonizando esta isla virgen. Su aislamiento a largo plazo junto con la continuidad filogenética favoreció el desarrollo de pequeños cuerpos y la formación de una nueva especie. A este fenómeno se le conoce como efecto fundador resultado de una especiación alopátrica (véase la Fig.10) (Barres González, 2016).



Fig.27. Representación de *Homo floresiensis* en la Isla de las Flores. Fuente: https://elpais.com/elpais/2014/11/14/ciencia/1415970185_422849.html

3. CONCLUSIÓN Y AGRADECIMIENTOS:

Como se ha podido comprobar a lo largo de este trabajo, un fenómeno geológico de gran magnitud como es el Gran Rift de África fue la causa principal que inició uno de los procesos más relevantes para la humanidad, nuestra propia evolución. La continua

separación de dos placas tectónicas, la placa Somalí y Nubia, dieron lugar a una gran fractura geológica denominada Gran Rift de África, hace 30 millones de años. Esta gran fractura junto al Rift de Etiopía o Triple unión, donde la placa Somalí, Nubia y Arábica se están separando, forma parte de un sistema mucho más grande conocido como EARS o Sistema del Rift africano del Este. El proceso de separación de dichas placas responde a una acción divergente en el que se está formando nuevo suelo debido a la constante salida de magma proveniente de la astenosfera. Si las placas continúan alejándose unas de otras finalmente se constituirá una dorsal oceánica, convirtiéndose todo este sistema en una nueva cuenca oceánica, al igual que sucedió con el Mar Rojo y el Golfo de Adén.

Antes de la formación de esta gran fractura geológica, África estaba dominado por un entorno y un clima tropical gracias a los constantes vientos y corrientes marinas del Atlántico que iban irrigando todo el continente, de este a oeste. Sin embargo, a partir de su aparición paulatina se transformó en una barrera iniciando lo que sería un proceso de especiación alopátrica. Las dos especies resultantes, los pánidos y los homínidos, se dispersaron ocupando regiones muy distintas y desarrollaron morfologías adaptadas a estos nuevos territorios. En el caso de los homínidos su adecuación a un terreno mucho más árido y sabático constituyó un proceso lento y complejo. En un principio combinaban espacios abiertos, lugar para obtener fuentes de abastecimiento, y zonas boscosas, donde se refugiaban de los grandes depredadores. Con la segunda ola de aridez en torno a los 1,8 – 1,6 millones de años obligó a una gran parte de los homínidos a ocupar la sabana. La topografía que había dejado el Gran Rift de África favoreció su supervivencia aprovechando estructuras para la caza o carroñeo, defensa y resguardo frente a depredadores, manufacturando instrumental lítico, etc., así como su evolución a especies mucho más complejas.

El Gran Rift no fue el único evento geológico en el que los homínidos se vieron involucrados. Fuera de África otras formaciones geológicas como el supervolcán Toba o los Campos Flégreos pudieron llegar a afectar a la especie homínida en varias ocasiones, llevándolas casi a su extinción. Asimismo, el desarrollo de un tipo de entorno con unas características específicas dio lugar a una nueva especie, *Homo floresiensis*, o más conocido como el Hobbit.

La gran fractura geológica formada al este del continente africano fue el motor principal de todos los eventos que sucedieron a continuación. No obstante, otro tipo de factores también jugaron un papel importante en la evolución humana: **factores climáticos** como el levantamiento de una nueva barrera geológica que impidió que las corrientes marinas del Atlántico siguieran irrigando el oeste de África, o el desarrollo de un periodo cada vez más glacial, todo ello acabó favoreciendo la aparición de un entorno mucho más árido y sabático; **factores genéticos** que generaron y seleccionaron nuevas mutaciones y caracteres permitiendo la vida y adaptación en estos entornos; **factores biológicos** como son la presencia de otras especies animales y vegetales; y **factores paisajísticos** caracterizado por volcanes, cuencas sedimentarias, fallas escarpadas, flujos de lava, lagos, etc. En cuanto al penúltimo de los factores, la formación de la sabana también fue una respuesta conjunta de una comunidad de especies que proporcionó una

autogeneración de condiciones adecuadas para su continuidad. Este hecho puede verse de manera más clara con el siguiente ejemplo: Los incendios y sequías crean un espacio abierto para la posterior formación de bosques con árboles grandes. Este paisaje atrae durante mucho tiempo a especies como elefantes, que un periodo corto pueden diezmar la población de árboles creando zonas abiertas donde proliferan los pastos y los arbustos. Este nuevo paisaje será óptimo para otras especies como los herbívoros (Terrazas Mata, 1991).

Todos estos fenómenos geológicos no solo se remontan a periodos históricos de hace miles de años. En el año 79 d.C. la erupción del Monte Vesubio arrasó con Pompeya y Herculano enterrando bajo grandes cantidades de ceniza a las poblaciones que habitaban estas ciudades. El Monte Vesubio se ubica en Campania, una región dominada por una gran actividad tectónica y volcánica (Arenas Jaramillo, 2019). Éste se reactivó después de la supererupción de ignimbrita de Campania respondiendo a un mismo mecanismo de subducción donde una de las placas acabó hundiéndose bajo la otra. Una vez que el material se hubiera fundido, al presentar poca densidad, subió a la superficie saliendo por una de las grietas de la litosfera en forma de magma o lava.

En definitiva, todos estos eventos geológicos marcaron un antes y un después en la historia de la humanidad. Gracias a la aplicación de la geoarqueología hoy podemos tener una visión mucho más completa sobre nuestra evolución. Sin embargo, aún será necesario investigar y obtener nueva información sobre aspectos que actualmente siguen siendo un tanto ambiguos como es el caso del proceso de adaptación de los homínidos en un entorno sabático: ¿Se adaptaron directamente a este nuevo entorno, dependieron en un principio de regiones boscosas o dicha dependencia se mantuvo hasta su salida de África? Por otra parte, también será interesante esclarecer si solamente llegó a existir una única ruta de salida o, por el contrario, coexistieron varias alternativas, tanto a través del estrecho de Gibraltar como por medio de la península Arábiga.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar, quería darle las gracias a mi profesor y tutor de TFE, Fernando Muñiz Guinea, por el apoyo, paciencia y entusiasmo infligidos a lo largo de estos complicados meses, así como a mi otro tutor, Carlos Patricio Odriozola Lloret, por su colaboración para la realización de este trabajo. A la Universidad de Sevilla por formarme como persona y aportarme grandes conocimientos durante cuatro años. A mis amigas del grado por hacer que esta larga trayectoria universitaria fuera mucho más amena y divertida. A mis amigos y compañeros por haber recorrido distintas etapas de mi vida. Y a toda mi familia tanto de Sevilla como de Mallorca, Finlandia y Murcia por creer siempre en mí y respaldarme en todas las decisiones que he ido tomando a lo largo de mi vida.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Acosta, J., 1590. *Historia natural y moral de las indias*. Historia ed. Madrid: s.n.
- Aguilera y Silva, 1997. Especie y biodiversidad. *Interciencia*, 22(6), pp. 299-306.
- Agustí, J. y Lordkipanidze, D., 2017. La salida de África. Un escenario alternativo para la primera dispersión humana en Eurasia. *Mètode science studies journal*, Issue 94, pp. 75-81.
- Aiello, L.C., 2010. Five years of Homo floresiensis. *American journal of physical anthropology*, Issue 142, pp. 167-179.
- Antroposofista, 2014. *Mapa de Italia*. [En línea] Available at: <https://elantroposofista.blogspot.com/2014/07/mappe-ditalia-free-download-todos-los.html> [Último acceso: 17 Mayo 2020].
- Apaza, N., 2018. *¿Cómo se forma un volcán?*. [En línea] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=ApCEe-mXV2U> [Último acceso: 25 Abril 2020].
- Arenas Jaramillo, O. A., 2019. Análisis petrográfico y petrológico de muestras colectadas en el volcán Vesubio, Italia. *Universidad Nacional de Colombia*, pp. 1-23.
- Báez, W., 2015. Supererupciones: definición, mecanismos, productos e impactos. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, Issue 23, pp. 73-79.
- Bailey, G., King, G. y Manighetti, I., 2000. Tectonics, volcanism, landscape structure and human evolution in the African Rift. En: G. Bailey, R. Charles & N. Winder, edits. *Human ecodymanics: Proceeding of the association for environmental archaeology conference 1998 held at the University of Newcastle upon Tyne*. Oxford: s.n., pp. 31-46.
- Barberá, O., 1994. Historia del concepto de especie en biología. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12(3), pp. 417-430.
- Barres González, L., 2016. *All you need is Biology*. [En línea] Available at: <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/tag/islas/> [Último acceso: 17 Mayo 2020].
- Bar-Yosef, O. y Belfer-Cohen, A., 2001. From Africa to Eurasia, early dispersals. *Quaternary international*, Issue 75, pp. 19-28.
- Baum, D., 1992. Phylogenetic species concepts. *Trends in Ecology and Evolution*, Issue 7, pp. 1-2.
- Baum, D. y Shaw, K., 1995. Genealogical perspectives on the species problem. En: P. Hoch & A. Stevenson, edits. *Experimental and Molecular Approaches to Plant Systematics*. St. Louis: Missouri Botanical Garden, pp. 289-303.
- BBC, 2019. *Así se veían los denisovanos, el extraño grupo de homínidos que se cruzó con nuestros antepasados hace 50.000 años*. [En línea]

- Available at: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49763204>
[Último acceso: 16 Mayo 2020].
- Blumenshine, R.J., 1992. Carroñeo y evolución humana. *Investigación y ciencia*, Issue 195, pp. 70-77.
- Boyd y Silk, 2001. *Cómo evolucionaron los humanos*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Burke, K., 1996. The African plate. *South african journal of Geology*, 99(4), pp. 341-410.
- Burnham, L., 2017. *Documental volcán de Toba (apocalipsis en el paleolítico)*. [En línea] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=sE0Co714w58>
[Último acceso: 25 Abril 2020].
- Camps, J., 2019. Taxonomía y filogenia ¿Qué es la especie?. *Universitat Autònoma de Barcelona*, pp. 20-21.
- Carbonell e Iglesias Gil, J.M., 2005. *Cursos monográficos sobre el patrimonio histórico*. Santander: Ayuntamiento de Reinoso.
- Chesner, C. y Rose, W., 1991. Stratigraphy of the Toba tuffs and the evolution of the Toba caldera complex, Sumatra, Indonesia. *Bull Volcanol*, Issue 53, pp. 343-356.
- Chillymanjaro, 2011. *Increased activity at 22 volcanoes in Indonesia*. [En línea] Available at: <https://watchers.news/2011/09/05/increased-activity-at-22-volcanoes-in-indonesia/>
[Último acceso: 17 Mayo 2020].
- Collado, G., 2014. Historia del pensamiento evolutivo. En: A. Méndez & J. Navarro, edits. *Introducción a la biología evolutiva*. Chile: Socevol, pp. 1-229.
- Coppens, Y., 1994. East side story: the origin of humankind. *Scientific american*, Issue 270, pp. 88-95.
- Crespo Valdéz, A., 2016. *Origen de la vida*. [En línea] Available at: <http://slideplayer.es/slide/8030085/>
[Último acceso: 2 Mayo 2020].
- Cuevas García, E., 2012. Mecanismo de especiación ecológica en plantas y animales. *Biológica*, 14(2), pp. 7-13.
- Curran, R., 2016. *Internet archive*. [En línea] Available at: https://archive.org/details/b24923461_0003/page/n5/mode/2up
[Último acceso: 2 Mayo 2020].
- Darwin, C., 1859. *El origen de las especies*. Madrid: Espasa libros .
- Darwin, C., 1871. *The descent of man, and selection in relation to sex*. London : Albermarle street.
- De Queiroz, K., 2007. Species concepts and species delimitation. *Systematic biology*, 56(6), pp. 879-886.

- Delgado Ocaña, R., 2017. Tectónica y placas y riesgos geológicos. *Universidad de Jaén*, pp. 1-52.
- Diéguez, A., Gibert Beotas, L. y Gibert, J., 1998. La penetración de los homínidos por el estrecho de Gibraltar en el contexto general de su dispersión. *Revista de arqueología e antigüedad*, Issue 17, pp. 29-48.
- Dobzhansky, T., 1937. *Genetics and the origin of species*. New York : Columbia university press.
- Dobzhansky, T., 1963. La biología y la cultura en la evolución humana. *Anales de la universidad de Chile*, Issue 127, pp. 5-35.
- Eldredge, N. y Cracraft, J., 1980. *Phylogenetic Patterns and the Evolutionary Process*. New York : Columbia university press.
- Eldredge, N. y Gould, S., 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. En: T. Schopf, ed. *Models in Paleobiology*. San Francisco: Freeman, Cooper and Co. , pp. 82-115.
- Ephert, 2011. *Human migration out of Africa*. [En línea] Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_migration_out_of_Africa.png [Último acceso: 2 Mayo 2020].
- Esper, R., 2016. *Apocalipsis Neandertal: Hipotesis del supervolcan (Campos Flegreos)*. [En línea] Available at: <https://www.dailymotion.com/video/x497lvb> [Último acceso: 25 Abril 2020].
- Esteban, M.A., Zapatero, B., Bernabé, R. y Lobejón, M.D., 2012. *Biología y Geología. Nou Bioterra*. Palma de Mallorca: Vicens Vives .
- Esteban Sánchez, F. Hernández-Aguilar, A., Martínez, I.M., Genís, J. y Pérez-Pérez, A., 2016. El acceso regular hídricos potables podrá explicar la distribución de Australopithecus afarensis. *Revista Antropología física*, Volumen 37, pp. 33-43.
- Estela Raffino, M., 2020. *Concepto de ser humano*. [En línea] Available at: <https://concepto.de/ser-humano/> [Último acceso: 23 Marzo 2020].
- Europress, 2015. *¿Sucumbieron los neandertales a un cataclismo volcánico?*. [En línea] Available at: <https://www.europapress.es/ciencia/habitat-y-clima/noticia-sucumbieron-neandertales-cataclismo-volcanico-20150320181844.html> [Último acceso: 25 Abril 2020].
- Folguera, G. y Marcos, A., 2013. El concepto de especie y los cambios teóricos en Biología. *Ludus Vitalis*, 21(39), pp. 1-25.
- Frankel, H., 1995. De la deriva de los continentes a la tectónica de placas. *Enseñanza de la ciencias de la tierra*, Issue 3.3, pp. 130-136.

Gaiana, C. Torsvik, T., Medvedev, S., Werner, S., Labails, C. y Van Hinsbergen, D., 2013. The African plate: A history of oceanic crust accretion and subduction since the Jurassic. *Tectonophysics*, Issue 604, pp. 4-25.

Garbí, S., 2020. *Especiación*. [En línea] Available at: <http://megustalagenetica.blogspot.com/p/especiacion.html> [Último acceso: 16 Mayo 2020].

García Cruz, C. M., 2003. Más allá de la geografía especulativa: orígenes de la deriva continental. *Iluil*, Volumen 26, pp. 83-107.

García Ramos, M., 1987. *Los fósiles: huellas de la evolución*. Madrid: Penthalon.

Gibert, J., Checa, L.L., Roca, A., Martínez, B., Ruz, C. y Ribot, F., 1986. Nuevas ideas sobre la colonización homínida en Eurasia. *Paleontología i Evolució*, Issue 20, p. 169.

Giménez, M., 2020. *El triunfo del "sapiens" frente al neandertal*. [En línea] Available at: <https://www.xlsemanal.com/conocer/naturaleza/20180324/homo-sapiens-frente-al-neandertal-origen-del-hombre.html> [Último acceso: 2 Mayo 2020].

Hagelberg, M., 2014. *40 Years Later, Lucy Discoverer Don Johanson Adds to Human Origin Story*. [En línea] Available at: <https://www.nbcnews.com/science/science-news/40-years-later-lucy-discoverer-don-johanson-adds-human-origin-n253991> [Último acceso: 2 Mayo 2020].

Hallam, A., 1980. *De la deriva continental a la tectónica de placas*. Barcelona: Labor.

Harpending, H., Sherry, S., Rogers, A. y Stoneking, M., 1993. The genetic structure of ancient human populations. *Current Anthropology*, Volumen 34, pp. 483-496.

Haug, E., 1907. *Traité de Géologie*. Paris: Librairie Armand Colin .

Hess, H., 1962. The history of ocean basins. *Petrologic studies* , pp. 599-620.

Iglesias Garrote, J., 2013. *Curiosidades científicas*. [En línea] Available at: <http://kuriosidadescientifiks.blogspot.com/2016/11/la-expansion-del-fondo-oceanico-y-la.html> [Último acceso: 15 Mayo 2020].

Iñigo Fernández, L.E., 2011. *Breve historia del mundo. Las claves para entender la historia del hombre*. Madrid: Nautilus.

Jacob, T., Indriati, E., Soejono, R.P., Hsü, K., Fayer, D.W...Henneberg, M., 2006. Pygmoid Australomelanesian Homo sapiens skeletal remains from Liang Bua. Flores: Population affinities and pathological abnormalities. *Proc Natl Acad Sci USA*, Issue 103, p. 13421–13426.

Jbermudez, 2016. *A propósito del árbol de la filogenia humana*. [En línea]. Available at: <https://reflexiones-de-un-primate.blogs.quo.es/2016/01/12/a-proposito-del-arbol-de-la-filogenia-humana/> [Ultimo acceso: 15 mayo 2020].

Jujosansan, 2011. *La tectónica de placas*. [En línea] Available at: <https://es.slideshare.net/jujosansan/la-tectnica> [Último acceso: 2 Mayo 2020].

Junta, A., 2020. *La especie humana: evolución y cultura*. [En línea] Available at: www.juntadeandalucia.es/educacion/portals/delegate/content/5846e00e-c1fc-4ff3-9052-07e7b406c03e [Último acceso: 23 Marzo 2020].

Kaifu, Y., Baba, H., Kurniawan, I., Sutikna, T., Wahyu Saptomo, E., Kaneko, T...Djubiato, T., 2009. Brief communication: pathological deformation in the skull of LB1, the type specimen of Homo floresiensis. *Am J Phys Antropol*, Issue 140, pp. 177-185.

King, G. y Bailey, G., 2006. Tectonics and human evolution. *Antiquity*, Issue 80, pp. 265-286.

Kyser, E., 1912. *Lehrbuch der allgemeinen Geologie*. Stuttgart: Allgemeine geologie.

Lamarck, J., 1968. *Filosofía zoológica*. Barcelona: Alta Fulla.

Lowe, J. Barton, N., Blockley, S., Bronk Ramsey, C., Cullen, V., Davies, W...Arienzo, I., 2012. Volcanic ash layers illuminate the resilience of Neanderthals and early modern humans to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(34), pp. 32-37.

Makinistan, A., 2012. La fuerte impronta gradualista de Darwin. *Ludus Vitalis*, 20(38), pp. 1-13.

Martínez. R.F., 2019. *Fichas de geología*. [En línea] Available at: <https://www.goconqr.com/flashcard/9201225/fichas-geologia> [Último acceso: 2 mayo 2020].

Martínez - Navarro, B. y Palmqvist, P., 1995. Presence of the African Machairodont Megantereon whitei in the Lower Pleistocene of Venta Micena (Orce, Granada, Spain), with some considerations on the origin, evolution and dispersal of the genus. *Journal of archaeological science*, Issue 22, pp. 569-582.

Massanni, A. 2010. Teoría evolutiva: fundamentos, impactos y debates. En: Lemarchand & Tancredi, edits. *Astrobiología: del Big Bang a las civilizaciones*. s.l.:Tópicos espaciales en ciencias básicas e ingeniería, pp. 265-295.

Mayr, E., 1942. *Systematics and the Origin of Species*. New York : Columbia university press.

Mellado, A., 2008. *Darwin Online Project: todas las obras de Darwin digitalizadas y al alcance de todo el mundo*. [En línea] Available at: <https://www.actualidadeditorial.com/darwin-online-project-todas-las-obras-de-darwin-digitalizadas-y-al-alcance-de-todo-el-mundo/> [Último acceso: 2 Mayo 2020].

Moreno, R., 2012. *Educandonaturaleza*. [En línea] Available at: <https://educandonaturaleza.wordpress.com/2012/02/14/un-rompecabezas->

gigante/

[Último acceso: 16 Mayo 2020].

Nance, R., Worsley, T. y Moody, J., 1998. El ciclo del supercotiente. *Investigación y ciencia*, Issue 144, pp. 36-43.

Nano, 2012. *Carlos Linneo*. [En línea]
Available at: <https://apuntesdelnanomundo.blogspot.com/2011/05/carlos-linneo.html>
[Último acceso: 2 Mayo 2020].

Olea Franco, A., 1986. La teoría del equilibrio puntuado. Una alternativa al neodarwinismo. *Ciencias*, Issue 15, pp. 46-59.

Oroná, M., 2013. *Ciencias de la Tierra*. [En línea]
Available at: http://csdelatierraconcordia.blogspot.com/2013_04_01_archive.html
[Último acceso: 15 Mayo 2020].

Paterson, H., 1985. The recognition concept of species. En: E. Vrba, ed. *Species and Speciation*. Pretoria: Transval Museum, pp. 21-29.

Pérez, C., Bueno, A., Feria, M. y Morrone J., 1997. Alfred Lothar Wegener y la teoría de la deriva continental. *Revista Museo*, Issue 9, pp. 75-79.

Pérez-Malvárez, C., Bueno, A. y Morrone, J., 2003. Recepción temprana de la teoría de la deriva continental y su competencia con las teorías rivales. *Asclepio*, 55(3-34), pp. 75-79.

Perfeccti, F., 2002. Especiación: modos y mecanismos. En: Soler, ed. *Evolución, la base de la biología*. España: Proyecto Sur, pp. 307-322.

Piña, A., 2011. Rift del Este de África. Sistema del Rift continental del este de África y estudio de tres casos de Sudáfrica, Etiopía y Kenia. *Universidad de Venezuela*, Volumen 13, pp. 1-33.

Placet, F., 1668. *La corruption du grand et du petit monde, où il est montré qu'avant le déluge, l'Amérique n'était point séparée des autres parties du monde*. Paris: Aliot.

Polanco Masa, A., 2013. *Puentes de tierra por todas partes*. [En línea]
Available at: <https://alpoma.net/tecob/?p=8414>
[Último acceso: 15 Mayo 2020].

Rampino, M. y Ambrose, S., 2000. Volcanic winter in the graden of Eden: the Toba supereruption and the late pleistocene human population crash. *Geological society of America*, Issue 345, pp. 71-82.

Ripoll Perelló, E., 1983. Buscando nuestros orígenes. *Revista de arqueología*, Issue 29, p. 5.

Ritter, C., 1832. *Die Erdkunde im Verhältniss zur Natur und zur Geschichte der Menschen Wissenschaften*. Berlín: Reimer .

Romero, S., 2018. *La humanidad casi fue eliminada por un volcán hace 74.000 años*. [En línea]
Available at: <https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/la-humanidad-casi-fue->

[eliminada-por-un-volcan-hace-74-000-anos-451521024939](#)

[Último acceso: 26 Abril 2020].

Rosen, D., 1979. Fishes from the upland and intermontane basins of Guatemala: revisionary studies. *Bulletin American Museum of Natural History*, Issue 162, pp. 267-376.

Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E., 2004. *George Cuvier*. [En línea] Available at: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/c/cuvier.htm> [Último acceso: 2 Mayo 2020].

Salamanca Ballesteros, A. y Mendoza Ladrón de Guevara, N., 2009. *Ginecología evolucionista. La salud de la mujer a la luz de Darwin*. Granada: Universidad de Granada.

Sampedro, J., 2014. *Vuelve el Hobbit*. [En línea] Available at: https://elpais.com/elpais/2014/11/14/ciencia/1415970185_422849.html [Último acceso: 2 Mayo 2020].

Sánchez Cerezo, S., Rubio Cordovés, M., Sequeiros Murciano, M., Calderón Soto, M.R., Carrasco González, C.V...Crespo González, J., 2004. *Nuevo diccionario de la lengua castellana*. Madrid: Santillana.

Sequeiros, L., García de la Torre, E. y Martínez Pedrinaci, E., 1995. Tectónica de placas y evolución biológica: construcción de un paradigma e implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Issue 3.1, pp. 14-22.

Simpson, G., 1961. *Principles of Animal Taxonomy. The Species and Lower Categories*. New York : Columbia university press.

Simpson, G., 1985. *Fósiles e historia de la vida*. Barcelona: Biblioteca científica American .

Snider-Pellegrini, A., 1858. *La création et ses mystères dévoilés*. París: Frank.

Solbrig, O., 1980. Introduction to population biology and evolution. *The quarterly review of biology*, 55(2), pp. 173-175.

Suess, E., 1892. *Das Antlitz der Erde*. Viena: The Branner geological library.

Tarbuck y Lutgens, 2005. Tectónica de placas: el desarrollo de una revolución científica. En: *Ciencias de la Tierra. Una introducción de la Geología física*. Madrid: Pearson , pp. 32-75.

Templeton, A., 1989. The meaning of species and speciation: A genetic perspective. En: D. Otte & J. Endler, eds. *Speciation and its consequences*. Massachusetts: Publishers Sunderland, pp. 3-27.

Terrazas Mata, A., 1991. Los procesos de hominización desde una teoría de la coevolución humana: I - El plioceno y pleistoceno inferior. *Boletín de antropología americana* , Issue 35, pp. 23-36.

Torquemada, M., 2014. *La evolución de los homínidos en África*. [En línea] Available at: <https://historia.nationalgeographic.com.es/a/evolucion-hominidos->

africa_8013/3

[Último acceso: 2 Mayo 2020].

Trueman, E., 1979. Species concept. En: R. Fairbridg, D. Jablonski & P. Stroudsburg, edits. *The Encyclopedia of Paleontology*. s.l.:Hutchinson y Ross, Dowden, pp. 764-767.

Van der Made, J. y Mateos, A., 2010. Longstanding biogeographic patterns and the dispersal of early Homo out of África and into Europe. *Quaternary international* , Issue 223, pp. 195-200.

Van Valen, L., 1976. Ecological species, multispecies, and oaks. *Taxon* , Issue 25, pp. 233-239.

Vera Cortés, J.L., 1999. Teoría evolutiva, el gradualismo y el eslabón perdido. *An. Antrop.*, Issue 33, pp. 53-65.

Verstegen, R., 1605. *A restitution of decayed intelligence*. Londres: British Library.

Vine, F., 1968. Magnetic anomalies associated with mid-oceans ridges. En: R. Phinney, ed. *The history of Earth's crust: a symposium* . Princeton: Princeton university press, pp. 73-89.

Wegener, A., 1929. *The origin of continents and oceans*. USA: Dover publications.

Wichura, H., Jacobs, L., Lin, A. y Polcyn, M., 2015. A 17-My-Old whale constrains on set of uplift and climate change in east Africa. *PNAS Early edition*, 112(13), pp. 1-6.

Wiley, E., 1978. The evolutionary species concept reconsidered. *Systematic Zoology*, Issue 27, pp. 17-26.

Wood, J. y Guth, A., 2018. *East's África Great Rift Valley: A complex Rift system*. [En línea]

Available at: <https://geology.com/articles/east-africa-rift.shtml>

[Último acceso: 12 Abril 2020].