

MUNIBE (Antropología-Arkeología)	nº 60	5-16	SAN SEBASTIÁN	2009	ISSN 1132-2217
----------------------------------	-------	------	---------------	------	----------------

Recibido: 2009-10-06  
Aceptado: 2009-10-27

# El origen del lenguaje: la evidencia paleontológica

## The origin of the language: the paleontological evidence

**PALABRAS CLAVES:** Atapuerca, Sima de los Huesos, *Homo heidelbergensis*, Comunicación, Habla.

**KEY WORDS:** Atapuerca, Sima de los Huesos, *Homo heidelbergensis*, Communication, Speech.

**GAKO-HITZAK:** Atapuerca, Hezurren leizea, *Homo heidelbergensis*, komunikazioa, hizketa.

Ignacio Martínez Mendizábal<sup>(1,2)</sup> y Juan Luis Arsuaga Ferreras<sup>(2,3)</sup>

### RESUMEN

El estudio del origen y evolución del lenguaje es un campo que puede ser contemplado desde el análisis del registro paleontológico, que nos permite establecer qué especies fósiles dispusieron de las características morfológicas asociadas a la producción y percepción del lenguaje hablado. La Teoría Matemática de la Información de Claude E. Shannon ofrece el apropiado marco teórico para relacionar los distintos aspectos del fenómeno de la comunicación a través de las adaptaciones óseas de las especies pretéritas. Los descubrimientos e investigaciones realizados en las pasadas dos décadas en el yacimiento mesopleistoceno de la Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca) y la revisión de los fósiles humanos del Pleistoceno medio de África y Europa y de ejemplares neandertales muestra que en el linaje de los neandertales (*Homo heidelbergensis*, *Homo neanderthalensis*) ya existía un conjunto de adaptaciones anatómicas relacionadas con la presencia de un sistema de comunicación oral muy eficiente.

### ABSTRACT

The origin and evolution of speech can be approached from the analysis of the paleontological record which allows us to establish which fossil species had the morphological features that are associated to the production and perception of speech. The Mathematical Theory of Information by Claude E. Shannon offers an appropriate theoretical scenario in which all different variables in the communication phenomenon can be interrelated through the study of the bone adaptations in past species. For the last two decades, the findings at the Middle Pleistocene site of the Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca), and the researches on this and other human fossil material from Middle Pleistocene sites in Africa and Europe, as well as from Neandertal specimens, leads us to conclude that the Neandertal lineage (*Homo heidelbergensis*, *Homo neanderthalensis*) already showed a set of anatomical adaptations related to the presence of a highly-efficient oral communication system.

### LABURPENA

Hizkuntzaren sorrera eta eboluzioa erregistro paleontologikoaren azterketaren bitartez azter ditzakegu. Horri esker, hitzak sortzeko eta hautemateko ezaugarri morfologikoak zituzten espezie fosilak ezagut ditzakegu. Claude E. Shannonen Informazioaren Teoria Matematikoak komunikazioaren fenomenoarekin zerikusia duten zenbait ezaugarri ezagutzeko marko teoriko egokia eskaintzen digu, antzinako espezieen hezurren egokitzapenari erreparaturaz. Azken bi hamarkadetan Atapuercako Hezurren leizean egindako aurkikuntzen eta ikerketen bitartez, Afrikako eta Europako Erdi Pleistozenoko gizakien fosilen azterketaren bitartez, eta neanderthal espezieko gizakien fosilen azterketaren bitartez, espezie hark (*Homo heidelbergensis*, *Homo neanderthalensis*) ahoz modu eraginkorrean komunikatzeko ahalmena zuela frogatzen duten egokitzapen anatómikoak aurkitu dituzte ikertzaileek.

## 1.- INTRODUCCIÓN: FÓSILES Y PALABRAS

El problema del origen del lenguaje se encuentra entre las principales cuestiones en el campo de la evolución humana (BALARI *et alii.*, 2008). No cabe duda de que si pudiéramos establecer las capacidades lingüísticas de las especies humanas fósiles estaríamos muy cerca de esclarecer el cuándo, el dónde y el cómo del origen de la mente humana. Así lo entendieron tam-

bién Darwin y Wallace, en cuyos puntos de vista contrapuestos arranca la polémica sobre el origen del lenguaje (ARSUAGA y MARTÍNEZ, 2001). Hoy, casi un siglo y medio más tarde, el debate sigue abierto, pues no en vano "las palabras se las lleva el viento", y mientras no nos sea posible transportarnos en el tiempo para contrastarlas empíricamente, el establecimiento de las capacidades lin-

<sup>(1)</sup> Universidad de Alcalá. Dpto. de Geología (Área de Paleontología). Edificio de Ciencias, Campus Universitario. 28871 Alcalá de Henares. ignacio.martinezm@uah.es

<sup>(2)</sup> Centro Mixto (UCM-ISCIII) de Investigación sobre Evolución y Comportamiento Humanos. c/Sinesio Delgado, 4. 28029 Madrid.

<sup>(3)</sup> Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. jlarsuaga@isciii.es

güísticas de las especies humanas fósiles será objeto de discusión. Pero eso no quiere decir que sea imposible adquirir conocimiento sobre algunos aspectos muy relevantes del problema.

Para ello, es preciso comenzar distinguiendo las dos fuentes de evidencia con las que contamos: el registro arqueológico y el registro paleontológico. Ambos presentan características propias que determinan el tipo de información que podemos obtener. A diferencia del registro arqueológico, que nos informa sobre lo que hicieron los humanos del pasado, los datos paleontológicos se ciñen a lo que dichos humanos pudieron hacer. En estas líneas, nosotros nos centraremos en el análisis de la evidencia disponible en el registro paleontológico y también conviene precisar que nos ocupamos exclusivamente del lenguaje hablado.

El estudio de los fósiles humanos nos permite conocer, en primer lugar, la anatomía ósea de las especies del pasado. El siguiente paso consiste en relacionar dicha anatomía con las funciones biológicas concretas que realizaron los organismos pretéritos. Y aquí es donde comienzan los problemas. Si a cada morfología ósea le correspondiera una, y sólo una, función biológica sería inmediato establecer las segundas a partir del estudio de las primeras. Pero lo cierto es que una misma anatomía puede soportar diferentes funciones biológicas, por lo que no es posible estar seguro de que la presencia de una estructura anatómica o una morfología determinada implique la existencia, en el pasado, de una función biológica concreta. Sin embargo, la ausencia del adecuado soporte anatómico sí que puede usarse como prueba de la carencia de una función biológica concreta.

En esta línea, lo que sí podemos establecer, a partir del registro paleontológico de las especies humanas extinguidas es qué capacidades lingüísticas pudieron tener y cuáles no. O dicho de otro modo, la ausencia en una especie humana fósil de las estructuras anatómicas necesarias para el lenguaje permite establecer que dicha especie careció de él. Por el contrario, la presencia del pertinente soporte anatómico en una especie fósil no nos permite asegurar, en rigor, que sí dispusiera de lenguaje.

Pero podemos afinar un poco más el razonamiento para intentar llevar algo más lejos nuestras conclusiones. Olvidémonos por un momento del lenguaje y pensemos en otros problemas de biología evolutiva alejados de la evolución humana.

Pensemos, por ejemplo, en los pterodáctilos, esos hermosos reptiles voladores del Mesozoico. ¿Voladores? Nadie ha visto nunca a un pterodáctilo vivo por lo que sus capacidades voladoras no pueden ser contrastadas directamente, sino que han sido inferidas a partir de su anatomía. Y puesto que acabamos de establecer que la presencia de una estructura anatómica concreta no implica necesariamente la presencia de una función biológica determinada, lo único que deberíamos decir de los pterodáctilos es que podían volar. Y sin embargo, estamos seguros de que volaban. ¿Qué hay en el caso de los pterodáctilos que nos permite establecer con seguridad una función biológica (el vuelo) a partir de su anatomía? La respuesta es sencilla: en el esqueleto de los pterodáctilos no hay una única estructura anatómica que pueda relacionarse con el vuelo, sino una serie de ellas. Tal vez, podría buscarse una explicación diferente para cada una de estas peculiaridades por separado pero la presencia conjunta de todas ellas indica claramente que servían a una función muy determinada, el vuelo.

¿Puede este tipo de razonamiento extenderse al caso del lenguaje? Para que sea así, es necesario, en primer lugar, establecer si el lenguaje depende de una o varias adaptaciones anatómicas y, en este caso, cuáles son.

## 2.- LENGUAJE Y COMUNICACIÓN

El lenguaje humano, cualquiera de ellos, no es sino un caso particular del fenómeno general de la comunicación. Siguiendo a Claude Shannon (SHANNON, 1948: 2), cualquier proceso de comunicación puede describirse como un sistema a través de cuyos elementos transita la información. Así, una *fente de información* determina un conjunto de información, o *mensaje*, para ser transmitido hasta un *destinatario*. El mensaje debe ser codificado en una señal adecuada a las propiedades del *canal* a través del cual se va a transmitir. La *señal* es emitida por el transmisor y recibida por el *receptor*. A continuación, la señal es descodificada para recuperar el mensaje original para el destinatario.

En su introducción a la teoría de Shannon, Warren Weaver identificó, en el caso del lenguaje hablado, la *fente de información* y el *destinatario* como los cerebros que producen y reciben, respectivamente, el mensaje, el *transmisor* con el sis-

tema vocal (las vías aéreas superiores), el *canal* con el aire a través del cual se propaga el sonido y el *receptor* con el oído (WEAVER, en SHANNON y WEAVER, 1949: 7). Debatiémoslo este punto de vista de Weaver más adelante.

Aunque parezca un juego de palabras, el lenguaje hablado puede describirse como un sistema de comunicación muy eficaz y muy eficiente. Muy eficaz porque permite transmitir una gran cantidad de información muy diversa y muy eficiente porque puede hacerlo muy rápido. La diferencia entre ambos conceptos puede entenderse al comparar los dos sistemas de comunicación que pueden emplearse en los teléfonos móviles: los mensajes escritos y la voz. Ambos son igualmente eficaces pues pueden transmitir la misma cantidad de información, pero el lenguaje hablado es más eficiente pues lo hace mucho más deprisa.

Una vez definida la eficiencia en la comunicación como la cantidad de información transmitida por unidad de tiempo, el siguiente paso es identificar las adaptaciones anatómicas que sostienen la gran eficiencia del lenguaje hablado. Una de los principios fundamentales de la Teoría matemática de la información (teorema nº 9 o "Teorema fundamental de los canales discretos sin ruido") es que la eficiencia (velocidad de transmisión) de un sistema de comunicación depende directamente de la capacidad del canal a través del cual se establece la comunicación, mientras que es inversamente proporcional al "peso" (o cantidad de información) promedio de los símbolos empleados en la comunicación (SHANNON, 1948: 16). Además, para una capacidad de canal y un "peso" dados, la eficiencia máxima solo se alcanza a través de la codificación más adecuada (la asignación de la cantidad de información que le corresponde a cada símbolo concreto). En palabras más sencillas, la eficiencia de la comunicación depende directamente de la adecuada codificación de la información y de la amplitud del canal de comunicación.

La codificación de un mensaje en una señal se realiza en dos fases. En primer lugar, una idea debe de ser convertida en nuestra mente en un mensaje: una palabra, o una frase. A continuación, el mensaje debe transformarse en una señal: una secuencia ordenada de sonidos. Resulta evidente que es el cerebro el encargado de la primera tarea (el tránsito de ideas a palabras) mientras que comparte protagonismo con las vías aéreas supe-

riorios en la segunda fase (el paso de palabras a sonidos). Así que la "adecuada codificación" se realiza en dos órganos, cerebro y vías aéreas superiores.

El otro factor que determina la velocidad de comunicación de un sistema es, como ya hemos comentado, la capacidad del canal. El habla es un sistema de comunicación de los denominados "continuos" en los que la capacidad del canal viene determinado, sobre todo, por un parámetro denominado *ancho de banda* (teorema nº 17 en SHANNON, 1948: 43). El ancho de banda es la amplitud del intervalo de frecuencias que pueden ser transmitidas a través del canal.

Ya hemos visto que, según Weaver (WEAVER, en SHANNON y WEAVER, 1949: 7), el canal es el aire a través del cual se propaga el sonido y que el receptor es el oído. Sin embargo, esto no es así. Anatómicamente, en el oído humano se diferencian tres partes: el oído externo, el oído medio y el oído interno. Desde un punto de vista funcional, solo pueden distinguirse dos partes: una más externa, compuesta por el oído externo y el oído medio, cuya misión es hacer llegar las vibraciones del aire exterior hasta el oído interno, que es donde dichas vibraciones son realmente percibidas y transmitidas al cerebro a través del nervio acústico. Es decir, que el oído externo y medio no funcionan como receptores sino que se limitan a servir de medio a través del cual las vibraciones del aire llegan al oído medio. En otros términos: el conjunto formado por el oído externo y medio forman parte del canal y no del receptor. La consecuencia es que el canal del sistema de comunicación del lenguaje hablado no es simple sino que está formado por dos diferentes medios situados en serie: el aire y el conjunto formado por el oído externo y el oído medio.

La extraordinaria importancia de este matiz reside en que mientras el ancho de banda que puede transmitirse a través del aire es virtualmente ilimitado, el ancho de banda del sistema formado por el oído externo y medio está restringido a un conjunto concreto de frecuencias. Debido a las propiedades físicas (masa, longitud, volumen, sección) de las estructuras anatómicas del oído externo y medio (conducto auditivo externo, tímpano, cadena de huesecillos, cavidad timpánica, celdas mastoideas) unas frecuencias se propagan mejor que otras y se produce un auténtico filtrado acústico (MARTÍNEZ *et alii*, 2004). Este filtra-

do, denominado técnicamente transmisión de la potencia, es una de las causas principales de que los diferentes animales oigan de manera distinta y, sobre todo, también determina la capacidad del canal en el oído.

Tal como cabría esperar, el ancho de banda de la transmisión de la potencia a través del oído externo y medio en el oído humano muestra un valor significativamente mayor que el correspondiente a los chimpancés (MARTÍNEZ, *et alii*, 2008a), puesto que nuestra comunicación oral es mucho más eficiente (más rápida) que la de nuestros parientes vivos más próximos. En este sentido, es interesante destacar que entre los genes que han variado en la línea humana, desde el antepasado común con los chimpancés, debido a la acción de la selección natural, se encuentra al menos uno, el EYA 1 (CLARK *et alii*, 2003), que interviene en el desarrollo del oído externo y medio (ABDELHAK, *et alii*, 1997; VERVOORT, *et alii*, 2002).

En resumen, la gran eficiencia del lenguaje hablado estriba en su adecuada codificación y en el extenso ancho de banda de su canal. También ha quedado establecido cuáles son los órganos implicados: el cerebro y las vías aéreas superiores en la codificación, y el oído externo y medio en el ancho de banda. Y utilizando la misma lógica que en el caso del vuelo de los pterodáctilos, si encontramos en una especie humana fósil modificaciones en dichos órganos que puedan relacionarse con un incremento en la eficiencia del lenguaje hablado, lo más razonable será suponer que dicha especie hablaba.

### 3- MENTE Y VOZ

Aunque en la anatomía cerebral no existe ningún indicador anatómico directo de las capacidades lingüísticas de las especies fósiles, hay dos aspectos que sí parecen estrechamente relacionados con ellas: el tamaño del cerebro, por un lado, y el desarrollo de las áreas de Broca y Wernicke, por el otro.

Es esperable que el aumento en la eficiencia de la comunicación que ha tenido lugar en la evolución humana haya sido acompañado de un incremento correlativo del tamaño cerebral. Evidentemente, esto no quiere decir que un aumento en el tamaño cerebral implique la existencia de lenguaje pero sí que no es posible defender dicha existencia en una especie que no muestre dicho incremento.

Al comparar el tamaño del cerebro de las distintas especies de un linaje, es importante no olvidar que éste debe expresarse en términos relativos al tamaño corporal. Para ello, se ha ideado el denominado *índice de encefalización* que expresa la desviación del peso del encéfalo de un animal respecto del valor esperado para su peso corporal. A lo largo de la evolución humana el valor del índice de encefalización ha aumentado considerablemente, desde las primeras especies de homínidos (que ofrecen valores próximos a los de los chimpancés) hasta los neandertales y nuestra propia especie (con valores que doblan, de largo, a los de los chimpancés) (ARSUAGA y MARTÍNEZ, 1998, 2001).

En este contexto, resulta de gran interés los descubrimientos e investigaciones realizados en el yacimiento de la Sima de los Huesos de la Sierra de Atapuerca. De este yacimiento procede la mayor colección de fósiles humanos del género *Homo* del planeta, datados en más de 530.000 años (BISCHOFF *et alii*, 2007) y atribuidos a las poblaciones antecesoras directas de los neandertales (ARSUAGA *et alii*, 1993). El extraordinario material craneal y postcraneal de esta colección ha permitido calcular con gran precisión el valor de su índice de encefalización y establecer firmemente que en el linaje neandertal se produjo un auténtico fenómeno de encefalización independiente y paralelo al experimentado por la estirpe del *Homo sapiens* (ARSUAGA, *et alii*, 1999; CARRETERO *et alii*, 2002).

Tal como ya hemos comentado, el otro rasgo que puede ser estudiado en la anatomía cerebral de las especies fósiles es el desarrollo del área de Broca y del área de Wernicke. Estas áreas suelen encontrarse en el hemisferio cerebral izquierdo (el área de Broca en la tercera circunvolución frontal y el área de Wernicke entre la circunvolución temporal superior y el lóbulo parietal) y están directamente relacionadas con la producción y comprensión del lenguaje. En la especie humana actual estas áreas están bien desarrolladas y producen sendas protuberancias sobre la superficie del hemisferio cerebral izquierdo. En los primates no humanos estas regiones no muestran ese gran desarrollo y no destacan de la superficie cerebral. Es muy sugerente la relación existente entre el grado de desarrollo de estas áreas y la presencia de lenguaje en la humanidad actual. No obstante, además de su importante papel en la producción

del habla, el área de Broca también interviene en otras funciones cerebrales, relacionadas con el control de la motricidad muscular.

Los autores que han estudiado los moldes endocraneales de los homínidos fósiles coinciden en señalar que el área de Broca de los primeros representantes del género *Homo* está claramente más desarrollada que la de los grandes simios y la de los australopitecos y parántropos (TOBIAS, 1991; FALK, 1992; HOLLOWAY *et alii*, 2004). Desafortunadamente, la región del área de Wernicke no suele dejar improntas tan claras en los moldes endocraneales y aunque TOBIAS (1983, 1991) opina que también esta área ya aparece claramente desarrollada en la especie *Homo habilis*, no todos los autores están de acuerdo con que sea posible establecer este extremo (HOLLOWAY *et alii*, 2004). Lo que sí parece claramente establecido es que tanto en *H. heidelbergensis* como en *H. neanderthalensis* se presenta un área de Broca con un grado de desarrollo igual al de *H. sapiens* (HOLLOWAY *et alii*, 2004).

Una línea de investigación realmente interesante se ha abierto en los últimos años con la posibilidad de obtener y secuenciar ADN nuclear de especies humanas fósiles (GREEN *et alii*, 2006). Aunque no se conoce ningún "gen del lenguaje" que determine por sí mismo la presencia o ausencia de tal atributo en un individuo (o especie), si se sabe de la existencia de una variante "humana" del gen FOXP2 que está estrechamente relacionada con los procesos mentales involucrados en la producción del lenguaje (LAI *et alii*, 2001; VARGHA-KHADEM *et alii*, 2005; KONOPKA *et alii*, 2009). Aunque en un primer momento se afirmó, en base a un erróneo "reloj molecular", que los neandertales no tuvieron tal variante por haber aparecido demasiado tarde en la evolución (ENARD *et alii*, 2002), recientemente se ha comprobado empíricamente la existencia de tal variante en el ADN de ejemplares neandertales del yacimiento asturiano del Sidrón (KRAUSE *et alii*, 2007).

En relación con el establecimiento de las capacidades fonadoras de las especies fósiles, existe consenso en aceptar que la morfología y dimensiones de la base del cráneo (LAITMAN y HEIMBUCH, 1982) y del hueso hioides (ALEMSEGED *et alii*, 2005) de los homínidos no humanos son incompatibles con la existencia de un aparato fonador de tipo humano y sí con uno similar al de los chimpancés.

Sin embargo, no existe un acuerdo semejante respecto de los representantes de *Homo* del Pleistoceno medio y superior, hay autores que sostienen que mientras que algunos fósiles del Pleistoceno medio (especialmente el ejemplar de Broken-Hill) presentaban unas vías aéreas superiores parecidas a las de los humanos modernos, los neandertales presentarían un tracto supralaríngeo más parecido al de los recién nacidos modernos o al de los chimpancés (LIEBERMAN, P. *et alii*, 1992). Esta afirmación se basa en la reconstrucción de dos aspectos de la anatomía de las vías aéreas superiores que clásicamente se han tenido como determinantes de las capacidades fonadoras: la posición de la laringe en el cuello y la longitud sagital de la cavidad oral (LIEBERMAN, P. *et alii*, 1972; LAITMAN *et alii*, 1979; LIEBERMAN, P., 1984, 1992; LAITMAN y REIDENBERG, 1993, 1998).

Las vías aéreas superiores de los mamíferos están compuestas de un segmento horizontal (la cavidad oral) y un segmento vertical (la faringe). En las personas adultas, ambos segmentos son de una longitud similar debido al característico acortamiento de la cavidad oral en nuestra especie y a la posición baja de la laringe en el cuello. Este último rasgo, a menudo denominado como "descenso de la laringe", se consideraba como exclusivo de los seres humanos y una adaptación directa a la producción del lenguaje oral (LIEBERMAN, P. *et alii*, 1972, 1992). Sin embargo, en los últimos años esta idea ha sido refutada por el descubrimiento de que la posición baja de la laringe en el cuello no es un rasgo exclusivamente humano pues se encuentra en otros mamíferos no primates (FITCH y REBY, 2001) y también en los chimpancés (NISHIMURA, *et alii*, 2006). Esta nueva evidencia indica que el descenso de la laringe es un rasgo también relacionado con otras funciones biológicas diferentes de la producción del habla (FITCH, 1997; FITCH y GIEDD, 1999; FITCH y REBY, 2001).

De este modo, determinados rasgos anatómicos que se usaban como indicadores de la posición de la laringe en el cuello en las especies fósiles han perdido su interés para la reconstrucción de las capacidades fonadoras de dichas especies. Este es el caso, muy especialmente, de la denominada flexión basicraneal que fue defendida por algunos autores como estimador anatómico directo de la posición de la laringe en el cuello (LAITMAN *et alii*, 1979; LAITMAN y HEIMBUCH,

1982; LAITMAN y REIDENBERG, 1993, 1998), aunque otros (ARENSBURG *et alii*, 1990; AIELLO y DEAN, 1990; LIEBERMAN, D. y McCARTHY, 1999) rebatieron su validez.

Respecto del segmento horizontal de las vías aéreas superiores, distintos autores han propuesto que las dimensiones y proporciones de esta región de los neandertales implicarían su incapacidad para hablar como los humanos adultos. Tres, son los rasgos fundamentales que sostienen este punto de vista:

i) Según LIEBERMAN, P. y CRELIN (1971) y LIEBERMAN, P. (1984) las vías aéreas de los niños humanos modernos recién nacidos y las de los neandertales se caracterizarían por la presencia de un espacio retropalatino relativamente largo, entre el foramen mágnum y el paladar óseo (Figura 1), cuya longitud sería mayor que la correspondiente del propio paladar óseo. Por el contrario, y siempre según estos autores, en los humanos modernos adultos el paladar óseo suele ser más largo que el espacio que queda por detrás de él. La relación entre ambas variables puede expresarse mediante el cociente entre la longitud del paladar y la longitud del espacio retropalatino. El valor de este cociente, o índice retropalatino, será menor de 1 cuando el paladar sea más corto que el espacio retropalatino y ofrecerá valores superiores a 1 cuando el paladar sea más

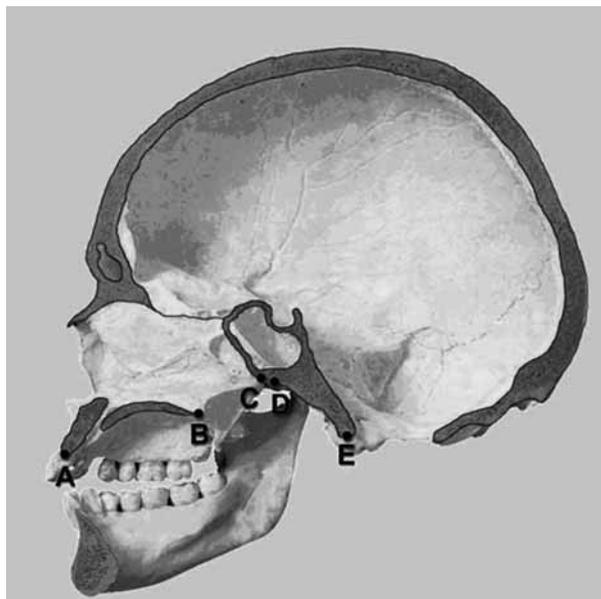


Fig. 1. Sección sagital de un cráneo adulto de *Homo sapiens*, mostrando la situación de los puntos craneométricos empleados para la definición de las medidas de la Tabla I. A: Prosthion; B: Estafilion; C: Hormion; D: Esfenobasion; E: Basion.

largo. Así que, siguiendo a LIEBERMAN, P. y CRELIN (1971) y LIEBERMAN, P. (1984), cabría esperar que los humanos modernos adultos ofrecieran habitualmente valores superiores a 1 (en el 99% de los casos, según estos autores), mientras que los neandertales y los niños modernos recién nacidos lo habitual sería presentar valores iguales o menores a 1.

ii) En los humanos modernos, el segmento vertical y el segmento horizontal del tracto vocal tienen aproximadamente la misma longitud, lo que es crucial para la producción de las vocales /a/, /i/ y /u/. Según LIEBERMAN, P. (1984) y LIEBERMAN, P. *et alii* (1992), la longitud del segmento horizontal de los neandertales, estimada a partir de la distancia prosthion-basion (Figura 1), era netamente mayor que en los humanos modernos adultos y claramente más larga que la obtenida para el segmento vertical en sus reconstrucciones de las vías aéreas superiores de los neandertales. La consecuencia inmediata era la incapacidad de los neandertales para producir eficazmente las vocales /a/, /i/ y /u/ (LIEBERMAN, P., 1984 y LIEBERMAN, P. *et alii*, 1992).

iii) En su comprensivo estudio sobre la anatomía basicraneal, y su relación con la morfología de las vías aéreas superiores de los neandertales, LAITMAN *et alii*, (1979) llegaron a la conclusión de que éstos diferían de la morfología de los humanos modernos en presentar una mayor distancia sagital entre el vómer (hormion) y el occipital (esfenobasion) (Figura 1).

Es muy importante destacar que los ejemplares neandertales empleados en los estudios citados en los párrafos anteriores tienen muy dañados sus respectivos basicráneos, lo que impide medir directamente algunas (o todas) de las variables mencionadas, que han de ser estimadas a partir de reconstrucciones (MARTINEZ, *et alii*, 2009). Por ello, y con el fin de contrastar las hipótesis precedentes hemos medido aquellos fósiles humanos del Pleistoceno medio de Europa (Petralona y el Cráneo 5 de la Sima de los Huesos) y África (Broken Hill y Bodo), y el único ejemplar neandertal (Saccopastore 1), cuyos basicráneos están lo suficientemente completos y no requieren reconstrucción.

Como muestra de comparación hemos medido una larga serie de humanos modernos adultos compuesta por individuos de ambos sexos procedentes de dos muestras españolas medievales

(depositadas, respectivamente, en los departamentos de Biología Animal 1 y de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid) y de otra muestra de individuos adultos de ambos sexos contemporáneos de la región de Coimbra (Instituto de Antropología da Universidade de Coimbra). También hemos incluido los correspondientes valores de una muestra de chimpancés de ambos sexos (depositados en el Departamento de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid y en la Estación Biológica de Doñana del Consejo Superior de Investigaciones Científicas). Los valores obtenidos en las diferentes muestras y ejemplares en las principales variables basicraneales mencionadas en el texto, incluyendo los correspondientes al índice retropalatino, pueden encontrarse en la Tabla I.

Comenzando por la distribución de valores del índice retropalatino, es especialmente interesante que la variabilidad de la muestra de humanos modernos abarque tanto los valores de la muestra de chimpancés, como los correspondientes a los ejemplares fósiles (Tabla I). El ejemplar neandertal Saccopastore 1 ofrece un valor de su índice retropalatino superior a 1, a tan solo 0'3 desviaciones típicas de la media de los humanos modernos, contradiciendo las afirmaciones de LIEBERMAN, P. y CRELIN (1971) y LIEBERMAN, P. (1984) sobre la relación entre la longitud del paladar y la del espacio retropalatino en los neandertales. Ambos fósiles mesopleistocenos de África también ofrecen valores superiores a 1 y a menos de 1 desviación típica de la media de la muestra humana

moderna. La mayor disparidad la encontramos en los fósiles del Pleistoceno medio europeo, cuyos valores del índice abarcan toda la variabilidad de la muestra fósil; el Cráneo 5 es el único ejemplar fósil que ofrece un valor del índice inferior a 1, a 1'5 desviaciones típicas por debajo de la media de los humanos modernos adultos, mientras que Petralona presenta el valor más elevado del índice entre los ejemplares fósiles, a 1'7 desviaciones típicas de la media de los humanos modernos. Finalmente, es muy interesante destacar que, a pesar de las notables diferencias en la anatomía de las vías aéreas superiores de ambas especies, la media de la muestra de chimpancés está a menos de una desviación típica de la media de la muestra de humanos modernos. Esta ausencia de diferencias significativas entre ambas especies en el índice retroplatino refuta el valor de la proporción entre la longitud del paladar y la del espacio retrofaríngeo en la reconstrucción de la anatomía de las vías aéreas superiores en los ejemplares fósiles (*contra* LIEBERMAN, P. y CRELIN, 1971; LIEBERMAN, P, 1984).

La distancia prosthion-basion es muy diferente en los humanos modernos y chimpancés, sin que haya solapamiento entre los rangos y siendo la media de los chimpancés muy superior a la humana moderna. Por su parte, los ejemplares fósiles presentan valores muy similares entre sí y que se encuadran en la variabilidad de la muestra de chimpancés pero fuera del rango de los humanos modernos (Tabla I). Todos ellos ofrecen valores claramente inferiores a la media de los chimpancés y,

		Distancia prosthion-basion	Longitud del paladar <sup>1</sup>	Distancia estafilión-basion	Distancia hormion-esfenobasion <sup>2</sup>	Índice retropalatino <sup>3</sup>
Atapuerca SH Cráneo 5		118.8	58.7	61.8	6	0.94
Petralona		113.4	66.7	47.9	-	1.39
Broken Hill		114.2	65.6	54.0	5.2	1.21
Bodo		121.0	67.5	53.5	-	1.26
Saccopastore 1		111.7	59.1	49.1	7	1.20
Humanos modernos	Media	90.9	48.9	42.9	5.93	1.15
	Desv. típica	4.83	3.96	3.36	1.57	0.14
	Rango	79 - 108.4	35.5 - 59.4	33.9 - 52.5	3 - 9.6	0.69 - 1.60
	N	218	218	218	44	218
Chimpancés	Media	133.7	74	60.1	12.7	1.24
	Desv. típica	9.44	6.19	5.4	2.18	0.12
	Rango	115.1 - 152	59.6 - 86	47.7 - 71.4	10 - 17.8	0.97 - 1.52
	N	34	34	34	29	34

Tabla I. Medidas basicraneales.

<sup>1</sup> Distancia desde el prosthion hasta el punto más posterior del paladar sobre el plano sagital.

<sup>2</sup> En el Cráneo 4 de la Sima de los Huesos, la distancia hormion-esfenobasion es de 6 mm.

<sup>3</sup> El índice retroplatino se ha calculado como el cociente: longitud del paladar / distancia estafilión-basion

con la excepción del ejemplar de Bodo (cuyo valor en esta variable está a 1'3 desviaciones típicas por debajo de la media), sus valores en la distancia prosthion-basion están a más de 1'5 desviaciones típicas por debajo de la media de los chimpancés. O dicho en otros términos: la longitud del segmento horizontal de las vías aéreas superiores de los ejemplares fósiles era mayor que el de cualquier humano moderno y equivalente a la de un chimpancé pequeño. Estos resultados refuerzan la afirmación de LIEBERMAN, P., (1984) y LIEBERMAN, P. *et alii* (1992) de que, en los neandertales, la longitud del segmento horizontal superaría la longitud del segmento vertical de cualquier reconstrucción razonable, afectando a la producción de las vocales /a/, /i/ y /u/. Nuestros resultados extienden estos resultados a los fósiles del Pleistoceno medio de Europa y África.

La distancia hormion-esfenobasion es también diferente en los humanos modernos y en los chimpancés (Tabla I). También en esta variable, los chimpancés ofrecen valores superiores a los de los humanos modernos sin que haya solapamiento entre los rangos de ambas muestras. En todos los ejemplares fósiles en los que esta variable puede ser medida (los cráneos 4 y 5 de la Sima de los Huesos, Broken Hill y Saccopastore 1) se obtienen valores plenamente humanos, lo que cuestiona seriamente los valores estimados por LAITMAN *et alii*, (1979) para los neandertales.

Otra línea de evidencia a la hora de intentar reconstruir las vías aéreas superiores de los fósiles humanos la constituye el estudio de la morfología y las dimensiones del hueso hioides, que presta inserción a músculos de la lengua y de la faringe. La morfología y las dimensiones del hueso hioides son diferentes en los humanos modernos y gorilas y chimpancés (AIELLO y DEAN, 1990; ALEMSEGED, *et alii*, 2005). En estos últimos, el cuerpo del hueso hioides está expandido como si fuera una caja para albergar los sacos laríngeos, mientras que en los humanos modernos dicho cuerpo no presenta dicha expansión y muestra una característica forma de herradura (AIELLO y DEAN, 1990). El hueso hioides se encuentra entre los más raros del registro fósil de la evolución humana y se conocen hasta la fecha cinco ejemplares de las especies *Australopithecus afarensis* (un ejemplar, ALEMSEGED, *et alii*, 2005), *Homo neanderthalensis* (dos ejemplares, ARENSBURG *et alii*, 1989 y MARTÍNEZ, *et alii*, 2008b) y *Homo heidel-*

*bergensis* (dos ejemplares, MARTÍNEZ, *et alii*, 2008b). El ejemplar de *A. afarensis* muestra un cuerpo con morfología y dimensiones similares a las de los chimpancés (ALEMSEGED, *et alii*, 2005), mientras que los ejemplares neandertales (ARENSBURG *et alii*, 1989, 1992 y MARTÍNEZ *et alii*, 2008b) y de *H. heidelbergensis* de la Sima de los Huesos (MARTÍNEZ, *et alii*, 2008b) son de tipo humano moderno. Aunque ARENSBURG *et alii* (1989, 1992) defienden que la presencia de un hueso hioides de tipo humano moderno delata inequívocamente la existencia de unas vías aéreas superiores también del tipo humano moderno, hay autores que argumentan en contra de esta afirmación (LIEBERMAN, P. *et alii*, 1992) o que abogan por una postura más prudente (MARTÍNEZ *et alii*, 2008b).

#### 4- AUDICIÓN Y COMUNICACIÓN

Una línea de investigación novedosa es el estudio de los patrones de audición en especies humanas fósiles (MARTÍNEZ *et alii*, 2004). El análisis de los audiogramas de platirrinos y catarrinos (HEFFNER, 2004) muestra que ambos grupos de primates presentan dos máximos de sensibilidad auditiva en torno a 1 y 8 Khz, respectivamente, separados por una zona de menor sensibilidad relativa en las frecuencias intermedias, especialmente entre 2 y 4 Khz. Los humanos diferimos de este patrón generalizado pues presentamos nuestra mayor sensibilidad auditiva precisamente en ese intervalo de frecuencias intermedias (SIVIAN y WHITE, 1933; HEFFNER, 2004), que es precisamente en las que resuena la voz humana.

La explicación a estas diferencias puede encontrarse en dos factores, uno ecológico y otro de complejidad de la comunicación oral. Los estudios realizados sobre el ruido ambiental en medios forestales y abiertos (sabana) han puesto de manifiesto una diferencia fundamental entre ambos (BROWN y WASER, 1988). En el bosque hay un elevado ruido ambiental a lo largo de todo el día (producido fundamentalmente por los insectos y los pájaros), pero tanto en 1 Khz como en 8 Khz dicho ruido alcanza sus valores mínimos. Entre los platirrinos y los catarrinos es frecuente utilizar la banda de 1kHz para realizar sus denominadas "llamadas de larga distancia" (NIAUSSAT y MOLIN, 1978, BROWN y WASER, 1984, BERMEJO y OMEDES, 1999, MITANI *et alii*, 1999). Por el contrario, en

la sabana el ruido ambiental es constantemente bajo (con las excepciones de los momentos del amanecer y el anochecer) entre 1 Khz y 8 Khz, lo que hace esta banda de frecuencias idónea para la comunicación oral. En esta línea, es interesante destacar que algunos cercopitécidos que viven en ambiente abiertos, como es el caso de *Cercopithecus aethiops*, muestran una mayor sensibilidad a las frecuencias intermedias que el resto de los "antropoideos". De este modo, el tipo de ambiente, bosque o sabana, influye determinante en la situación de la banda de frecuencias de mayor sensibilidad auditiva en los primates.

Además de las frecuencias en las que se encuentra la mayor sensibilidad auditiva de las especies, otro parámetro del mayor interés es el denominado ancho de banda, o longitud del intervalo de frecuencias en las que se encuentra la mayor sensibilidad auditiva. Como ya hemos comentado anteriormente, el valor del ancho de banda de un canal es directamente proporcional, en los canales continuos, al valor del flujo de la información que pasa a su través (SHANNON, 1948). O dicho en otros términos, cuanto mayor sea el ancho de banda de audición, mayor podrá ser el flujo de información oral. Desde esta perspectiva, audición y lenguaje, entendido como un sistema de comunicación muy eficiente, están estrechamente relacionados.

A partir de tomografías computarizadas de la región del hueso temporal (más de 100 tomografías por ejemplar), ha sido posible reconstruir digitalmente las cavidades del oído externo y medio en cinco ejemplares del yacimiento de la Sima de los Huesos. Sobre estas reconstrucciones se han medido una serie de variables anatómicas a partir de las cuales, mediante el uso de un modelo circuital que reproduce el funcionamiento físico del oído externo y medio, se ha reconstruido el filtrado acústico que se produce en dichos oídos externo y medio (MARTÍNEZ *et alii*, 2004). Este filtrado acústico es el factor determinante del patrón auditivo de cada especie; tanto de la posición, como del ancho de banda, de su zona de mayor sensibilidad. Los resultados obtenidos muestran inequívocamente que los ejemplares de la Sima de los Huesos tuvieron un patrón auditivo indistinguible del de las poblaciones humanas modernas y bien diferente del que caracteriza a los chimpancés.

Especialmente interesante es el hecho de que los valores de ancho de banda calculados para los

ejemplares de la Sima de los Huesos son del mismo orden de magnitud que los encontrados en humanos modernos y claramente superiores a los de los chimpancés (MARTÍNEZ *et alii*, 2008). Este resultado indica que el oído de los humanos de la Sima de los Huesos era capaz de conducir la misma cantidad de información acústica por unidad de tiempo que el oído de las poblaciones humanas modernas y que por tanto estaba adaptado a un tipo de comunicación oral tan eficiente como la nuestra.

## 5- CONCLUSIONES

A lo largo de las páginas anteriores hemos repasado las principales líneas de evidencia empleadas para investigar el origen del lenguaje a partir de la evidencia fósil y podemos extraer algunas conclusiones que parecen sólidas:

- 5.1) Con la evidencia disponible, no parece que ninguna especie de los géneros *Australopithecus* y *Paranthropus* dispusiera de las adaptaciones relacionadas con el lenguaje hablado y, por tanto, lo más razonable es suponer que carecieron de él.
- 5.2) Dentro de las especies fósiles de género *Homo*, solamente *Homo neanderthalensis* y *Homo heidelbergensis*, ofrecen el adecuado material fósil para estudiar la presencia o ausencia de los rasgos involucrados en la producción y percepción del lenguaje.
- 5.3) Reuniendo la información obtenida en ambas especies es posible establecer que en el linaje neandertal se presentan las siguientes características relacionadas con una alta eficiencia en la comunicación oral:

### I.- Relacionadas con la codificación:

- 1ª.- Elevada encefalización.
- 2ª.- Desarrollo de las áreas de Broca y Wernicke comparable con las de *Homo sapiens*.
- 3ª.- Presencia de la variante humana del gen FOXP2.
- 4ª.- Distancia entre el vómer y el occipital acortada como en *H. sapiens*.
- 5ª.- Hueso hioides del tipo humano moderno, tanto métrica como morfológicamente.

## II.- Relacionadas con la capacidad del canal:

6ª.- Patrón auditivo como el de *H. sapiens*, especialmente en el valor del ancho de banda del filtrado acústico del oído externo y medio que permite un elevado flujo de información acústica a su través.

- 5.4) La presencia de todas estas características relacionadas con una elevada eficiencia en la comunicación oral puede ser explicada recurriendo a diferentes hipótesis para cada una de ellas o bien admitiendo que tanto *H. heidelbergensis* como *H. neanderthalensis* disponían de un sistema muy eficiente (rápido) de comunicación oral. Desde un punto de vista formal, esta última posibilidad, que solo necesita de una hipótesis, es la que resulta más sencilla.
- 5.5) Tanto en *H. heidelbergensis* como en *H. neanderthalensis*, el segmento horizontal de las vías aéreas superiores es más largo que en *Homo sapiens* y probablemente era de mayor longitud que el correspondiente segmento vertical, lo que implica diferencias en las vocalizaciones de las dos especies fósiles, por un lado, y la especie humana actual. No obstante, la discrepancia de longitud entre ambos segmentos sería de una magnitud sensiblemente menor de lo que se ha publicado para el caso de las vías aéreas superiores de los chimpancés (LIEBERMAN, P. et alii, 1972). En consecuencia, las previsibles diferencias en las vocalizaciones entre las mencionadas especies humanas fósiles y la especie humana actual serían de escasa magnitud y no implicarían diferencias significativas en la eficiencia de la comunicación oral.

## 6- AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a Rof Quam, Manuel Rosa y Pilar Jarabo, por su participación en las investigaciones sobre la audición de los humanos de la Sima de los Huesos. Al equipo de excavación del yacimiento de la Sima de los huesos y muy especialmente a Ana Gracia, Alejandro Bonmatí y Jaime Lira por su colaboración y la lectura crítica del manuscrito. A Manuel Laranjeira Rodrigues de Areia, Maria Augusta Tavares da Rocha, Eugénia Cuna y Ana Luisa Santos, del Instituto de Antropología de la Universidad de Coimbra, a José

Cabot de la Estación Biológica de Doñana (CSIC) y a Gonzalo Tranco del Dpto. de Biología Animal I (Universidad Complutense de Madrid) por su amabilidad y por permitirnos el acceso a las colecciones óseas custodiadas en sus Instituciones.

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación, Proyecto No. CGL2006-13532-C03-02. Las excavaciones en los yacimientos de la Sierra de Atapuerca son financiadas por la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ABDELHAK, S., KALATZIS, V., HEILIG, R., COMPAIN, S., SAMSON, D., VINCENT, C., LEVI-ACOBAS, F., CRUAUD, C., LE MERRER, M., MATHIEU, M., KÖNIG, R., VIGNERON, J., WEISENBACH, J., PETIT, C. y WEIL, D.
- 1997 Clustering of mutations responsible for branchio-otorenal (BOR) syndrome in the eyes absent homologous region (eyaHR) of EYA1. *Human Molecular Genetics* 6, 2247-2255.
- AIELLO, L. y DEAN, C.
- 1990 *An introduction to Human Evolutionary Anatomy*. Academic Press, London.
- ALEMSEGED, Z., SPOOR, F., KIMBEL, W.H., BOBE, R., GERAADS, D., REED, D., WYNN, J.G.,
- 2006 A juvenile early hominin skeleton from Dikika, Ethiopia. *Nature* 443, 296-301.
- ARENSBURG, B., TILLIER, A.M., VANDERMEERSCH, B., DUDAY, H., SCHEPARTZ, L.A. y RAK, Y.
- 1989 A Middle Palaeolithic human hyoid bone. *Nature* 338, 758-760.
- ARENSBURG, B., SCHEPARTZ, L.A., TILLIER M.A., VANDERMEERSCH, B. y RAK Y.
- 1990 A reappraisal of the anatomical basis for speech in Middle paleolithic hominids. *American Journal of Physical Anthropology* 83, 137-146.
- ARSUAGA, J. L., MARTÍNEZ, I., GRACIA, A., CARRETERO, J. M. & CARBONELL, E.
- 1993 Three new human skulls from the Sima de los Huesos site in Sierra de Atapuerca, Spain. *Nature* 362, 534-537.
- ARSUAGA, J. L., LORENZO, C., CARRETERO, J. M., GRACIA, A., MARTÍNEZ, I., GARCÍA, N., BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M., y CARBONELL, E.
- 1999 A complete human pelvis from the Middle Pleistocene of Spain. *Nature* 399, 255-258.
- ARSUAGA, J. L., y MARTÍNEZ, I.
- 1998 *La especie elegida. La larga marcha de la evolución humana*. Temas de Hoy, Madrid.
- 2001 El origen de la mente. *Investigación y Ciencia* 302, 4-12.

- BALARI, S., BENITEZ BURRACO, A., CAMPS, M., LONGA, V.M., LORENZO, G., y URIAGEREKA, J.  
2008 ¿Homo loquens neanderthalensis? En torno a las capacidades simbólicas y lingüísticas del Neandertal *Munibe* 59, 3-24.
- BERMEJO, M. y OMEDES, A.  
1999 Preliminary vocal repertoire and vocal communication of wild bonobos (*Pan paniscus*) at Lilungu (Democratic Republic of Congo). *Folia Primatologica* 70: 328-357.
- BISCHOFF, J., WILLIAMS, R., ROSENBAUER, R., ARANBURU, A., ARSUAGA, J., GARCÍA, N. y CUENCA, G.  
2007 High-resolution U-series dates from the Sima de los Huesos yields 600 +  $\infty$  - 66 kys: implications for the evolution of the early Neanderthal lineage. *Journal of Archaeological Science* 34: 763-770.
- BROWN, C. y WASER, P.  
1984 Hearing and communication in blue monkeys (*Cercopithecus mitis*). *Animal Behaviour* 32: 66-75.  
1988 Environmental influences on the structure of primate vocalizations. En Todt, Goedeke y Symmes, D., (eds): *Primate Vocal Communication*. Berlin, Springer Verlag: 51-66.
- CARRETERO, J. M., ARSUAGA, J. L., MARTÍNEZ, I., QUAM, R. M., LORENZO, C., GRACIA, A., y ORTEGA, A. I.  
2002 Los humanos de la Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca) y la evolución del cuerpo en el género Homo. En Baquedano, E. y Rubio, S. (eds): *Homenaje a Emiliano Aguirre*. Museo Arqueológico Regional de Madrid, Alcalá de Henares.
- CLARK, A., GLANOWSKI, S., NIELSEN, R., THOMAS, P., KEJARIWAL, A., TODD, M., TANENBAUM, D., CIVELLO, D., LU, F., MURPHY, B., FERRIERA, S., WANG, G., ZHENG, X., WHITE, T., SNINSKY, J., ADAMS, M. y CARGILL, M.  
2003 Inferring Nonneutral Evolution from Human-Chimp-Mouse Orthologous Gene Trios. *Science* 302, 1960-1963.
- ENARD, W., PRZEWORSKI, M., FISHER, S., LAI, C. S., WIEBE, V., KITANO, T., MONACO, A. y PÁABO, S.  
2002 Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Nature* 418, 869-872.
- FALK, D.  
1992 Evolution of the brain and cognition in hominids, *James Arthur Lectures on the evolution of the human brain*, American Museum of Natural History, Nueva York.
- FITCH, W.T.  
1997 Vocal tract length and formant frequency dispersion correlate with body size in rhesus macaques. *Acoustical Society of America* 102, 1213-1222.
- FITCH, W.T. y GIEDD, J.  
1999 Morphology and development of the human vocal tract: A study using magnetic resonance imaging. *Acoustical Society of America* 106, 1511-1522.
- FITCH, W.T., REBY, D.  
2001 The descended larynx is not uniquely human. *Proceedings of the Royal Society London Series B Biological Sciences* 268, 1669-1675.
- GREEN, R. E., KRAUSE, J., PTAK, S. E., BRIGGS, A. W., RONAN, M.T., SIMONS, J. F., DU, L., EGHOLM, M., ROTHBERG, J. M., PAUNOVIC, M. y PÁABO, S.  
2006 Analysis of one million base pairs of Neanderthal DNA. *Nature* 444, 330-336.
- HEFFNER, R.  
2004 Primate hearing from a mammalian perspective. *Anatomical Record (Part A)* 281A, 1111-1122.
- HOLLOWAY, R. L., BROADFIELD, D.C y YUAN, M.S.  
2004 *The human fossil record. Volume three: Brain Endocasts. The Paleoneurological Evidence*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.
- KONOPKA, G., BOMAR, J. M., WINDEM, K., COPPOLA, G., JONSSON, Z. O., GAO, F., PENG, S., PREUSS, T. M., WOHLSCHEGEL, J. A., y GESCHWIND, D. H.  
2009 Human-specific transcriptional regulation of CNS development genes by FOXP2. *Nature* 462, 213-217.
- KRAUSE, J., LALUEZA-FOX, C., ORLANDO, L., ENARD, W., GREEN, R. E., BURBANO, H. A., HUBLIN, J.-J., HANNI, C., FORTEA, J., DE LA RASILLA, M., BERTRANPETIT, J., ROSAS, A. & PÁABO, S.  
2007 The derived FOXP2 variant of modern humans was shared with Neandertals. *Current Biology* 17(21), 1908-1912.
- LAI, C. S., FISHER, S. E., HURST, J. A., VARGHA-KHADEM, F. y MONACO, A.P.  
2001 A forkhead-domain gene is mutated in severe speech disorder. *Nature* 413, 519-523.
- LAITMAN, J. T. y HEIMBUCH, R. C.  
1982 The basicranium of plio-pleistocene hominids as an indicator of their upper respiratory systems. *American Journal of Physical Anthropology* 59, 323-343.
- LAITMAN J.T., HEIMBUCH R. C. y CRELIN E.S.  
1979 The basicranium of fossil hominids as an indicator of their upper respiratory systems. *American Journal of Physical Anthropology* 51, 15-34.
- LAITMAN J.T. y REIDENBERG J.S.,  
1993 Specializations of the human upper respiratory tract and upper digestive systems as seen through comparative and developmental anatomy. *Disphagia* 8, 318-325.  
1998 Comparative and developmental anatomy of laryngeal position. En Bailey, B. (ed.), *Head and Neck Surgery-Otolaryngology*. Lippincott-Raven, Philadelphia.
- LIEBERMAN E.D., MCCARTHY R.C.  
1999 The ontogeny of cranial base angulation in humans and chimpanzees and its implications for reconstructing pharyngeal dimensions. *Journal of Human Evolution* 36, 487-517.
- LIEBERMAN, P.  
1984 *The Biology and Evolution of Language*. Harvard Univ. Press. Cambridge.
- LIEBERMAN, P., CRELIN, E.S.  
1971 On the speech of Neanderthal man. *Linguistic Inquiry* 2, 203-222.

- LIEBERMAN, P., CRELIN, E.S., KLATT, D.H.  
1972 Phonetic ability and related anatomy of the newborn and adult human, Neanderthal Man, and the chimpanzee. *American Anthropologist* 74, 287-307.
- LIEBERMAN P., LAITMAN J.T., REIDENBERG J.S., GANNON P.J.  
1992 The anatomy, physiology, acoustics and perception of speech: essential elements in analysis of the evolution of human speech. *Journal of Human Evolution* 23, 447-467.
- MARTÍNEZ, I., ROSA, M., ARSUAGA, J. L., JARABO, P., QUAM, R., LORENZO, C., GRACIA, A., CARRETERO, J. M., BERMÚDEZ DE CASTRO, J., CARBONELL, E.  
2004 Auditory capacities in Middle Pleistocene humans from the Sierra de Atapuerca in Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 101, 9976-9981.
- MARTÍNEZ, I., QUAM, R. M., ROSA, M., JARABO, P., LORENZO, C. y ARSUAGA, J. L.,  
2008a Auditory capacities of human fossils: a new approach to the origin of speech. *Proceedings second ASA-EAA joint conference Acoustics'08 Paris. (2008)*. Acoustical Society of America, the European Acoustics Association and the Société Française d'Acoustique.
- MARTÍNEZ, I., ARSUAGA, J. L., QUAM, R., CARRETERO, J. M., GRACIA, A. y RODRÍGUEZ, L.  
2008b Human hyoid bones from the middle Pleistocene site of the Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 54, 118-124.
- MARTÍNEZ, I., QUAM, R., ARSUAGA, J., LORENZO, C., GRACIA, A., CARRETERO, J., ROSA, M. y JARABO, P.  
2009 Paleontological approaches to the evolution of language: the state of the art. *L'Anthropologie (Paris)* 113, 255-264.
- MITANI, J., HUNLEY, K. y MURDOCH, M.  
1999 Geographic variation in the calls of wild chimpanzees: a reassessment. *American Journal of Primatology* 47, 133-151.
- NIAUSSAT, M. y MOLIN, D.  
1978 Hearing and vocalization in a Malagasy lemur: *Phaner furcifer*. En Chivers, D. y Herbert, J., (eds.): *Recent Advances in Primatology. Vol. 1. Behaviour*. London, Academic Press. 1: 821-825.
- NISHIMURA, T., MIKAMI, A., SUZUKI, J. y MATSUZAWA, T.  
2006 Descent of the hyoid in chimpanzees: evolution of face flattening and speech. *Journal of Physical Anthropology* 51, 244-254.
- SHANNON, C.E.  
1948 A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal* 27, 379-423, 623-656.
- SHANNON, C. E. y W. WEAVER.  
1949 *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana and Chicago.
- SIVIAN, L. y WHITE, S.  
1933 On minimum audible sound fields. *Journal of the Acoustic Society of America* 4, 288-321.
- TOBIAS, P.V.  
1983 Recent advances in the evolution of the hominids with especial reference to brain and speech. *Pontifical Academy of Sciences Scripta Varia* 50, 85-140.  
1991 *Olduvai Gorge, Volume 4. The Skulls, Endocasts and Teeth of Homo habilis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VARGHA-KHADEM, F., GADIAN, D.G., COPP, A. y MISHKIN, M.  
2005 FOXP2 and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews Neuroscience*, 6 (2), 131 – 138.
- VERVOORT, V., SMITH, R. L., O'BRIEN, J., SCHROER, R., ABBOTT, A., STEVENSON, R. y SCHWARTZ, C.  
2002 Genomic rearrangements of EYA1 account for a large fraction of families with BOR syndrome. *European Journal of Human Genetics* 10, 757-766.