

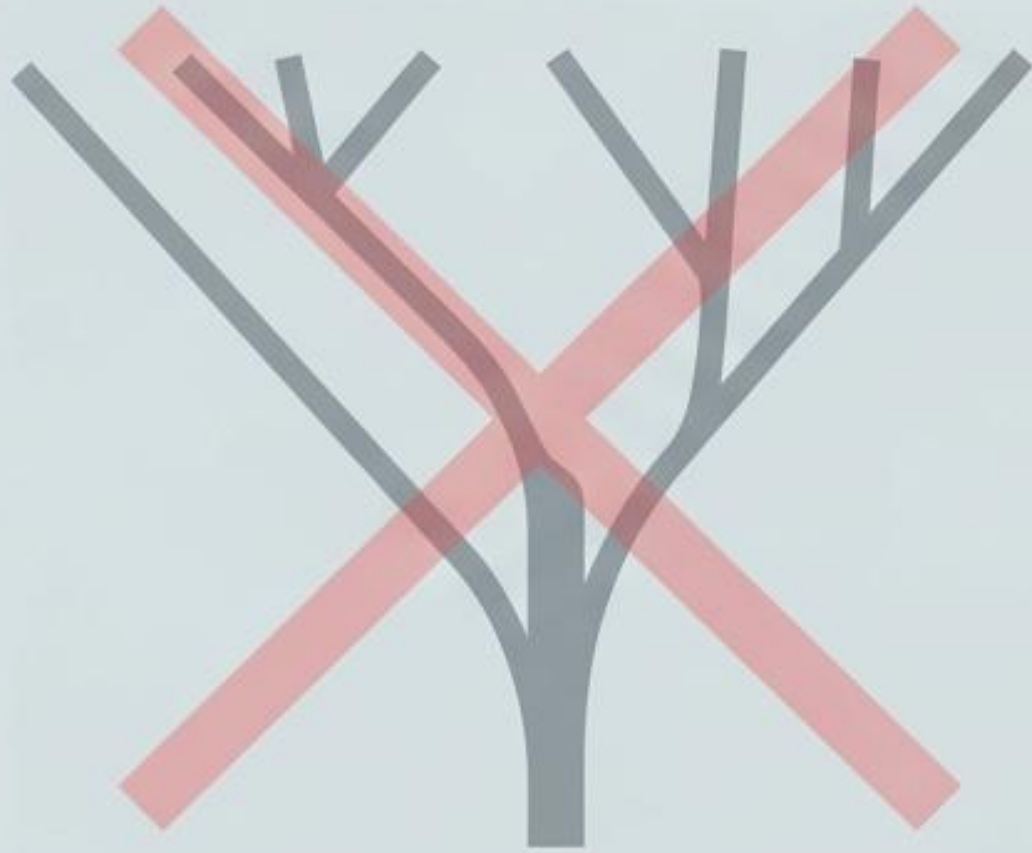
El Delta Evolutivo

Cómo los denisovanos reescribieron la historia genética de la humanidad
(Actualización 2024-2026)

The background of the slide features a complex, abstract pattern of numerous thin, flowing lines in shades of blue, yellow, and pink. These lines originate from a single point on the left and spread out towards the right, creating a sense of movement and interconnectedness, much like a genetic network or a river delta.

La evolución humana no es un árbol de ramas nítidas. Es un delta de corrientes genéticas que se separan, fluyen aisladas durante milenios y chocan para crear la humanidad moderna. En el centro de esta red, los denisovanos tienen la clave.

El fin del mito del linaje puro

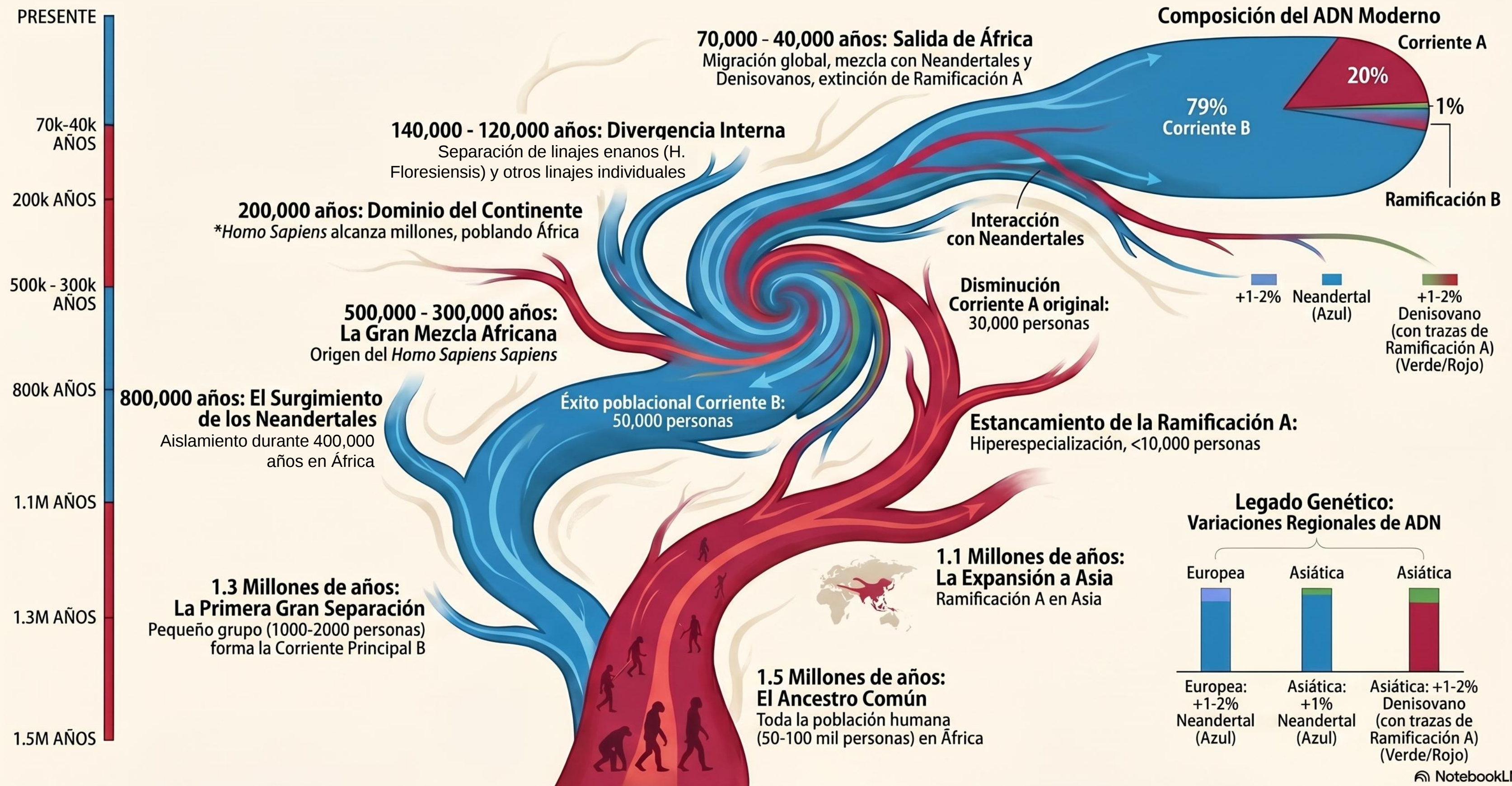


El Modelo Clásico: Una línea evolutiva única, lineal y prístina, separada en ramas que nunca vuelven a cruzarse.



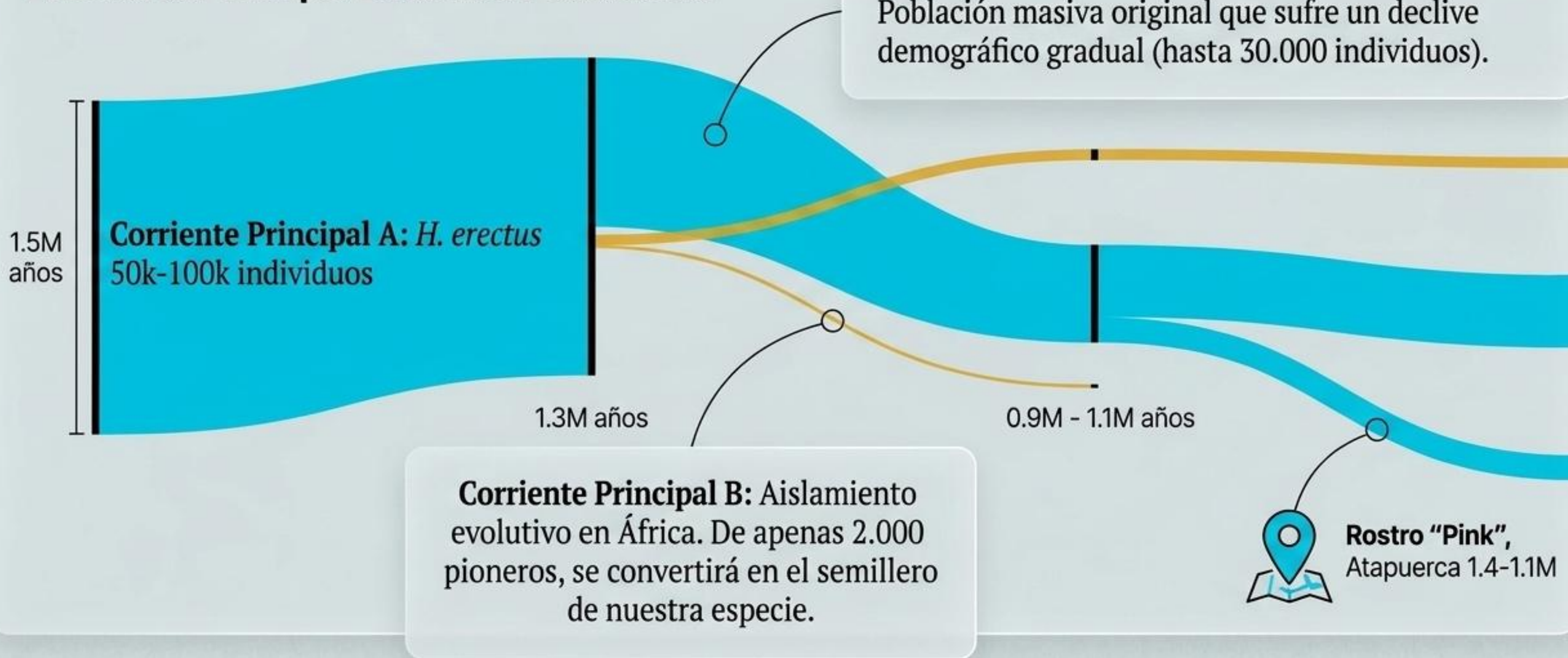
La Realidad Paleogenética: Una historia de encuentros, extinciones locales y mestizaje continuo. Las especies no son callejones sin salida; son afluentes que intercambian caudal genético.

El Árbol de la Humanidad: Una Odisea de ADN y Evolución

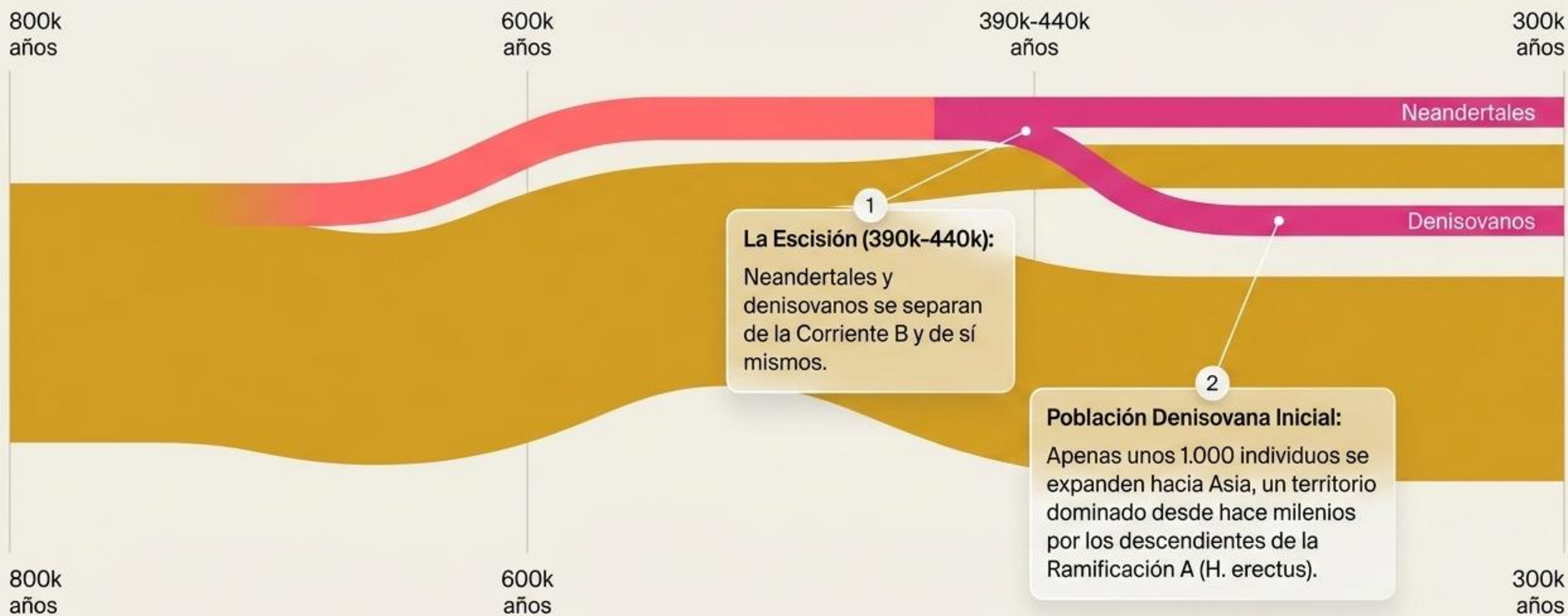


1.5 Millones de Años de Dinámica Poblacional

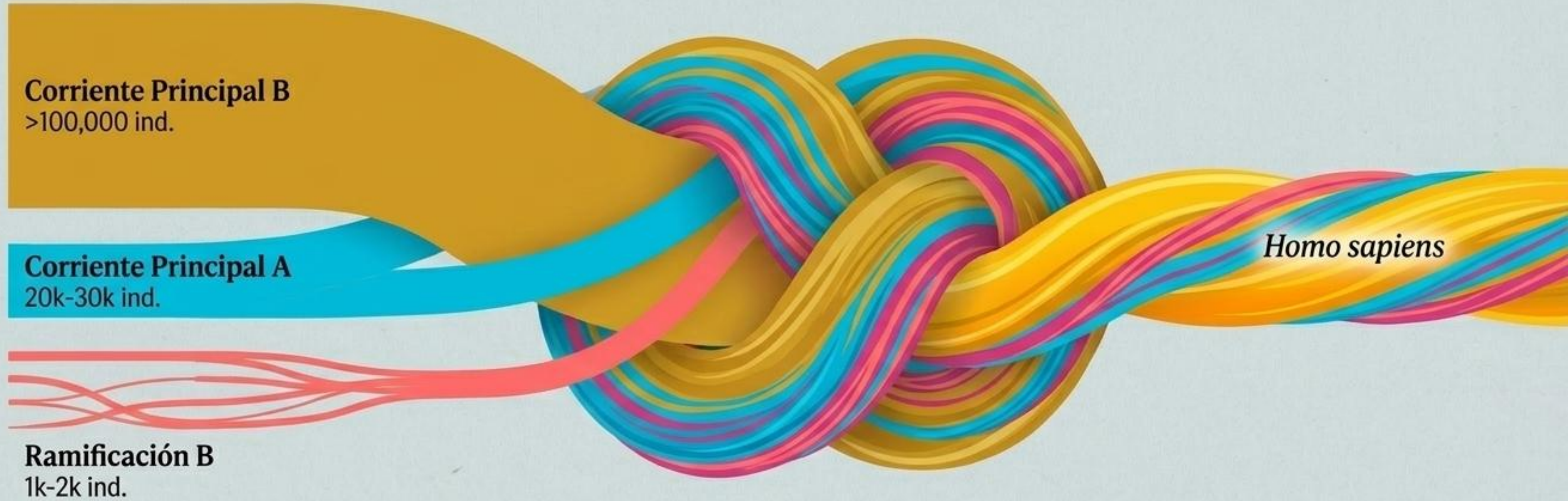
El Delta del Tiempo: Dinámica Poblacional



El nacimiento de la Ramificación B



La fusión que engendró al *Homo sapiens* (300k-500k años)



Nuestro linaje no nació de un aislamiento, sino de una fusión masiva en África. La expansiva Corriente Principal B absorbió y asimiló a los remanentes de la Corriente Principal A y a los denisovanos/neandertales africanos. La Corriente A se extingue como entidad independiente, pero sobrevive dentro de nosotros.

De un meñique a un imperio genético: Fósiles Clave

Denisova 3

Fósil: Falange distal (2010).

Evidencia: ADN mitocondrial y nuclear inicial.

Significado: El 'Big Bang' de la paleogenética; descubre un linaje humano completamente nuevo.

Mandíbula de Xiahe

Fósil: Mandíbula (Tíbet, 2019).

Evidencia: Análisis de proteínas ancestrales.

Significado: Ocupación de alta montaña (3.280m) hace 160.000 años.

Denisova 25

Fósil: Molar (2025).

Evidencia: Genoma de alta cobertura (23.6x), 219.000 años.

Significado: Confirma poblaciones en mosaico y flujos de homínidos superarcaicos.

Hombre Dragón (Harbin)

Fósil: Cráneo completo (2025).

Evidencia: Cálculo dental y 95 proteínas.

Significado: Pone por fin un rostro anatómico al linaje denisovano.



Denny: la primera híbrida

Cueva de Denisova ~ 90.000 años

Un fragmento óseo de la cueva de Denisova reveló a una niña nacida del cruce directo entre dos especies humanas, la prueba más contundente de que la evolución fue reticulada.



GENOMA

Madre **neandertal** y padre **denisovano**. Cada progenitor aportó exactamente la mitad de su ADN.



EL FÓSIL

Denisova 11: un fragmento de hueso largo de una niña de al menos 13 años. Encontrado en la Cámara Este de la cueva de Denisova (Siberia).



LO QUE DEMUESTRA

El mestizaje entre la **Ramificación B neandertal** y la **Ramificación B denisovana** no fue un evento aislado, sino un patrón recurrente de contacto íntimo.

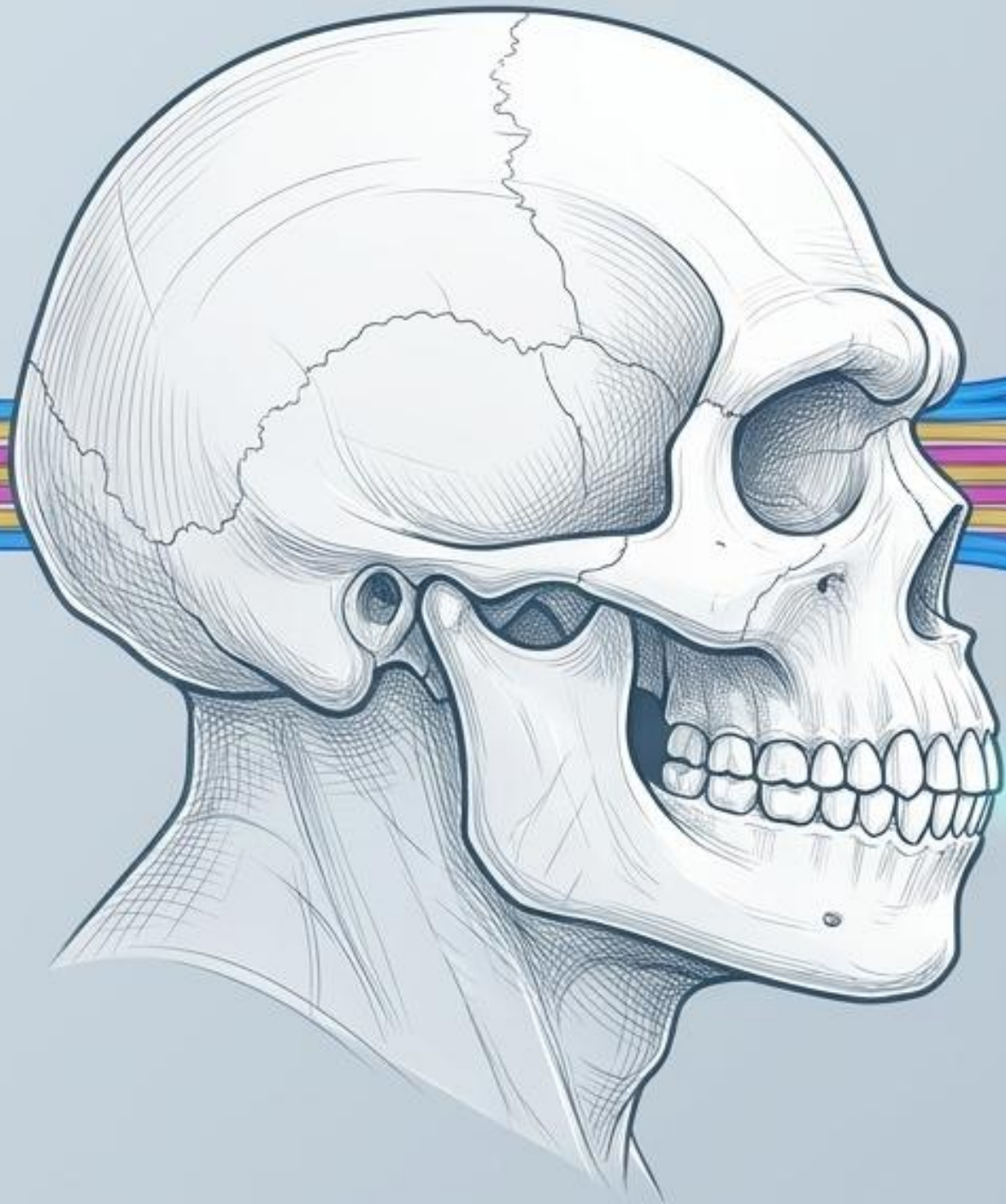


IMPLICACIÓN

Las montañas de Altai fueron una encrucijada donde al menos tres especies humanas coexistieron e interactuaron neandertales, denisovanos y, más tarde, sapiens.

«Encontrar un híbrido de primera generación entre dos poblaciones que llevaban 400.000 años separándose demuestra que el mestizaje era la norma, no la excepción.»

El Rostro del Hombre Dragón (Cell / Science, 2025)



El Problema:

El ADN óseo del cráneo de Harbin (146.000 años) estaba destruido.

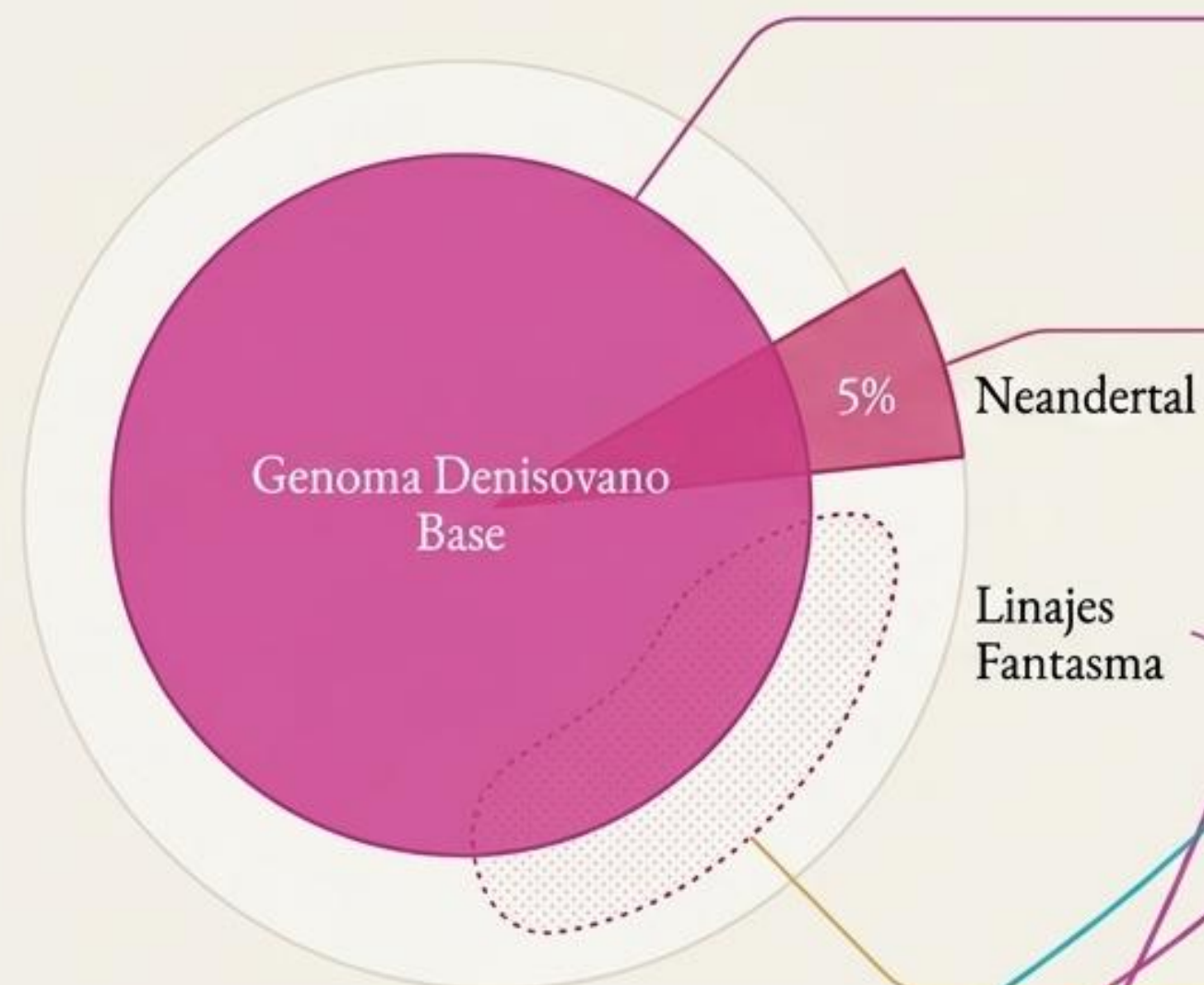
El Descubrimiento:

El equipo recuperó ADN mitocondrial de apenas 0,3 miligramos de placa dental mineralizada (cálculo dental), junto con 95 proteínas endógenas del esmalte.

El Impacto:

Confirma que los denisovanos dominaron el continente asiático no como una población marginal, sino como un grupo robusto y central en el Pleistoceno Medio.

Denisova 25: Un Genoma de 200.000 años



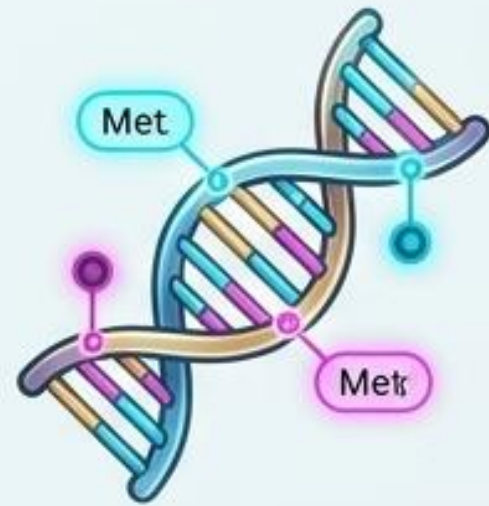
Alta Cobertura (23,6x): Secuenciado en 2025 en el Instituto Max Planck.

5% Neandertal: Evidencia temprana de cruces con neandertales primitivos.

Linajes Fantasma: Contiene ADN de una población superarcaica desconocida que se separó antes de la divergencia sapiens-denisovano.

Reemplazo Dinámico: Al compararlo con Denisova 3, revela que los denisovanos sufrieron extinciones locales y recolonizaciones constantes.

Reclasificando la Historia: Fenotipado Genético (PNAS, 2025)



Harbin



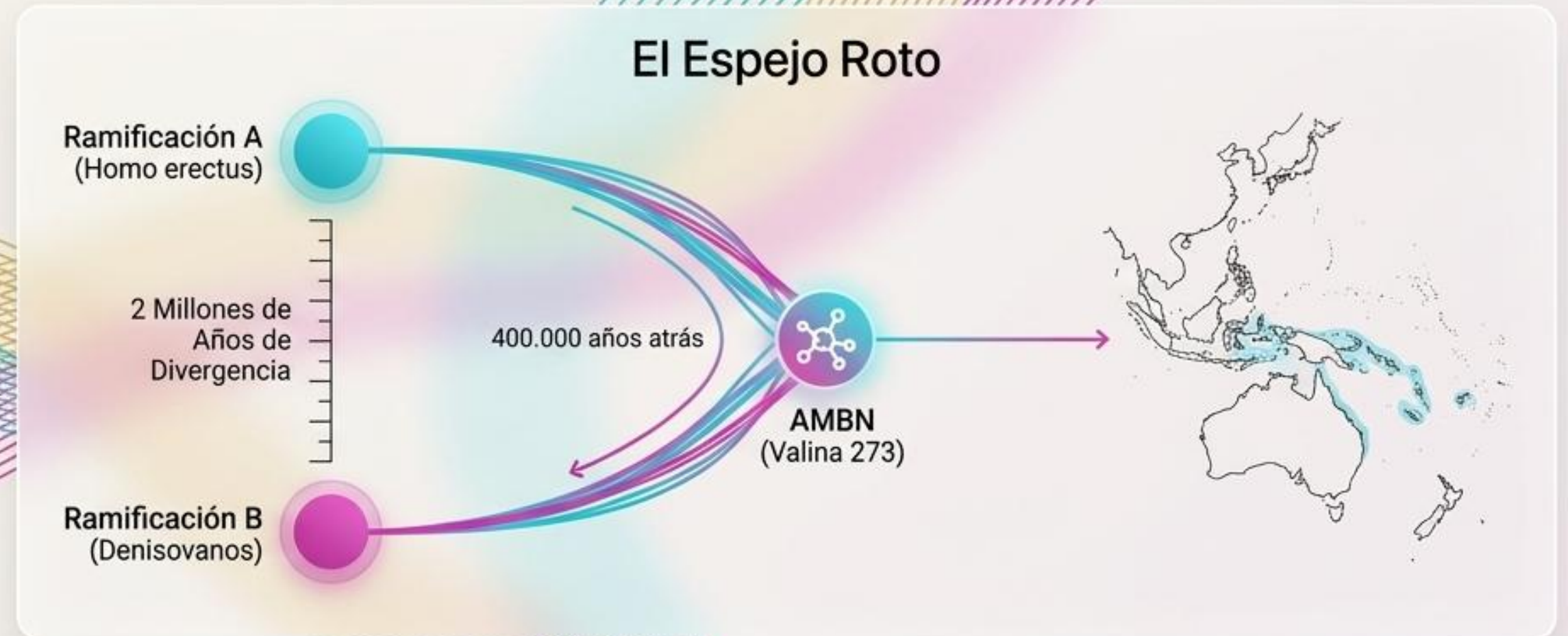
Dali

Método: Gokhman y Carmel utilizaron patrones de metilación (cambios reguladores génicos) para predecir la morfología esquelética denisovana.

Resultados: Al comparar este molde predictivo con cráneos huérfanos, encontraron concordancias excepcionales con Harbin (16/18 rasgos) y Dali (15/18 rasgos).

Implicación: La taxonomía morfológica clásica está obsoleta; docenas de fósiles ambiguos asiáticos pueden ser reclasificados genéticamente.

El Salto Cuántico de 2026: Erectus se encuentra con Denisova

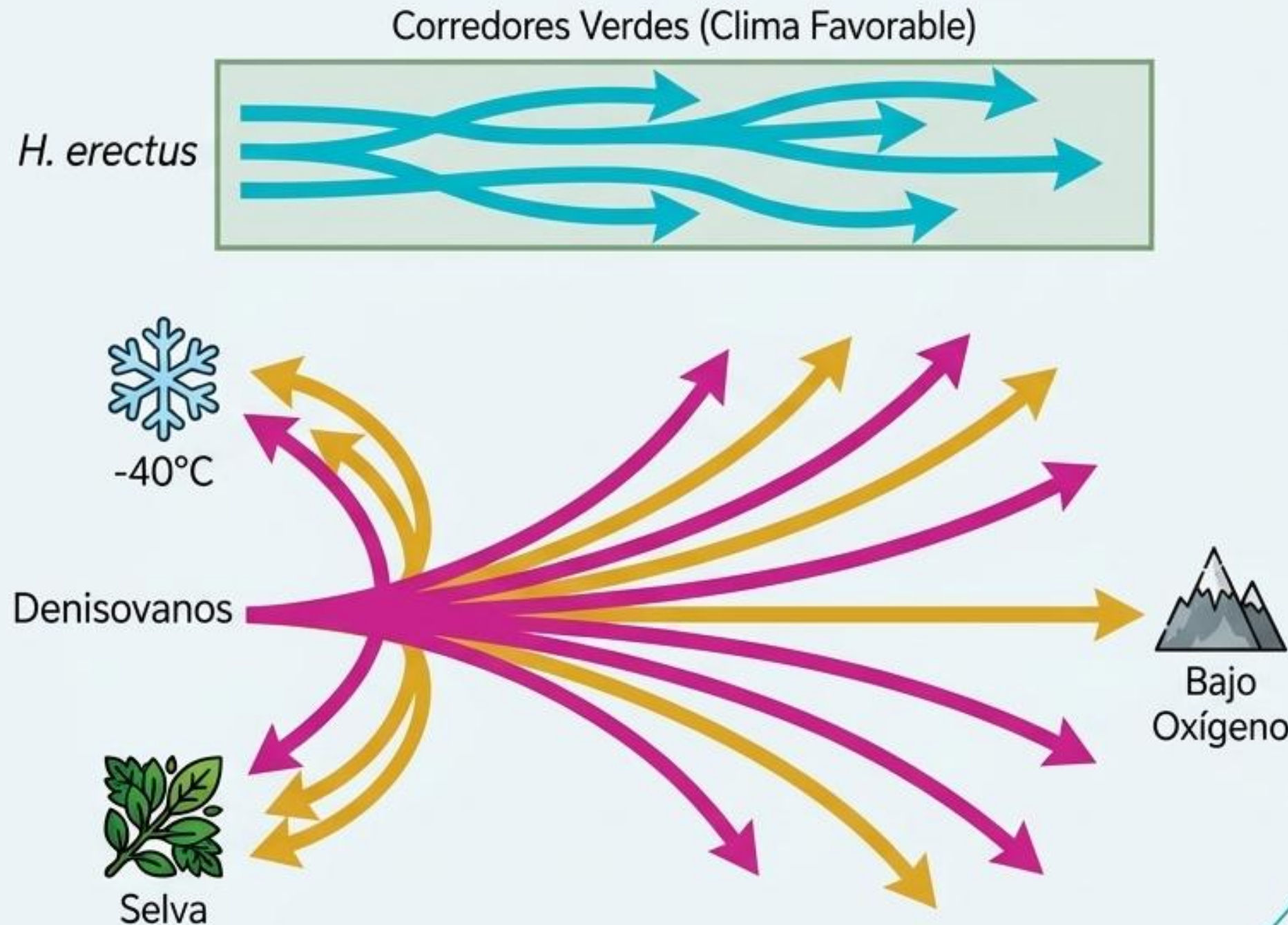


El Evento: Análisis proteómico (*Nature*, 2026) demostró hibridación directa en China hace 400.000 años entre *H. erectus* y Denisovanos.

La Prueba: La variante 273 de la proteína del esmalte AMBN saltó de erectus a denisovanos, y de ellos, a las poblaciones modernas oceánicas.

Por qué importa: Es el cruce entre las poblaciones humanas más divergentes jamás documentado. *H. erectus* nunca fue un callejón sin salida.

El Embudo de la Flexibilidad Ecológica



Ramificación A (Erectus):

Hiperespecializados. Migraban solo a través de **corredores verdes** durante períodos climáticos favorables.

Denisovanos y Sapiens:

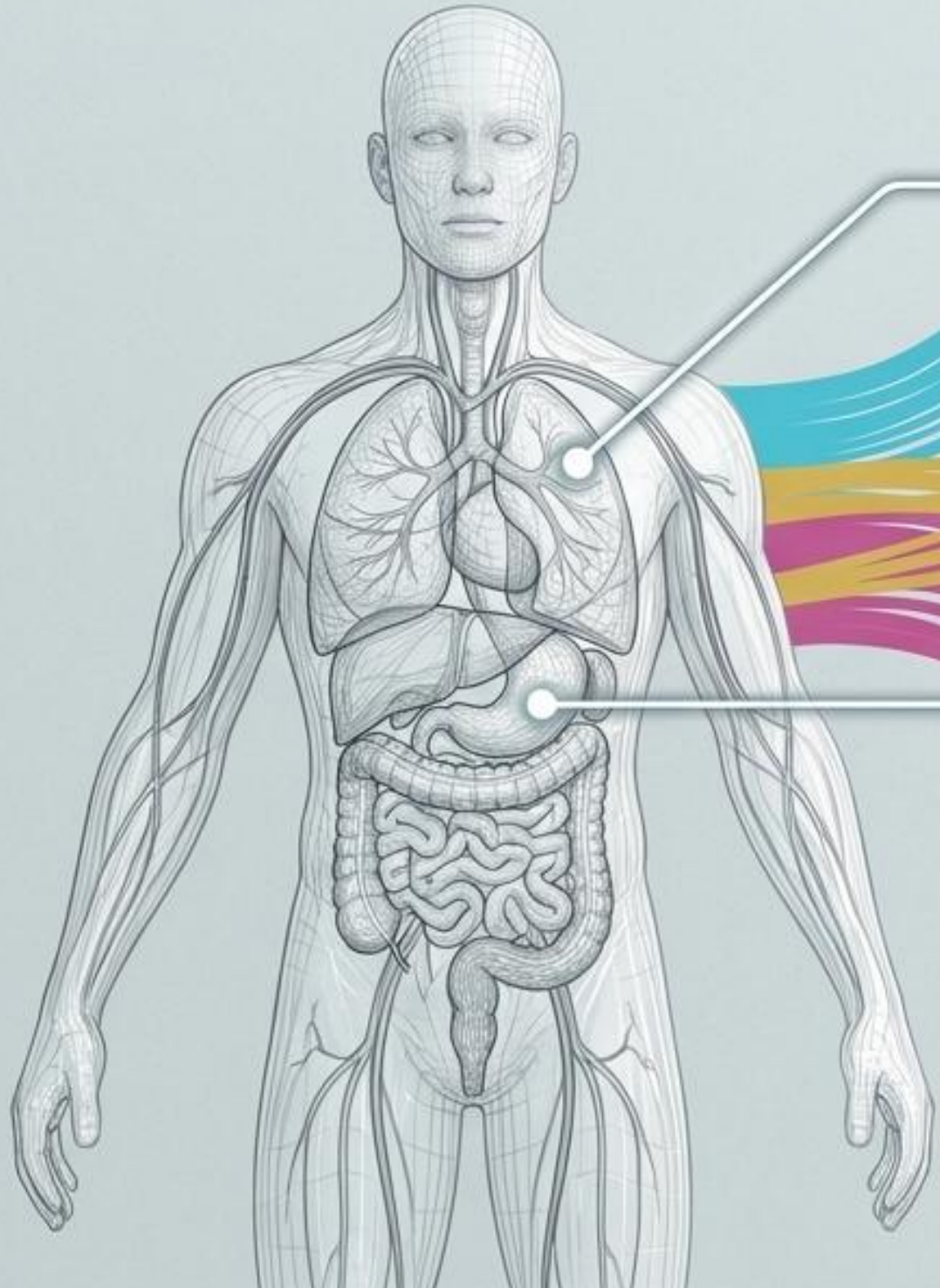
Exhibieron una plasticidad sin precedentes, colonizando cuevas siberianas a -40°C , mesetas tibetanas y selvas tropicales.

El Legado: Al mestizarse, los denisovanos transfirieron a sapiens "**llaves maestras**" genéticas probadas en los entornos más extremos del planeta.

Matriz Diagnóstica de Linajes Homininos (Modelo 2026)

Entidad	Especie Fósil	Destino Final	Especialización	Aporte Genético Actual
Corriente Principal A	<i>H. erectus</i> (África)	Fusión / Absorción	Flexible	~20%
Corriente Principal B	<i>H. heidelbergensis</i>	Evoluciona a Sapiens	Altamente Flexible	~79%
Ramificación A	<i>H. erectus</i> (Asia) / "Pink"	Introgresión leve	Corredores locales	Décimas de %
Ramificación B (Neandertal)	<i>H. neanderthalensis</i>	Asimilación	Ambientes fríos	1-3%
Ramificación B (Denisovano)	<i>H. longi</i> / <i>H. juluensis</i>	Asimilación	Extrema	0-5%

Superpoderes Anatómicos: El Legado Introgresado



Altitud y Sangre (Tíbet): Gen EPAS1

Un haplotipo introgresado de los denisovanos que regula la respuesta a la hipoxia, permitiendo a las poblaciones tibetanas evitar la policitemia a grandes altitudes.

Sistema Inmunitario (Conquista de América): Gen MUC19 y Receptores TLR

Adquiridos de los denisovanos, proporcionan escudos contra patógenos desconocidos. Fue clave biológica para cruzar el estrecho de Bering.

**El ADN arcaico no es ruido residual;
es tecnología biológica adaptativa.**

El Delta Cultural

La cultura también fluyó entre neandertales, denisovanos y sapiens.



TECNOLOGÍA LÍTICA

Talla Levallois, uso del ocre y herramientas compuestas compartidas. La convergencia técnica pudo ser transmisión directa o solución independiente ante problemas idénticos.



ARTE Y SIMBOLISMO

Grabados en Gorham (debatidos), marcas de dedos de 57.000 años, pulsera de clorita denisovana. La menor frecuencia neandertal fue demográfica, no cognitiva.



CUIDADO SOCIAL

Shanidar 1: amputado, cojo y parcialmente ciego, sobrevivió hasta la vejez con apoyo del grupo. Aubesier 11 extiende la práctica a 150.000 años atrás.



PRÁCTICAS FUNERARIAS

Tinshemet (Israel): neandertales y sapiens enterraban en la misma cueva, misma posición, con los mismos ajuares. Los rituales compartidos surgieron del contacto.

La transmisión cultural entre especies extintas es siempre una inferencia probabilística, no una certeza.

El flujo fue bidireccional

No hubo un profesor y un alumno, sino una red de poblaciones que se influyeron mutuamente.

Neandertales / Denisovanos



Homo sapiens



**Convergencia
cultural**



Matrimonios mixtos

Denny y otros híbridos fueron puentes biculturales vivientes, transmitiendo conocimientos entre comunidades.



200.000 años de observación

El algoritmo IBDmix (Princeton, 2025) estableció que el contacto sapiens-neandertal fue largo, intermitente y constante.

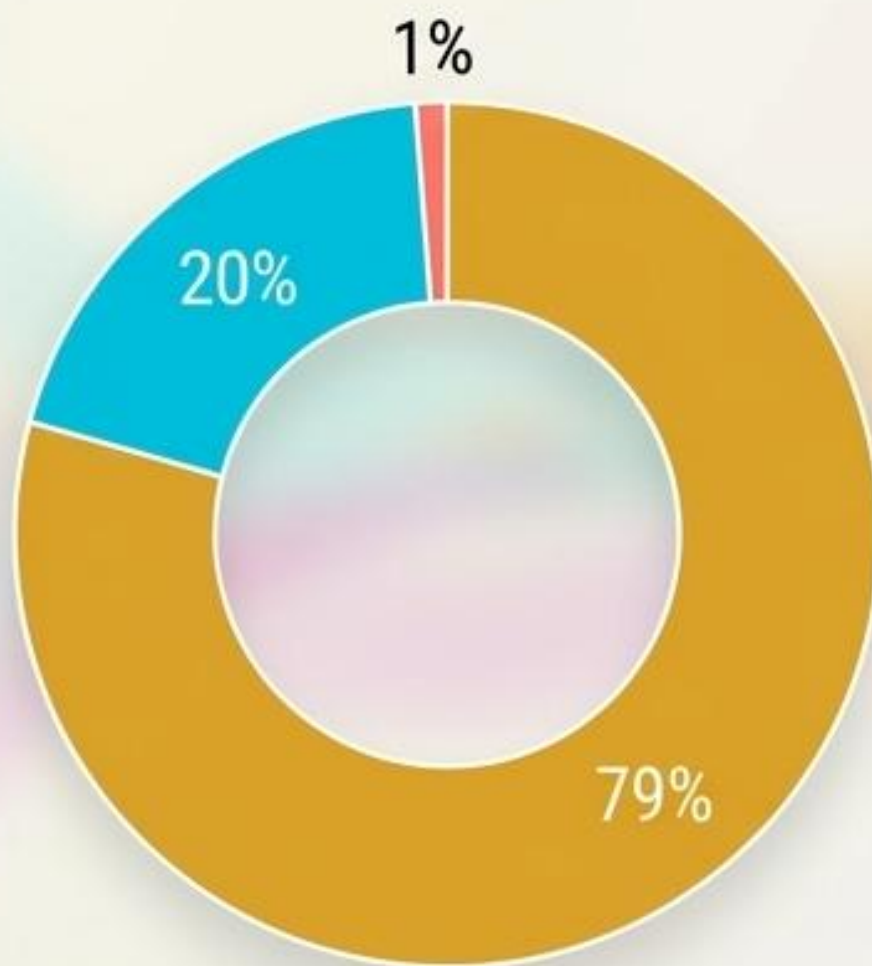


Herencia dual: gen + cultura

El contacto facilitaba el mestizaje, y el mestizaje profundizaba el contacto cultural. Procesos interdependientes y autorreforzantes.

Somos el resultado de cada corriente cultural, tanto como de cada gen.

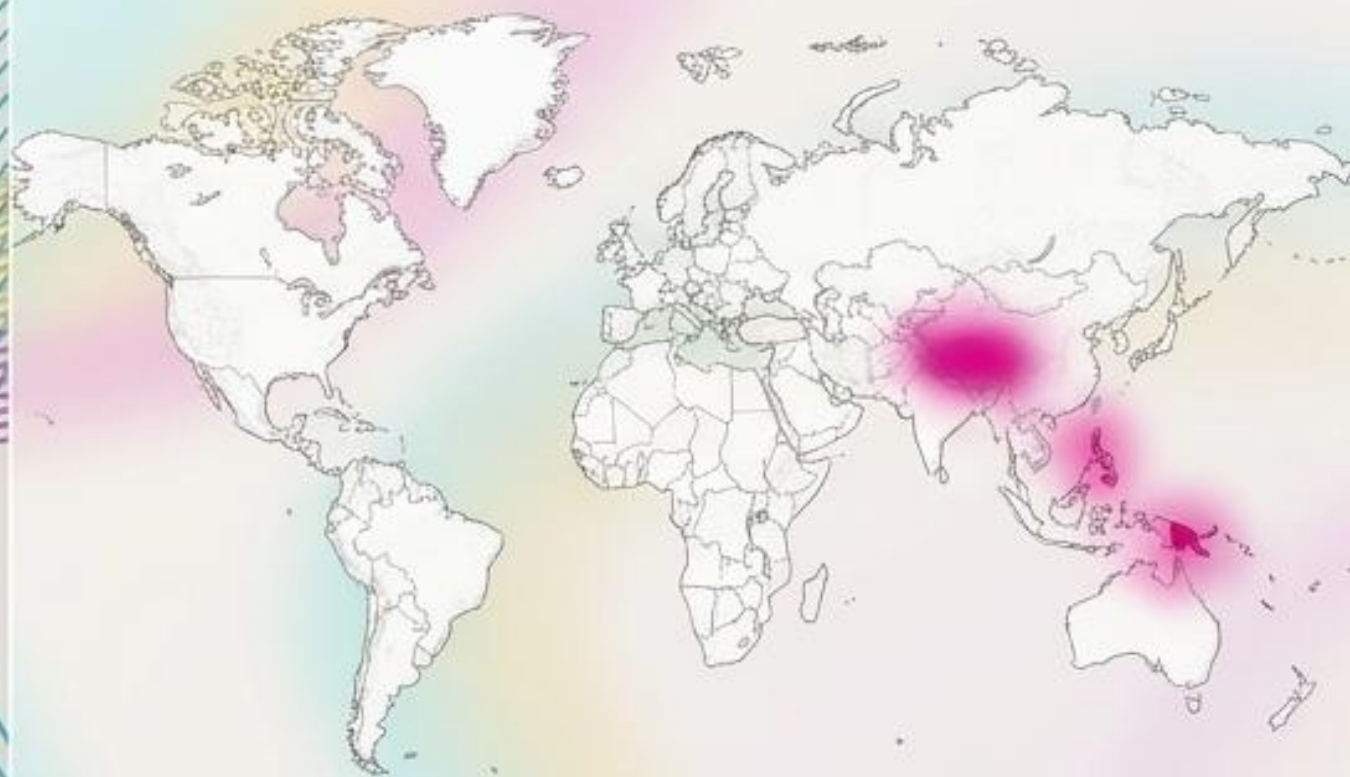
Somos el Delta: El Mosaico Genético Actual



El Desglose Base:

El genoma del Homo sapiens contemporáneo es un ecosistema vivo de líneas temporales superpuestas:

- **79%** Corriente Principal B (Nuestra base directa)
- **20%** Corriente Principal A (Remanentes arcaicos fantasma)
- **1-5%** Ramificaciones Eurasiáticas (Denisovanos y Neandertales)



Los Picos de Supervivencia: Los papuanos y aborígenes australianos (2-5%), y los filipinos aeta ostentan la mayor proporción mundial de herencia denisovana.

El Espejo Roto de la Evolución

En solo 15 años, los denisovanos pasaron de ser un fragmento de hueso anónimo a los arquitectos biológicos de nuestra supervivencia global. Ellos demuestran que en la naturaleza no existen líneas puras.

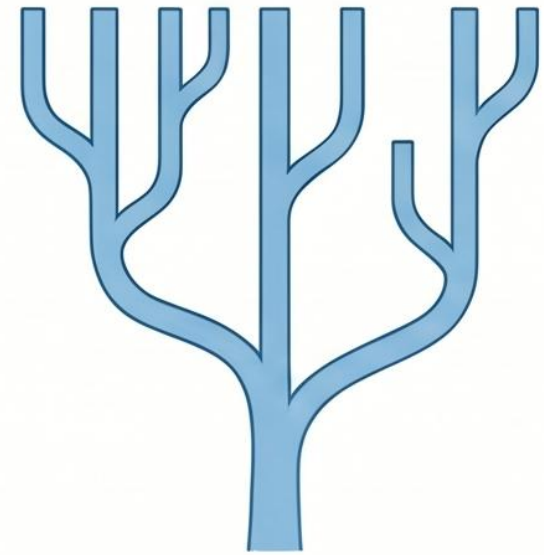
La historia de la humanidad no es una de superioridad aislada que conquistó el mundo, sino la de una red interconectada. Nuestra supervivencia dependió de nuestra capacidad para asimilar la diversidad de quienes nos precedieron. Somos el resultado de cada corriente.

EL DELTA DE LA EVOLUCIÓN HUMANA: GLOSARIO DE ANTROPOLOGÍA MOLECULAR

Explicando el cambio de paradigma de la evolución lineal a una red de flujo genético a través de términos técnicos clave.

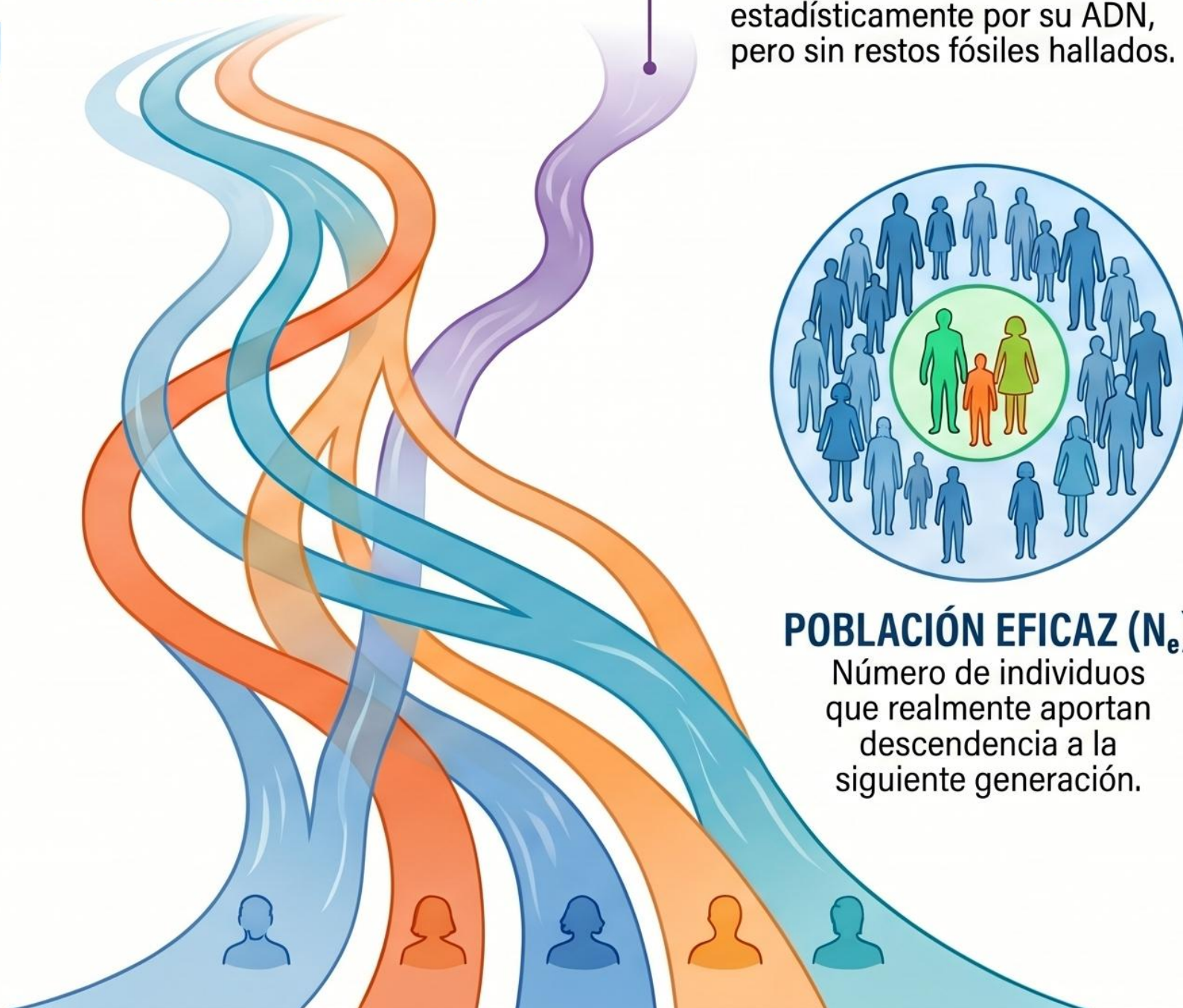
MODELOS Y CONCEPTOS POBLACIONALES

MODELO DE ÁRBOL RAMIFICADO (LINEAL)



Modelo tradicional que representa la evolución como una serie de ramificaciones divergentes y aisladas.

DELTA EVOLUTIVO (RED DE CORRIENTES)



LINAJE FANTASMA

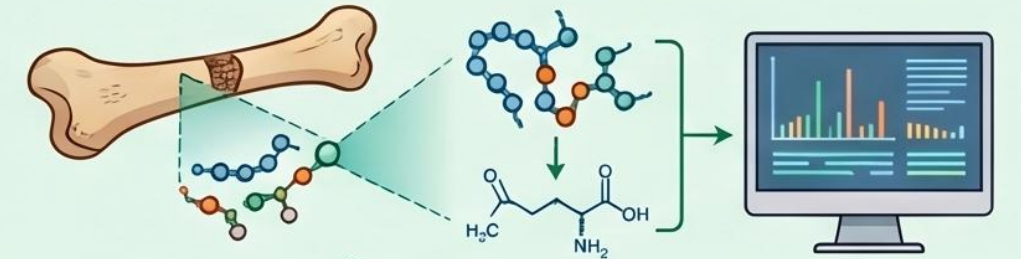
Poblaciones extintas demostradas estadísticamente por su ADN, pero sin restos fósiles hallados.



POBLACIÓN EFICAZ (N_e)

Número de individuos que realmente aportan descendencia a la siguiente generación.

REVOLUCIONES TÉCNICAS Y LEGADO



PALEOPROTEÓMICA

Análisis de proteínas óseas para identificar especies cuando el ADN se ha destruido.



FENOTIPADO GENÉTICO

Reconstrucción de la apariencia física de especies extintas usando solo datos bioinformáticos.



LEGADO DEL GEN EPAS1

Gen denisovano que permite a los tibetanos modernos sobrevivir en altitudes extremas.

Guía Bibliográfica: El Auge de la Investigación Denísovana

IDENTIFICACIÓN Y GENÉTICA DE RESTOS ANCESTRALES



El Cráneo de Harbin
(>146,000 años)

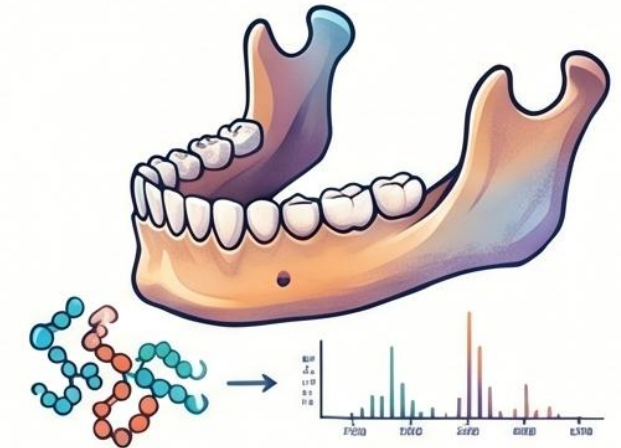


Análisis de ADN mitocondrial y proteoma confirman su identidad denísovana (Fu et al., 2025).



Genoma de Alta Cobertura
de 200,000 años

Peyrégne et al. (2025) presentan uno de los genomas denisovanos más antiguos y completos.



Proteómica en la Mandíbula
de Penghu 1

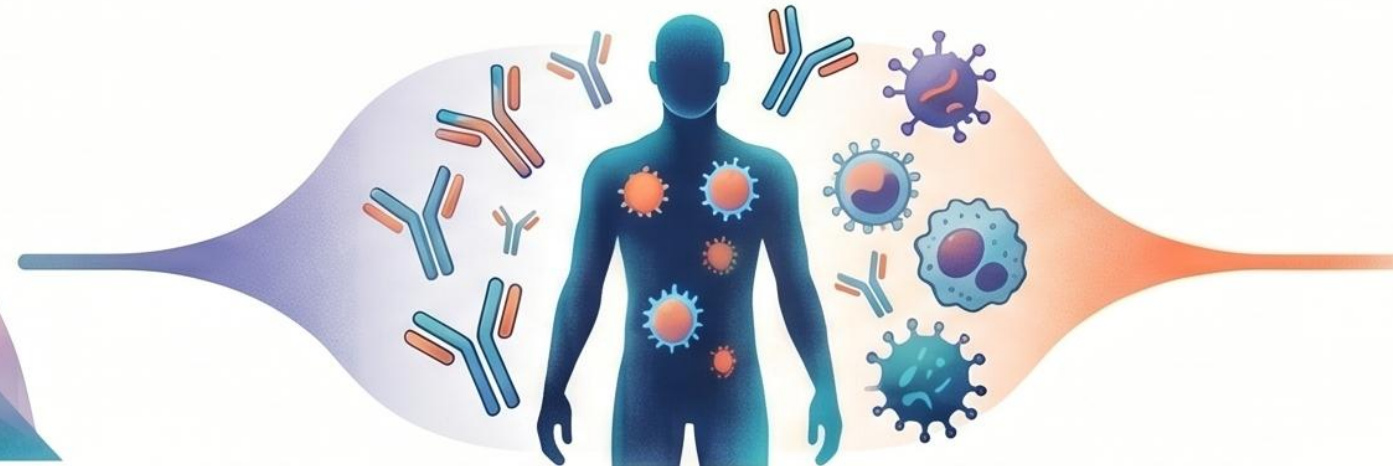
Identificación de restos fósiles mediante proteínas antiguas cuando el ADN está degradado (Tsutaya et al., 2025).

IMPACTO EVOLUTIVO EN EL HUMANO MODERNO



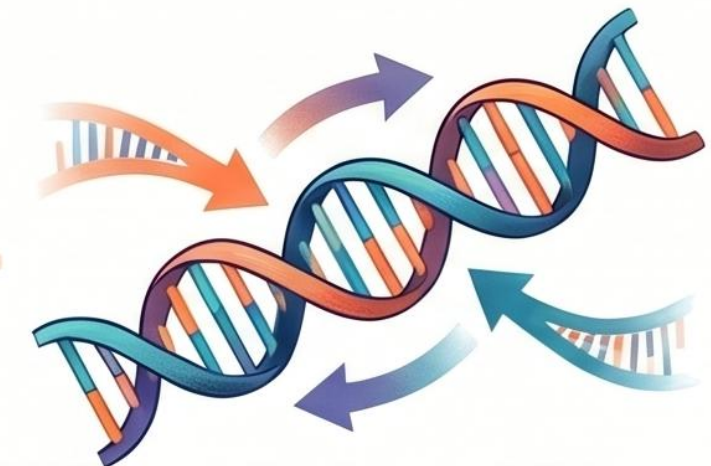
Adaptación a la Altitud en el Tíbet

La herencia denísovana permitió a los tibetanos sobrevivir en condiciones de bajo oxígeno (Huerta-Sánchez, 2014).



Configuración del Sistema Inmune

La introgresión denísovana moldeó la respuesta inmunológica en poblaciones actuales de Papúa (Dannemann et al., 2022).



Evolución del Gen MUC19

Historia evolutiva marcada por la selección natural y la introgresión recurrente (U. of Colorado, 2025).

Del árbol al delta: comprender el cambio de paradigma

Objetivo: que el alumnado verbalice con sus propias palabras la diferencia entre los dos modelos evolutivos.

TAREA

Construye tu propia metáfora

En grupos de 3-4 personas, durante 15 minutos:

1. Inventad una metáfora alternativa al "delta fluvial" que explique la evolución humana reticulada (ej.: una red de carreteras, un tejido de hilos, un sistema de ríos subterráneos...).
2. Identificad qué aspectos del modelo del árbol clásico vuestra metáfora deja fuera o representa peor.
3. Compartid en clase: ¿qué metáfora consigue capturar mejor la realidad genética actual?

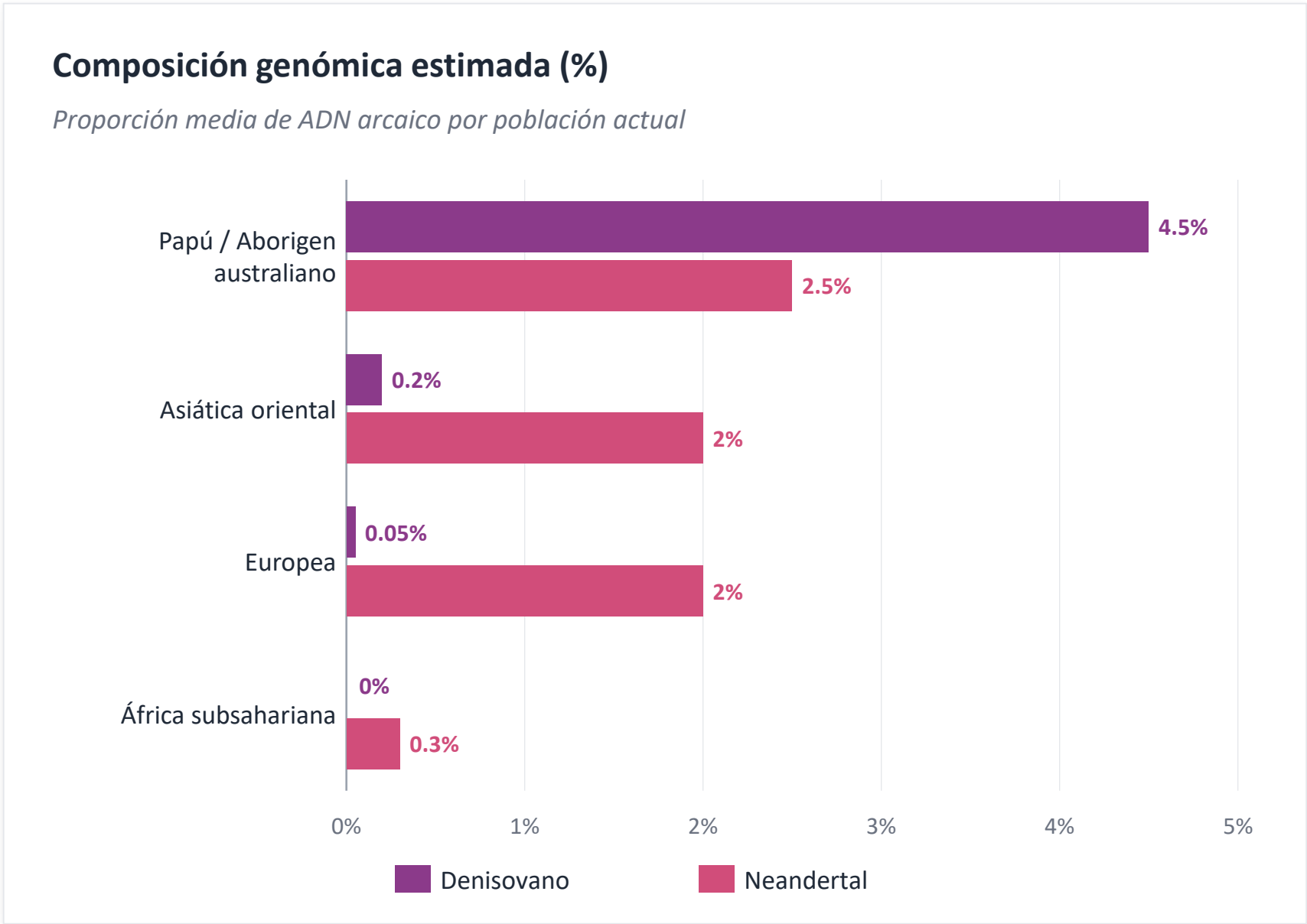
CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Qué observar y valorar

- ✓ Distinguen linaje vertical (*herencia*) de flujo horizontal (*mestizaje*)
- ✓ Comprenden que "especie" no implica *aislamientoreproductivo absoluto*
- ✓ Detectan que la metáfora del árbol *no permite representar la reabsorción ni la introgresión*
- ✓ Identifican la diferencia entre *extinción biológica y asimilación genética*
- ✓ Argumentan con ejemplos concretos (*Denny, EPAS1, Harbin...*)

¿De dónde vienen nuestros genes? Lectura de datos genómicos

Objetivo: ejercitar la lectura crítica de gráficos y conectar la composición genómica con la historia poblacional.



PREGUNTAS GUÍA

Interpreta el gráfico

- 1 ¿Por qué la población papú/aborígen australiana tiene proporciones tan superiores de ADN denisovano frente a otras poblaciones euroasiáticas?
- 2 ¿Qué hipótesis migratoria propondrías para explicar la diferencia entre asiáticos orientales y europeos?
- 3 ¿Por qué las poblaciones africanas subsaharianas presentan los valores más bajos? ¿Significa eso que son "más puras"?
- 4 Cita un caso concreto de **ventaja adaptativa** que la introgresión denisovana aportó a poblaciones modernas.

¿Existen las "razas humanas puras"? Debate y ciencia

Objetivo: conectar la paleogenómica con cuestiones contemporáneas de identidad, biología y pensamiento crítico.

PREGUNTA DE PARTIDA

Si todos llevamos genes de al menos dos o tres especies humanas distintas, ¿tiene aún sentido hablar de "linajes puros" o "razas" en nuestra especie?

1 **Lectura previa**
15 min · individual

Cada estudiante lee dos textos breves: un fragmento histórico sobre el concepto de "raza" y un resumen actual sobre composición genómica (diapositivas 6 y 18 de la presentación). Subraya tres ideas que le sorprendan.

2 **Debate estructurado**
25 min · gran grupo

División en dos equipos: A) la diversidad genética justifica clasificaciones biológicas; B) la mezcla continua hace inviables esas categorías. Cada equipo defiende su postura con datos de la presentación. El profesorado modera.

3 **Síntesis escrita**
Tarea para casa

Cada alumno/a redacta un texto de 250 palabras respondiendo: "¿Qué dice la paleogenómica sobre la identidad biológica humana?". Se valora el uso de terminología precisa y la distinción entre hechos y juicios de valor.