

## Los caballos son majestuosos animales que fueron domesticados desde hace unos 5000 años en la estepa póntica (una región al norte del Mar Negro en el sudeste de Europa) de la época de cobre (The Oxford Illustrated History of Prehistoric Europe, de Barry Cunliffe [1997], Oxford University Press pp. 168, 171 y 175).

En el 2011 se publicó un artículo muy interesante en el Proceedings of the National Academy of Sciences titulado Genotypes of predomestic horses match phenotypes painted in Paleolithic Works of cave art, en el que se presenta evidencia de que la apariencia de caballos en el paleolítico era más variada de lo que se pensaba. Se creía que algunas pinturas que representan caballos blancos moteados eran libertades creativas de los artistas de la época, aunque al parecer estas bien pudieran ser representaciones fieles de los animales en el momento.

Sabemos que los caballos, famosos en México porque aparentemente los indígenas al verlos por primera vez en batalla no sabían si estaban peleando contra centauros (vamos, pensaban que eran una sola criatura y no un hombre en



armadura montado en una bestia) o deidades de algún tipo (ver, e.g., La Conquista de México, de Hugh Thomas [2000], editorial Planeta pg. 205). Lo que muchos mexicanos (o en todo caso americanos) no saben –y deberían– es que el caballo se originó en América. Efectivamente, el caballo nació en los parajes norteamericanos aproximadamente unos 2 millones de años atrás, aunque su linaje normalmente se traza 50 millones de años en el pasado,

concretamente en la humilde (y casi canina) figura de Eohippus.

La primera teoría sobre la evolución del caballo es, como siempre, deliciosamente comentada por Stephen Jay Gould en un capítulo llamado Mr. Sophia's Pony, en su libro Leonardo's Mountain of Clams and the Diet of Worms (Harmony Books, 1998). Aquí sólo resumiré algunos datos. En 1876, Vladimir Onufrievich Kovalensky (1842-1883) publicó una monografía sobre la evolución del caballo basada exclusivamente en el registro fósil europeo. El pitbul de Darwin, Thomas Henry Huxley, también publicó un trabajo original por cuenta propia sobre la evolución del caballo, pero Kovalensky respaldó su trabajo con más solidez, por lo que incluso Huxley (que siempre fue todo un caballero inglés) estuvo de acuerdo en que a su compañero ruso le fuera otorgado el crédito por este trabajo. En su razonamiento, la evolución de un solo dedo poderoso en sus patas fue el resultado de que los ancestros del caballo tuvieron que adaptarse a vivir en planicies secas y duras (propias del Mioceno, cuando surgieron los pastos). Los animales con pezuñas retuvieron varios dedos y un pie necesariamente más ancho pues vivían en territorios pantanosos y de pisos suaves (como ocurre con los cerdos). Richard Dawkins en The Greatest Show on Earth: The Evidence for Evolution (Free Press, 2009) arguye que quizá no existan muchas formas para que los mamíferos herbívoros se conviertan en veloces corredores, ya que tanto los caballos como los litopternos (un orden ya extinto de mamíferos herbívoros que vivieron en la era Cenozoica en Sudamérica) redujeron su número de dedos a

uno (hace notar que las vacas y los antílopes redujeron también sus dedos, pero a dos) aparentemente por la presión de sus depredadores (más sobre esto en un memento). Por supuesto no sólo los pies cambiaron, la evolución de los pastos también impactó en la longitud de sus dientes (dientes largos se encuentran mejor adaptados al alimento emergente, i.e., el pasto) y su mayor tamaño resultado del cambio de parajes en donde esconderse era difícil y ser grande y veloz traía dividendos en la moneda mejor recompensada en términos evolutivos, la supervivencia.

La secuencia evolutiva trazada por Kovalensky (y Huxley) era la siguiente: (1) Paleotherium en el Eoceno, (2) Anchitherium en el Mioceno temprano (con tres dedos), (3) Hipparion en el Mioceno tardío y finalmente (4) Equus, en la actualidad. La realidad era, sin embargo, muy diferente. En América se contaba ya con numerosos fósiles de los ancestros del caballo, el registro era mucho más rico que el europeo, lo que de entrada sugería que era mucho más probable que América fuera su origen. Cuando T. H. Huxley visitó los Estados Unidos en 1876 para la celebración del Centenario del país, en donde hablaría -como orador principal en la recién fundada Universidad John Hopkins- de la evolución del caballo, visitó al paleontólogo Othniel C. Marsh en Yale y “vio suficientes fósiles transicionales hermosos para saber que Europa había sido una periferia y América la tierra de cría.” (Leonardo's Mountain of Clams and the Diet of Worms, pg. 154). Ipso facto T.H. Huxley dimitió de su falaz idea e incorporó los nuevos hechos para modificar su entendimiento sobre la evolución del caballo (y



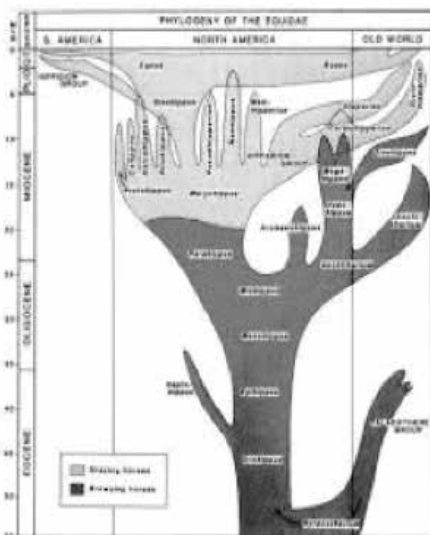
Anchitherium



Anchitherium



Hipparion



Filogenia de los équidos.

preparó una nueva versión de su exposición). Lo anterior es una de las más bellas características de la ciencia, la actitud anti-dogmática ante hipótesis e incluso teorías, que como seres humanos llevamos todos en nuestro arsenal de concepciones que utilizamos para comprender el mundo.

Una vez más Stephen Jay Gould, pero ahora en su bello libro Full House: The Spread of Excellence from Plato to Darwin (*Three Rivers Press, 1996*) nos lleva a galope a través de la evolución del caballo con la intención de mostrarnos cómo es que este bello animal es el descendiente de intento tras intento de Perissodactilios (*el orden al que pertenece el caballo*) de llegar a un sucesor por fin exitoso. Gould no considera a los Perissodactilios exitosos, cuando menos no por mérito propio; nos recuerda que “Los perissodactilios son una orden pequeña y depletada, con sólo tres grupos sobrevivientes y diecisiete especies in toto –caballos (*ocho especies*), rinocerontes (*cinco especies*) y tapirs (*cuatro especies*).” (*Full House, p.71*). El caso particular del caballo resulta, a mi parecer, un accidente froituio en el que dos especies logran una relación mutualista que fortalece la supervivencia de ambos. El hombre sin caballos o los caballos sin hombres seguramente habrían llevado historias muy distintas.

La depleción de los numerosos ancestros de los caballos que forzadamente vivían en Norteamérica antes de la llegada del hombre eran el blanco de diversos depredadores carnívoros. *Canis dirus* (*un enorme lobo*), *Arctodus* (*un gigantesco oso de cara chata, aun de mayor envergadura que el oso polar*), *Miracionyx* (*similar a un guepardo*), *Panthera atrox* (*un león*) y el espeluznante *Smilodon fatalis* (*tigre dientes de sable, con un tamaño como el del león agricano, pero con el doble de peso*), entre otros, fueron depredadores implacables, dignos representantes de la megafauna americana, que cohabitaban con los caballos en America al momento de su extinción. Adicionalmente, los cambios climáticos de la época impactaron tanto en los animales directamente, como en la vegetación (*como ya he mencionado*), introduciendo una presión multifactorial a las especies americanas –aunque, por supuesto, también a

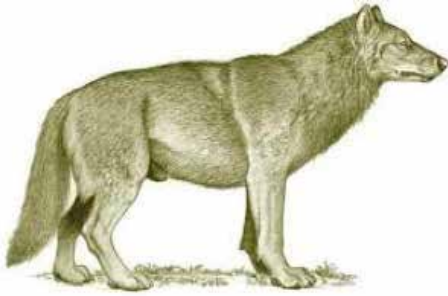
las europeas (*Extinct, de Anton Gill y Alex West [2001] Bath Press pp. 70, 82 y 89-91; Twilight of the Mammoths: Ice Age Extinctions and the Rewilding of America, de Paul S. Martin [2005] University of California Press pp. 37-38*).

G. G. Simpson (*Evolution, editado por Mark Ridley [1997] Oxford University Press pp. 241-243*) explica que existen ocho géneros en el linaje de Equus, excluyéndolo a él. Computa, por lo tanto, la aparición de un género cada 7,500,000 años. Por supuesto que el índice de cambios estructurales que generan primero diversidad en una especie y posteriormente la creación de especies nuevas es variante y dependiente de diversas presiones selectivas y de la plasticidad y restricciones internas de representantes de la especie. Ernst Mayer en *What Evolution Is (Basic Books, 2001, p.63)* nos dice que *Merychippus*, el ancestro de estos nueve géneros, incluyendo a *Dinohippus* (*quien dio origen a Equus*), es un excelente ejemplo de un género transicional (*i.e., un género que dio origen a múltiples especies, que sirvió de trampolín para diversos experimentos evolutivos*). Simpson nos comenta sobre la variedad de especies dentro del linaje del caballo que cohabitaban en el Plioceno temprano como *Hypohippus*, que mostraba pies y dientes muy parecidos a su ancestro común del Mioceno (*Merychippus, de quien acabamos de hablar*), mientras que *Hipparion* aunque con pies poco cambiados contaba ya con dientes transformados, y finalmente *Pilohippus* que manifestaba tanto pies como dientes bastante diferentes a su ancestro común (*los tres contemporáneos de Dinohippus*). De alguna forma es posible ver cómo las presiones provocaron cambios, en ocasiones drásticos, que exploran diferentes estrategias de supervivencia, pero en última instancia, y sólo evidente con un registro fósil abundante, podemos ver cómo la selección natural esculpió en un solo sentido el diseño exitoso (*muchas opciones fueron probadas y sólo una resultado exitosa: Equus*).

Como nos dice Martin, en América hace 10 millones de años existían 12 géneros de equinos, los últimos tres (*Equus, Hippidion y Onchippidium*) se extinguieron poco antes del arribo de humanos al continente. Diferentes metodologías de datación colocan a los último

# Evolución, Caballos y Curiosidad

Q.F.B. Sergio Antonio Salazar Lozano M. en C.



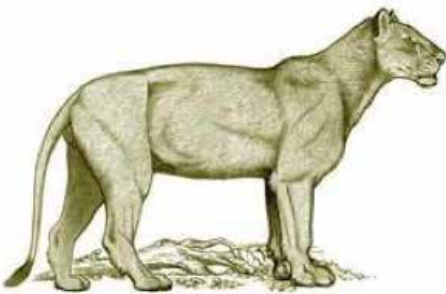
Canis dirus



Arctodus



Miraclonyx



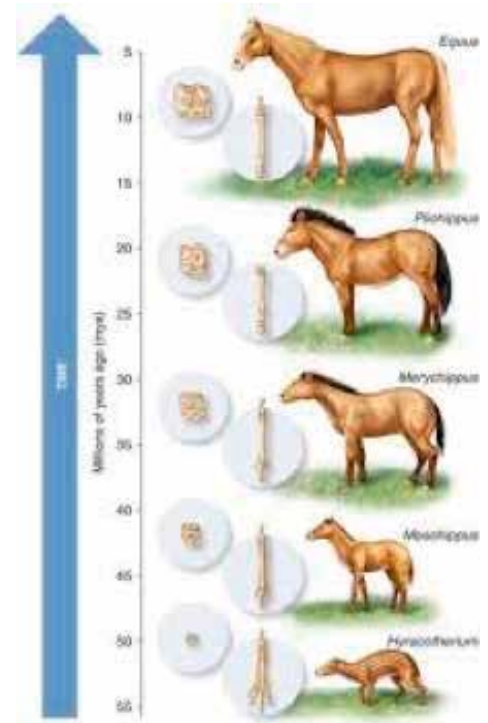
Panthera atrox



Smilodon fatalis

fósiles equinos en América, como *Equus caballus*, alrededor de 12,000 años en el pasado (Martin 2005). Los caballos fueron reintroducidos a América con la llegada de los españoles, y al respecto otra vez Martin ahora sugiere que la reintroducción de equinos a América (yo recalco sin los espeluznantes depredadores de antaño) muestra un “regreso de los nativos”. Esto debido a lo bien adaptados que resultaron a las condiciones del “terreno” americano. Ya hemos comentado que diferentes representantes de la orden Perissodactyla incursionaron en Asia y Europa. Finalmente, por su propio bien, *Equus* fue exitoso en el nuevo continente (nuevo para él), ya que en América se extinguiría a la brevedad. Esto fue posible gracias a la gélida conexión temporal por el estrecho de Bering entre Siberia y Alaska en el último periodo glacial (ya que actualmente nos encontramos en un periodo interglacial dentro de la última época glacial) que terminó hace unos 10,000 años (Ice Age: The Theory that Came from the Cold!, de John y Mary Gribbin [2001] Barnes & Noble p.93)

Lo que es muy cierto sobre las especies equinas actuales es que su evolución reciente es bastante más misteriosa de lo que nos gustaría aceptar. ¿Qué pasó con estos ejemplares aventureros de *Equus* en Asia y Europa? ¿En qué momentos y cómo atravesaron Asia, Europa y llegaron hasta África? Estudiar estas especies es un dolor de cabeza para los paleontólogos, que tienen que lidiar con la imposibilidad de diferenciar entre especies basados en criterios anatómicos o biométricos (e.g., los huesos de cebras y asnos son prácticamente indistinguibles entre sí). Afortunadamente, herramientas moleculares permiten sortear estas limitaciones y estudiar bajo la lente de los ácidos nucleicos a los fósiles equinos y a los equinos de hoy. Un estudio publicado en diciembre del 2010 y realizado por Michael Cieslak y colaboradores denominado Origin and History of Mitochondrial DNA Lineages in Domestic Horses (*Plos One*), utilizó 207 restos antiguos de caballo y 1754 caballos modernos. Geográficamente la muestra se extendió desde Alaska hasta la Península Ibérica (pasando por el noreste de Siberia). Temporalmente los restos más antiguos datan del Pleistoceno tardío hasta la



Evolución de Equus



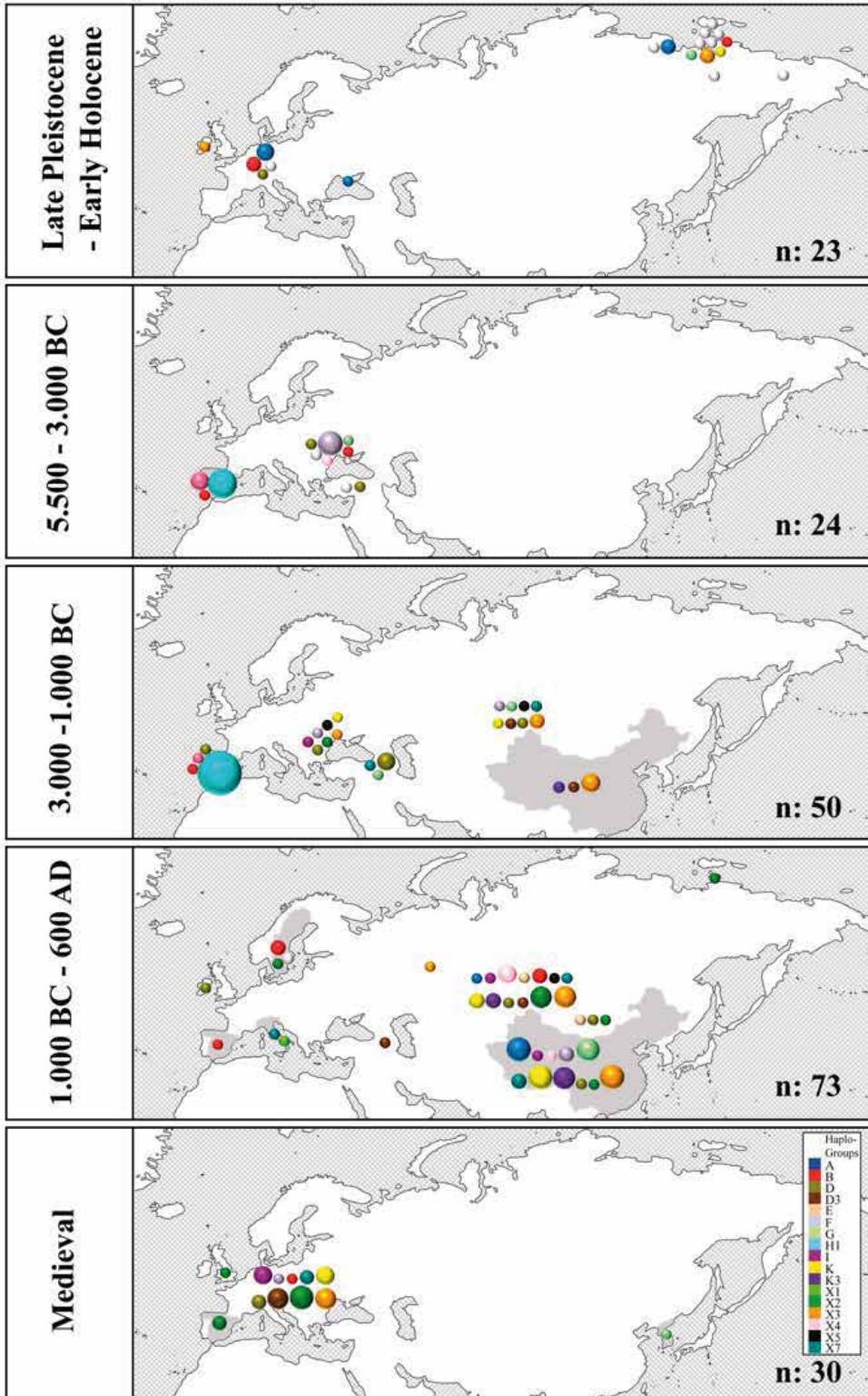
Smilodon fatalis



Estrecho de Bering

**Lister Laboratorios**  
Paul P. Harris #102 Fracc. Vista Hermosa, Tampico, Tam.  
TELÉFONO: (833) 800 16 44 al 47

www.lister.com.mx



Cronología de la distribución geográfica de haplogrupos.  
El tamaño de los círculos representa la frecuencia de los haplogrupos.

actualidad. En la actualidad, en las especies domésticas, se observa una multiplicidad de linajes maternos (*trazados a través del DNA mitocondrial, que es exclusivamente heredado por línea materna a través del óvulo, ya que el espermatozoide no introduce mitocondrias al fecundarlo*). A la vez, el cromosoma Y (*exclusivamente heredado por los machos*) presenta una homogeneidad contrastante. La respuesta a este enigma parece encontrarse, según los resultados de este interesante estudio, en el patrón de apareo y la introducción de nueva diversidad genética al pool doméstico en diferentes momentos de la historia evolutiva del caballo.

La población de caballos del Pleistoceno tardío desde Alaska a los Pirineos parece haber sido una donde las restricciones en el apareamiento eran nulas, el flujo de genes entre esta población era libre. Alrededor del Holoceno temprano y la Época del Cobre, la estepa euroasiática e Iberia, formaban dos subpoblaciones separadas. Sin embargo, para la Época del Hierro, la información genética indicaba numerosas domesticaciones e intromisiones femeninas en las mismas poblaciones. La mayor parte de todos los haplotipos estudiados poseen su origen en Europa del este y Siberia, aunque las crías modernas poseen influencia del linaje euroasiático (*los haplotipos son combinaciones de elementos genéticos, como SNPs [del inglés, single nucleotide polymorphisms], que normalmente viajan juntos de un descendiente al siguiente debido a la proximidad genética que poseen unos con respecto a otros*). Por lo menos se han perdido 17 haplotipos de las crías antiguas en los últimos 5500 años (*i.e., la diversidad genética ha disminuido aproximadamente en un 30%*).

La conclusión del estudio indica que los ricos linajes de DNA mitocondrial representan una gran variabilidad ancestral y no son el producto de la cría animal (*i.e., la domesticación ha desempeñado un rol nimio en la importante diversidad genética mitocondrial del caballo*). Es de esperarse que tras la domesticación algo de diversidad genética se pierda, ya que las poblaciones tienden a aislarse de sus raíces

		<i>n</i>	No. of haplotypes	Haplotype diversity	No. of polymorphic sites	Nucleotide diversity
<b>LATE PLEISTOCENE</b>	Alaska	8	7	0.964+/-0.077	13	0.018+/-0.011
	North East Siberia	14	12	0.978+/-0.035	17	0.017+/-0.010
	Europe	9	7	0.917+/-0.092	11	0.013+/-0.008
<b>COPPER AGE</b>	Europe/ Asia Minor Armenia	12	8	0.849+/-0.104	18	0.016+/-0.010
	Iberia	10	3	0.600+/-0.131	4	0.005+/-0.004
<b>BRONZE AGE</b>	China	5	3	0.700+/-0.218	7	0.014+/-0.010
	West Siberia	9	9	1.000+/-0.052	17	0.021+/-0.013
	Europe Armenia	12	11	0.985+/-0.040	27	0.023+/-0.014
	Iberia	38	18	0.819+/-0.062	35	0.012+/-0.007
<b>IRON AGE</b>	China	35	20	0.952+/-0.019	31	0.021+/-0.011
	West South Siberia, Kazakhstan	26	18	0.969+/-0.018	30	0.025+/-0.014
	Europe	8	8	1.000+/-0.063	22	0.034+/-0.020
<b>MEDIEVAL</b>	Europe	26	19	0.966+/-0.022	32	0.027+/-0.015

doi:10.1371/journal.pone.0015311.t002

### Diversidad nucleotídica y de haplotipos.

silvestres y el apareamiento se lleva a cabo sólo entre los pocos individuos domesticados (normalmente dejando fuera a la mayor parte de la diversidad genética de la especie).

En marzo del 2011 Vera Warmuth y colaboradores publicaron en Plos One un artículo titulado European Domestic Horses Originated in Two Holocene Refugia. Estos investigadores (a través de 12 loci microsatelitales [o pequeñas regiones genéticas polimórficas que se repiten en tándem]) encontraron patrones de diversidad genética ricos en los especímenes que poblaron Iberia y la región del Mar Caspio, donde coincidentemente existían parajes abiertos apropiados para los equinos previo a su domesticación. Europa central y el Reino Unido muestran una diversidad mucho menor y se sabe que estas tierras poseían parajes más bien boscosos, menos adecuados para los caballos. Los resultados moleculares sugieren que la Península Ibérica y las estepas de Europa del este proveyeron refugio para los caballos silvestres en el Holoceno. Tanto la información molecular del estudio anterior como la de este estudio nos ayudan a pintar una escena holocénica mutuamente coherente, y lo que es más importante, coherente con la información

arqueológica y paleontológica anterior (recuerda que al principio hablamos del inicio de la domesticación hace 5000 años de los caballos en la estepa pónctica).

Aún queda mucho por desvelar en la historia evolutiva del caballo y sus parientes más cercanos: el asno y la cebra. Estas especies, tres actuales para la cebra (una cuarta, el cuaga, extinta a inicios del siglo pasado por los implacables Boers al sur del continente africano) y dos para asnos silvestre, poseen a su vez interrogantes de sumo interés. Los asnos *Equus hemionus* y *Equus africanus* habitan regiones del medio oriente y el sur de Asia central, en el primero, así como áreas semidesérticas del noreste de África, en el segundo. El asno africano posee un color claro adornado por rayas transversales en sus patas, burdamente asemejando las de una cebra.

Antes de que siquiera existan células nerviosas, las células ectodérmicas en la porción dorsal de un embrión de vertebrados potencialmente poseen la capacidad de comprometerse hacia un linaje nervioso o epitelial. Señales entre células vecinas ayudan a unas y otras a tomar estas decisiones, por lo que células próximas se vuelven nerviosas y sus vecinas epitelio. Por



Cuaga



*Equus hemionus*



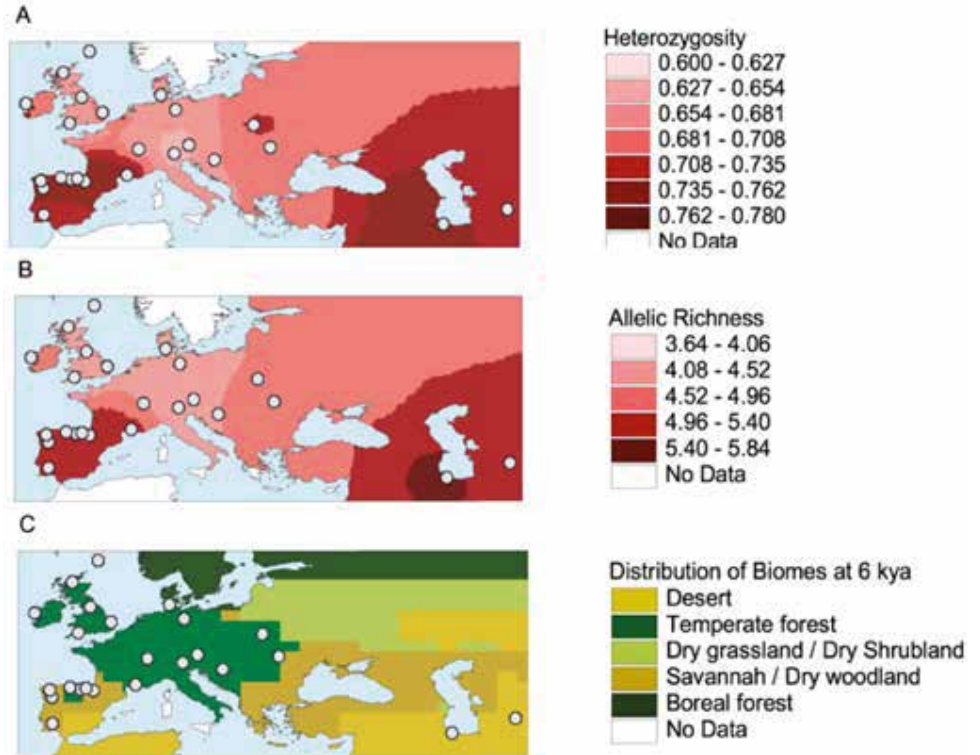
*Equus africanus*

supuesto que los precursores de las células pigmentarias migrarán desde el neuroepitelio hacia la periferia. Los precursores de células pigmentarias en el futuro producirán melanina para darle coloración a la piel. Stephen Jay Gould en *Dientes de Gallina y Dedos de Caballo* (*Crítica*, 1983 pp. 313-314) nos comenta sobre la teoría de Jonathan Bard, un embriólogo de Edimburgo. Bard ha propuesto que ya que las células de la cresta neural (*constituida por células comprometidas a formar el futuro sistema nervioso central y la espina dorsal*) de un embrión cebra comienzan a moverse simultáneamente hacia los extremos anterior y posterior a partir de la segunda semana de gestación y que el patrón de rayado de las cebras no comienza sino hasta la tercera semana, cuarta o quinta, de acuerdo a la especie de cebra de la que se trate, los característicos diseños rayados son el resultado de la activación de la pérdida de color de forma "anillada" (*la documentación de especímenes que en vez de rayas manifiestan hileras blancas punteadas sugieren que el color de las cebras es negro y su rayado es producto de la inhibición ordenada de la pigmentación*). El modelo está basado en el comportamiento embrionario del caballo, lo cual es bastante razonable.

Un embrión es un sistema molecular asimétrico, sencillo en sus inicios y gradualmente alcanzando mayor y mayor grado de complejidad. Si la cebra era originalmente un animal negro que desarrolló las líneas blancas (*que es lo que arguye Bard*), la cronología de activación de éstas puede fácilmente haberse modificado dos veces y fijado si las condiciones ambientales así lo reforzaron. La modificación cronológica en la expresión de genes en el desarrollo es uno de los trucos recurrentes para generar cambios (*muchas veces más dramáticos que el rayado de una cebra*) entre especies, por lo que la idea es totalmente plausible.

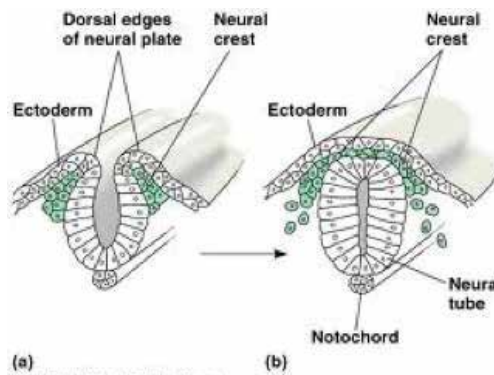
Adicionalmente, conociendo el patrón de desarrollo del caballo e infiriendo una gran semejanza con el de la cebra, las predicciones concuerdan con las observaciones.

**Equus burchelli**, posee pocas rayas anchas en



La alta diversidad de caballos europeos refleja la distribución de campos abiertos en el holoceno medio.

sus patas, rayas anchas en su abdomen y, en la continuidad de éstas hacia el dorso, se engrosan y contorsionan hacia atrás, cada vez más a medida que más se acercan a la línea media de la espalda (*posee entre 25 y 30 rayas por lado*). Esto es consistente con los eventos conocidos para la tercera semana de gestación del caballo, en la cual la región dorsal del embrión es corta y compacta, pero rápidamente se vuelve larga y curva a medida que comienza a formarse apropiadamente su espalda (*en este momento el embrión posee 11 mm de longitud*). Si lo piensas, el diseño se ve exactamente como debería verse si Bard está en lo cierto.



Cresta natural

**Equus zebra**, con alrededor de 43 rayas por lado, posee sólo tres rayas en sus ancas y rayas gruesas en su lomo que, como veremos en *Equus grevyi*, terminan antes de llegar al bajo vientre, que es blanco en ambas (*a diferencia de Equus burchelli, en donde las rayas continuán hasta el bajo vientre y vuelven a subir perfectamente empataadas con el otro lado*). Para obtener esete patrón, sería necesario que un segmento chico del embrión con pocas rayas se extendiera rápidamente para ensanchar así las rayas al crecer la superficie epitelial. Este tipo de crecimiento mucho más simétrico en el lomo con una diferenciación discreta para las ancas es de esperarse si, de acuerdo al plan de desarrollo del caballo, el embrión de cebra comenzara a diferenciar melanocitos (*células epiteliales pigmentadas*) alrededor de la cuarta semana (*cuando el embrión posee entre 14 y 19mm de longitud*).

Finalmente **Equus grevyi** cuenta con 80 delgadas rayas paralelas por lado hasta la región trasera. Para que esto ocurra, la región trasera debe ser mayor que en los casos anteriores, es decir, debe activarse el patrón de



*Equus bruchelli*



*Equus zebra*



*Equus grevyi*

diferenciación de melanocitos un poco después, de hecho, en la semana cinco (*cuando el embrión posee 32 mm de longitud*). Esto debido a que es en esta semana cuando se expanden la zona trasera y la región caudal en el caballo.

Todo lo anterior funciona así porque Bard propone que las rayas inician en las tres especies con un tamaño equivalente, independiente de las dimensiones del embrión. Las rayas comienzan separadas por 0.4 mm, son separadas por aproximadamente 20 células. Por supuesto, embriones que inician este proceso después (*digamos que en la semana 5*), poseen mayor tamaño y, por lo tanto, generan mayor número de rayas. Un embrión de 32 mm de longitud y 0.4 mm por raya nos debería producir 80 rayas (*E. Grevyi*). Un embrión con 17 mm de longitud y 0.4 mm por raya nos debería producir 43 rayas (*E. Zebra*). Finalmente un embrión con 11 mm de longitud y 0.4 mm por raya nos debería producir 28 rayas (*E. Burchelli*). Evidentemente existen ligeras variaciones en las longitudes promedio de los embriones de 3 semanas, 4 semanas y 5 semanas, lo que a su vez permite ligeras variaciones en el número de rayas. Lo que resulta más curioso es que uno puede inferir la longitud embrionaria que poseía un individuo particular de estas especies al momento del desarrollo inicial de su patrón de rayado si cuenta estas rayas en el adulto.

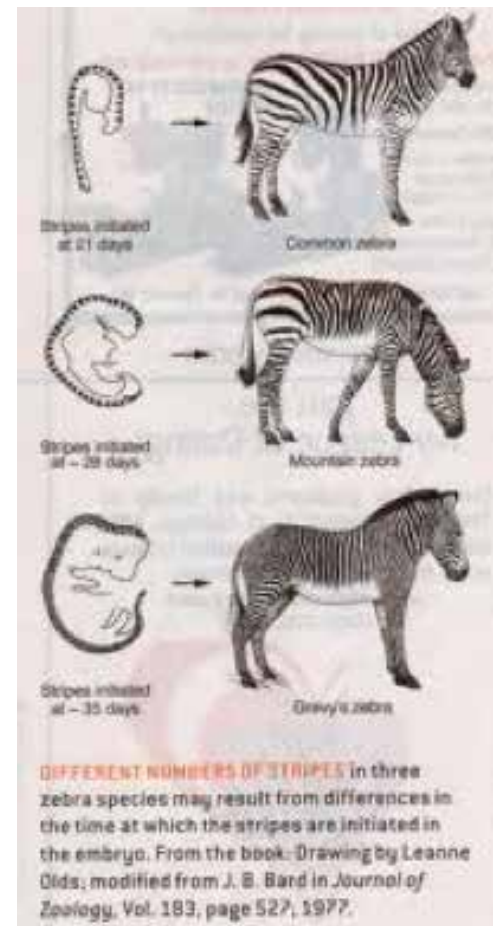
Gould no deja escapar la oportunidad para ilustrarnos sobre cómo deja de ser paradójico el hecho de que habitualmente el producto del apareamiento de una cebrilla y un verdadero caballo posee más rayas que una cebrilla normal. Por supuesto que el sentido común, al que hay

que aprender a cultivar porque es el que nos permite estudiar aquello que nos debe llamar la atención, nos dice que la cruce de individuos rayados con no rayados debería producirnos individuos menos rayados que el progenitor rayado, no más. Sin embargo, a la luz que arroja Bard, lo que importa es que si el caballo es de mayor envergadura que la cebrilla, específicamente si el embrión resultante es ligeramente más grande, la formación de rayas será más nutrida, lo que explica la interrogante.

Pero ¿cómo es que un diseño aparentemente tan llamativo como el rayado de las cebrillas pudo fijarse tan marcadamente en tres especies equinas en África? Lo que es aún más impactante, cómo es que este diseño extravagante no es visto en ninguna otra parte del mundo?, ¿por qué sólo en África? Debido a que sólo de manera ocasional algunos caballos en otras partes del mundo desarrollan rayas en las patas que no guardan ninguna relación con las rayas de las cebrillas, podemos estar seguros que el diseño rayado no es primitivo, sino una invención africana.

Josef H. Reichhof en *La Aparición del Hombre (Crítica 1996)* aborda este problema en dos capítulos. La primera pregunta del párrafo anterior recalca lo llamativo del diseño rayado de alto contraste blanco y negro. Los animales, sin importar su lugar en la cadena alimenticia, tienden a beneficiarse si no llaman la atención. Claro, existen excepciones, como cuando es vital atraer al sexo opuesto, o al polinizador (que normalmente se guía por patrones ultravioletas y no visibles), o como cuando una mariposa anuncia su espantoso sabor con llamativos colores, si algún depredador comete el error de comerse a un representante de esa especie seguramente jamás lo volverá a hacer, pero las

cebrillas tienen fama de ser exquisitas, por lo que su fácil identificación generaría el efecto contrario. De hecho, las cebrillas son fácilmente identificadas por los leones, que las acechan desproporcionadamente. Sin embargo, sus poblaciones no tienden a sufrir por la desventaja que hacia sus depredadores les plantea su estilo único.



Teoría de Bard

Como ya hemos visto, entre más temprano en el desarrollo embrionario comiencen a formarse las rayas, más anchas serán. E. Grevyi posee las rayas más estrechas, por lo que (como ya vimos) se desarrollan tardíamente (en la semana 5) y vive en el noreste de África. E. Burchelli posee las rayas más anchas, se desarrollan en la semana 3 y vive en el este y sur de África. Finalmente, la decimada, E. Zebra posee rayas de ancho intermedio, se desarrollan en la semana 4 y vive en Namibia y las montañas del Cabo al sur; grosso modo vive antes de llegar a la región austral del continente. No es descabellado pensar que la aparición de las rayas en algún momento evolutivo del desarrollo que diferenciaría a las cebras ocurrió fortuitamente, ya sea en la semana 5 ó 3, y de ahí caminó hacia arriba o hacia abajo en el tiempo del desarrollo embrionario, según sea el caso. Podemos así suponer que lo hizo, por ejemplo, inicialmente en la semana 5.

El profesor Jeffrey Waage, realizó años atrás un estudio en el que buscó agentes patógenos en la sangre de diferentes especies silvestres de África (específicamente buscaba tripanosomas, pues le interesaba la enfermedad de nagana). Debido a que las especies silvestres son los reservorios de patógenos de interés ganadero (y ocasionalmente también humano), la curiosidad por sus resultados fue grande. Encontró que de todos los animales silvestres de la sabana africana, sólo la cebra se encontraba libre de esta enfermedad. Adicionalmente, se sabe que si se inoculan cebras con tripanosoma, la mortalidad entre ellas alcanza el 90%.

Para los caballos hay pocas cosas más molestas que lidiar con insectos. Con sus largos pelos de la cola ahuyentan o matan a las moscas, ya que éstos pueden partir insectos al golpearlos. Los tábanos son bastante más resistentes que otras moscas o mosquitos, por lo que normalmente resisten sin problemas los coletazos de caballo. Waage ha propuesto coherente y convincentemente que las rayas en las cebras evolucionaron para mantener lejos a los tábanos vectores de tripanosomas (moscas del género *Glossina* o tse-tse).

La teoría resulta bastante plausible y la

evidencia con la que se cuenta en la actualidad parece respaldarla (existen otras hipótesis, pero a mi juicio esta explicación es la única que vale la pena mencionar, de hecho, por eso es que la diferencio de las otras explicaciones denominándola teoría, pues considero que ese es su estatus actual). El sencillo ojo compuesto de la mosca consiste de miles de unidades fotoreceptoras repetidas denominadas ommatidia (en el tábano cada ommatidia se conecta directamente a su propio rabdómero o grupo de células receptoras), un poco como si rompieramos un vidrio en miles de pedazos y después los pegáramos con un ligero ángulo uno con respecto al otro para lograr un lente semi-convexo. En los tábanos, los ojos se encuentran contiguos con la línea media dorsal, lo que se conoce como condición holóptica. Si tratáramos de ver a través de un ojo así, veríamos que poseemos un ángulo de visión más amplio que el que es natural para los seres humanos (casi de 360°), pero con una resolución más pobre. Cada ommatidia se encuentra separada por pigmento, por lo que cada una es una unidad independiente. A medida que una mosca se acerca, digamos que



Mapa de África

a una víctima, ésta va perdiendo detalle, y cuando más cerca se encuentra, debe guiarse por el olfato (para mayor información leer: *The Insects: Structure and Function* de R.F. Chapman, Cambridge University Press, 4th edition 1998, pp. 587-607). A medida que una



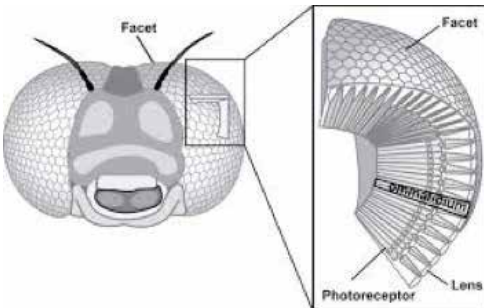
Leona cazando una cebra.

mosca se acerca a una cebra, las líneas se van separando; finalmente el patrón rayado blanco y negro se pierde y sólo ven blanco o negro a una distancia que aún no es suficiente para que entre el olfato en su ayuda. Las cebras, de entrada, simplemente confunden a las moscas y, como veremos, no presentan el patrón de alimento que les es atractivo.

Experimentalmente se ha demostrado que los ojos de la mosca tse-tse se han especializado en la identificación de siluetas oscuras que se mueven lentamente (como lo hacen los herbívoros al pastar). Los patrones rayados son un enigma, es un diseño único que la mosca tse-tse no ha descifrado, a diferencia de lo que ocurre con un cuerpo oscuro parejo o sin contrastes tan marcados que es identificado aún si presenta una forma extraña. De hecho los cebúes claros son víctimas infrecuentes de la mosca tse-tse, a diferencia de lo que ocurre con reses más oscuras. La mosca tse-tse debe vivir en la cercanía de vasos de agua o los linderos de la selva, ya que, aunque deposita larvas mucho más desarrolladas que las de otras moscas o mosquitos, de cualquier forma necesita de humedad. Su resistente quitina les permite resistir mejor el calor, por lo que son activas de día —una singularidad— en las sabanas húmedas. En su evolución se especializó en la alimentación de sangre de animales migratorios en África, en un momento en el que los caballos aún no colonizaban el continente (específicamente en la era terciaria). Los demás rumiantes migratorios autóctonos, adaptaron su sistema inmunológico a la presencia de tripanosomas. Incluso lo más probable es que los tripanosomas hayan sido anteriores a la aparición de la mosca tse-tse, su inmunidad y funciones metabólicas adaptadas, como un bazo activo en la desintoxicación de

éste parásito, es evidencia de una larga coevolución.

**El cuaga**, el équido del que hemos hablado muy poco, quizá sólo recalcado que fue extinguido a principios del siglo pasado por los Boers, ayuda a solidificar la teoría. Este animal, presumiblemente descendiente de las cebras, poseía rayas sólo en la cabeza (*su fotografía ya fue mostrada*). Las cebras, como los caballos en el resto de los continentes, se reconocen entre sí de manera individual. Adicional a los medios tradicionales de reconocimiento social, para las cebras de rayas forman parte de la individualidad, especialmente las rayas de la cara y cuello, es decir, las rayas de la cabeza. El cuaga habitó en el sur de África, fuera de los dominios de la mosca tse-tse; para él, las rayas dejaron de ser importantes en su supervivencia, por el contrario, al igual que ocurre hoy con las cebras, seguramente ayudaban a los depredadores, como los grandes felinos africanos, a identificarlos más fácilmente. Sólo las rayas en la cabeza importantes identificadores para las interacciones sociales, persistieron en estas condiciones.



Ojo compuesto de un tábano.



Área infestada por mosca Tse-tse en rojo.

Reichholf introduce aún otro elemento en esta argumentación relacionado con el inclemente calor africano. No dice que los caballos blancos se encuentran bien equipados para resistir el tremendo calor, pero la radiación solar es muy agresiva en piel con escasa melanina. La melanina imprime color y así protege a los animales de la cancerígena radiación ultravioleta que irrumpe el desarrollo normal en los animales jóvenes (*e.g., los caballos blancos nacen oscuros, cambian de color hasta su adultez*). Los asnos salvajes o *Equus africanus* (*otro équido africano del que no hemos dicho casi nada, pero que también ya fue mostrado*) poseen un color arena grisácea hermoso, no son blancos, pero han perdido cuanta melanina han podido sin que las desventajas superen las ventajas. Viven en el este de África, particularmente en Somalia, libres también de la mosca tse-tse.

En muchos otros sitios del mundo el caballo posee depredadores salvajes —como el puma y el jaguar en América—, pero no cuentan con la presión selectiva de moscas transmisoras de patógenos implacables como en África. El proceso evolutivo, a través de la experimentación, alcanzó una fórmula sencilla y altamente eficiente para que las cebras se volvieran exitosas en las condiciones africanas. Volviendo a las pinturas de caballos moteados en Europa pintadas algunas desde hace 25,000 años, los científicos acaban de resolver que existían ejemplares que cargaban con la variante genética LP (*de Leopard Complex*) que en la actualidad confiere una apariencia moteada de las cavernas en España y Francia se especulaba eran más bien el producto de un artista que representaba hermosos animales con características inexistentes (*mezclando lo real con lo imaginario*) o la representación de formas vistas o imaginadas cuando el artista se encontraba en algún tipo de trance o estado mental alterado auto inducido. El estudio en cuestión realizado por Melanie Pruvost y colaboradores y titulado *Genotypes of predomestic horses match phenotypes painted in Paleolithic Works of cave art* publicado en PNAS en noviembre de este año estudió 31 muestras de caballos que datan hasta de 35,000 años atrás en Siberia, la parte este y

oeste de Europa y la Península Ibérica de 15 sitios diferentes. De estas muestras seis compartían la variante genética LP. De hecho todos los colores que se distinguen en el arte de las cavernas se encontraron representados en las muestras, dieciocho eran color bayo, siete negros, estos se suman a los seis moteados y nos resultan en los treinta y uno estudiados. Particularmente famosa es una pintura denominada “Los Caballos Moteados de Perch-Merle” en Francia impresa desde hace alrededor de 25,000 años atrás. La ciencia arranca así un poco de pomposidad de nuestra parte al asumir que los artistas de las cavernas eran sofisticados individuos pintando elementos abstractos y estéticamente más bellos que la realidad (*aunque es probable que esto como quiera haya ocurrido*). A la vez, la ciencia también introduce valiosos elementos para comprender mejor nuestras raíces y las del entorno en contante cambio.

El rasgo moteado viene, como a veces ocurre, con una carga física. En este sentido, en el 2008, Rebecca R. Bellone y colaboradores publicaron un artículo titulado *Differential Gene Expression of TRPM1, the Potential Cause of Congenital Stationary Night Blindness and Coat Spotting Patterns (LP) in the Appaloosa Horse (Equus caballus)* en la revista *Genetics*. Las motas en el caballo son el resultado de la expresión de un solo gen de dominancia incompleta, que como ya mencioné, se denomina LP. Cuando un caballo posee una copia del gen, éste presenta un patrón de motas al azar en su piel. El problema es que cuando el caballo es homocigoto para la mutación LP (*LP/LP*), entonces desarrolla la ceguera nocturna estacionaria congénita. Estos investigadores buscaron en la región de LP diferentes genes para ver si alguno se encontraba directamente relacionado con este problema, descartaron todos menos uno. Resultó que el gen *TRPM1* (*del inglés, Transient Receptor Potential Cation Channel, Subfamily M, Member 1*) se expresaba en un nivel del 0.05% en la retina de los caballos homocigotos para LP en contraste con los caballos sin LP. *TRPM1* además se expresa muy poco en la piel pigmentada y no pigmentada de individuos LP/LP y en menor grado en la piel no pigmentada de individuos LP/lp. La proteína TRP

**Lister Laboratorios**

Paul P. Harris #102 Fracc. Vista Hermosa, Tampico, Tam.

TELÉFONO: (833) 800 16 44 al 47

[www.lister.com.mx](http://www.lister.com.mx)

(el producto de la expresión de *TRPM1*) se piensa que posee un rol en el centro de la concentración intracelular de iones de calcio. La expresión disminuida de este gen debe alterar las señalizaciones celulares bipolares así como la función en melanocitos, si es que es responsable de ambos fenómenos (*ceguera nocturna estacionaria congénita y patrones moteados en la piel*).

Es muy probable que este patrón moteado, especialmente aquel en donde el caballo es predominantemente blanco con ligeras motas oscuras, haya proveído un ventaja a la hora de camuflarse entre la nieve que dominaba los parajes de la última época glacial. Perdiéndose así el caballo con el fondo, podría más fácilmente sobrevivir a los depredadores, muy acorde a lo que hoy podemos observar que ocurre con especies que viven en ambientes dominados por la nieve (como el oso o el zorro polar). Posteriormente, a medida que entró el periodo interglacial del que ahora disfrutamos,



Los Caballos Moteados de Perch-Merle y una relación de pintura con caballos reales.

estos rasgos seguramente se volvieron más y más raros, especialmente porque mantenerlos conlleva un costo (*la ceguera de la ya hemos hablado para los homocigotos LP*).

Existen otras variantes genéticas estudiadas que se han identificado en diferentes muestras de caballos predomesticados y domesticados en donde aparecen otra vez los colores y se pinta más completa la fotografía de la distribución equina salvaje del momento (*e.g. ver artículo de*



Caballos que presentan diferentes patrones moteados

Arne Ludwig y colaboradores en *Science* titulado *Coat Color Variation at the Beginning of Horse Domestication* en abril del 2009). Las cebras no resultan entonces nuestro primer ejemplo de adaptación pigmentaria excéntrica a presiones selectivas sobre los équidos, sino en realidad la segunda. Hoy sabemos que antes de las rayas, estuvieron de moda los puntos, pero poseer puntos era más caro que poseer rayas (*a algunos les costaba la vista*).

