

# Las ciencias genómicas y mi taza de café

DAVID ROMERO CAMARENA

El Dr. David Romero es investigador del Centro de Ciencias Genómicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Cuernavaca, Morelos. Su área de especialidad es la genómica bacteriana, con énfasis en mecanismos de cambio en genomas. Es miembro y expresidente de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

*Tan pronto como el café llega a mi estómago, sobreviene una conmoción general. Las ideas empiezan a moverse, las sonrisas emergen y el papel se llena. El café es mi aliado y escribir deja de ser una lucha.*  
 Honoré de Balzac (1799-1850)

## Una aromática compañía

Para muchas personas, el café es la primera bebida de la mañana y al menos en mi caso, también la última antes de irme a dormir. Aromático, sabroso al paladar, estimulante que evita el sueño y activa la imaginación. Amigo del estudiante y el escritor (sí, estoy tomando una taza ahora), compañía que nos sostiene tanto en momentos dulces como en amargos, fondo de agradables charlas, testigo de nuestros primeros acercamientos románticos, el café es sin duda una parte importante de nuestra cultura (Fig. 1). Parafraseando al gran poeta Jaime Sabines, para los condenados a muerte y para los condenados a vida no hay mejor estimulante que...el café. En las páginas de ediciones pasadas de esta sección, hemos hablado de diferentes aspectos sobre el café, desde sus efectos psicológicos y fisiológicos (1), pasando por la física en una taza (2) y los compuestos químicos que contiene (3). No hemos, sin embargo, tocado los aspectos genéticos y genómicos del café,



Figura 2. *Coffea arabica*. Imagen tomada de <https://static.inaturalist.org/photos/53441600/large.jpg>

que proveen explicaciones acerca de su origen y diversidad. Hagamos eso ahora. Sírvanse una taza de café, caliente o frío, con leche y azúcar o sin ellas, *espresso*, americano o moka para que lo bebamos juntos indagando sobre su origen y genética.

## ¿Cuántas especies de café hay?

Las plantas de cafeto pertenecen al género *Coffea*, un género que contiene 126 especies diferentes. Este género se originó en África central, al igual que la especie humana. A pesar del gran número de especies que hay, solo dos de ellas se emplean para producir café: *Coffea arabica* (Fig. 2) y *Coffea canephora*. *C. arabica* (comúnmente conocido como café arábigo) constituye poco más del 75% de la producción mundial (4). El café que se produce con él es fino y aromático, con un contenido moderado de cafeína. El resto de la producción mundial proviene de *C. canephora* (también llamado café robusta) que produce una bebida fuerte, amarga y más rica en cafeína, por lo que para suavizarlo es frecuentemente mezclado con café arábigo (4). La preferencia por estas dos especies para producción de café parece que fue guiada tanto por la facilidad relativa de cultivo como por la preferencia de los consumidores.

Aunque existen varias leyendas acerca de cómo se inició su consumo como bebida, lo cierto es que para el siglo XV ya se bebía en la región de Etiopía, alcanzando en el siglo XVI a muchos países árabes, incluyendo Egipto y Turquía. De

allí, entre los siglos XVI y XVII alcanza Europa y comienza una distribución mundial de su cultivo y uso. La dispersión de los cafetos fue básicamente de sólo las dos especies mencionadas (*C. arabica* y *C. canephora*). En cada región de cultivo, los agricultores fueron reproduciendo selectivamente *variantes genéticas* (que se generan gracias a las *mutaciones*), que se adaptaban mejor a las condiciones locales o con propiedades más agradables para la población local. A la variante de *C. arabica* generada en América se le conoce como café Bourbon, mientras que la generada en Asia se le llama café Typica. A partir de estas dos variedades principales se generaron otras espontáneamente, por mutación o por cruzamiento entre variedades. En la Fig. 3 se muestran las principales variedades (cultivares) de café que se cultivan y consumen actualmente en el mundo.

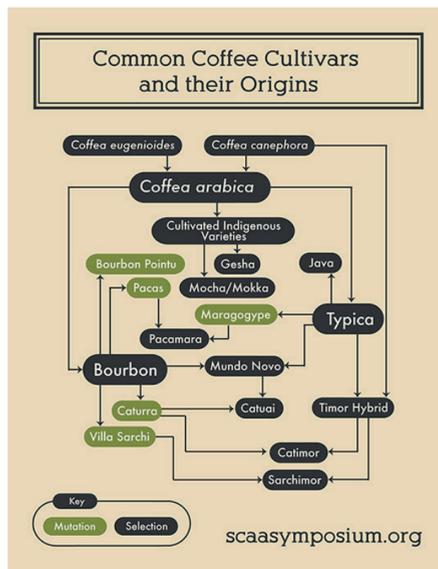


Figura 3. Principales cultivares de café. Imagen tomada de <https://sca.coffee/research/botany>

## Dos incidentes afortunados en la generación de *C. arabica*

La importancia cultural y comercial del cultivo de café ha motivado una gran cantidad de investigaciones, que se han extendido a los aspectos genómicos. Comparado a otras especies de *Coffea*, *C. arabica*, la especie más ampliamente cultivada, muestra dos características únicas. Mientras que todas las especies de *Coffea* se reproducen únicamente por cruza entre individuos diferentes de la misma especie, *C. arabica* es la única especie que se reproduce por *autofertilización*, esto es, una planta es capaz de fertilizarse a sí misma y producir nuevos individuos. La otra característica de interés es con respecto al tamaño de su genoma, el cual es más grande que el de

las otras especies. Esto pudo detectarse al visualizar los  *cromosomas*, que son las estructuras microscópicas donde se almacena el material genético de una especie. Todas las especies de *Coffea* poseen 11 tipos diferentes de cromosomas, arreglados por pares, por lo que contienen 22 cromosomas en total. Dado que hay dos copias de cada tipo de cromosoma, se dice que son plantas *diploides*. *C. arabica* tiene un genoma más grande, constituido por 22 pares de cromosomas, para un total de 44 cromosomas. Sin embargo, estos 44 cromosomas son en realidad, copias de los 11 diferentes cromosomas que se pueden observar en las otras especies. Por lo tanto, es dos veces más grande que el genoma de las otras especies, por lo que se dice que es un *tetraploide*. Pero ¿cómo pudo ocurrir esto?

La visualización del contenido cromosómico (el *cariotipo*) de las especies de *Coffea* empezó a establecerse desde 1938, y para 1960 ya se conocía el de un número grande de especies, respaldando lo dicho en el párrafo anterior. Para explicar cómo se generó *C. arabica*, se planteó la posibilidad de dos incidentes afortunados, ocurridos de forma sucesiva. El primer incidente afortunado fue la cruza entre dos especies diferentes de *Coffea*, formando un híbrido por *cruza interespecífica*. Un ejemplo muy conocido de híbrido es la mula (cruza de una yegua con un burro). Las mulas son más altas que los burros, pero más pequeñas que los caballos lo cual ofrece ciertas ventajas. A pesar de que muchos híbridos no pueden generar descendencia, en el caso de las plantas es posible tener híbridos fértiles.

En el caso del café *C. arabica*, se infiere basado en la semejanza entre cromosomas, que se formó un híbrido entre las especies *Coffea eugenioides* y *Coffea canephora* (Fig. 4). En general en biología estos eventos son poco frecuentes, pero pueden ocurrir. Una cruza entre

individuos de especies diferentes si bien combina las características de los participantes, tiene algunos inconvenientes. El primero de ellos es que es imposible predecir si la combinación será benéfica o dañina para el organismo resultante. El segundo inconveniente es que los organismos híbridos, de producirse, suelen ser estériles como ya se mencionó en el ejemplo de la mula. Esto se debe a que, al heredar solo un cromosoma de cada tipo, proveniente de las especies que se cruzan, cada tipo de cromosoma carecería de su pareja, lo que hace imposible una separación adecuada de cromosomas a las células hijas. Desde luego, si se generara un híbrido *C. eugenioides* X *C. canephora* y no pasara nada más, el individuo resultante no podría producir semillas, una catástrofe dado que la parte de interés de la planta de café es justamente la semilla.

Aquí es donde se plantea el segundo incidente afortunado, que puede ocurrir en las plantas, pero no en los animales. Algunas de las células en el híbrido pueden duplicar espontáneamente su contenido genético, un proceso conocido como *poliploidización*. Al producirse esta duplicación, cada cromosoma tendría nuevamente una pareja, haciendo posible el recuperar la fertilidad y producir semillas. Como puede verse en la Fig. 4c, *C. arabica* contiene 22 pares de cromosomas, no 11 como las especies originales (Figs. 4a y 4b). La mitad de estos cromosomas son semejantes a los de *C. eugenioides*, mientras que la otra mitad es similar a *C. canephora*.

La hipótesis, aunque sorprendente, es razonable. *C. arabica* se formó espontáneamente por una *cruza interespecífica* *C. eugenioides* X *C. canephora* (la letra X se utiliza para denotar cruza en genética) seguida por *poliploidización*. Cabe mencionar que la hipótesis está basada en

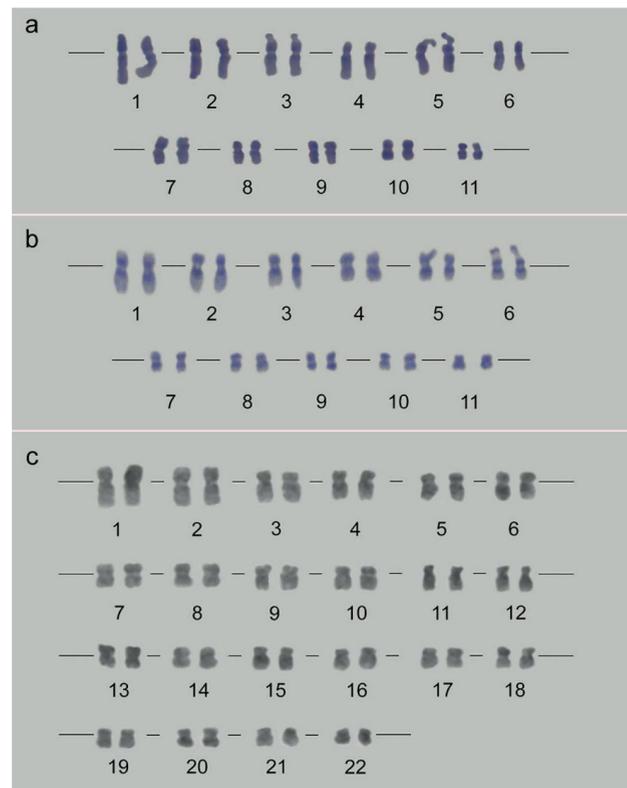


Figura 4. Cariotipos de (a) *C. eugenioides*, (b) *C. canephora* y (c) *C. arabica*. Imagen tomada de la referencia 5.

la semejanza en estructura de los cromosomas y el tamaño de los genomas. Desde luego, es difícil apreciar semejanza en estructura basándose solamente en imágenes de microscopía. Sería mejor contar con información más incontrovertible, como sería la secuencia genómica completa de estas tres especies, algo que requiere la participación de las ciencias genómicas.

## Las ciencias genómicas al rescate

Obtener las secuencias genómicas completas de las especies participantes en la formación de *C. arabica* era una tarea que muy difícil hasta hace pocos años. Sin embargo, en 2020 se publicó un artículo (6) conteniendo secuencias genómicas parciales de *C. eugenioides*, *C. canephora* y *C. arabica*, el cual fue seguido por otro, en 2024 (7) con secuencias genómicas prácticamente completas de las tres especies. La información contenida en los dos trabajos confirma que efectivamente ocurrieron los dos incidentes afortunados que aquí hemos descrito.

El tamaño del genoma de *C. arabica* (1,281 millones de pares de bases) es prácticamente la suma de los genomas de *C. eugenioides* (682 millones de pares de bases) y *C. canephora* (705 millones de pares de bases) apoyando la idea de poliploidización. Al comparar la secuencia genómica de *C. arabica* con las secuencias genómicas de las otras dos especies, se confirmó que la mitad de las secuencias de *C. arabica* eran similares a las de *C. eugenioides*, mientras que la otra mitad era similar a las de *C. canephora*, reforzando la idea de una *cruza interespecífica* entre estas dos especies. El análisis de estas secuencias permitió también fechar cuándo habían ocurrido estos dos incidentes afortunados, estableciendo que habían ocurrido en un intervalo de hace 350 mil a 610 mil años. Es decir, que los eventos que resultaron afortunados, estableciendo que habían ocurrido en un intervalo de hace 350 mil a 610 mil años. Es decir, que los eventos que resultaron afortunados, estableciendo que habían ocurrido en un intervalo de hace 350 mil a 610 mil años.

Por otro lado, la comparación entre genomas de diferentes orígenes de *C. arabica*, reveló algo que ya se sospechaba: existen muy pocas diferencias entre estos genomas, lo cual es consistente con el hecho de que los dos incidentes afortunados fueron únicos en la evolución de la especie, seguido por una dispersión muy rápida a nivel mundial. Con respecto a esto, sabemos que la dispersión ocurrió en poco más de 600 años. Esta baja diversidad genética tiene consecuencias importantes para la estabilidad de la especie.

La hipótesis, aunque sorprendente, es razonable. *C. arabica* se formó espontáneamente por una *cruza interespecífica* *C. eugenioides* X *C. canephora* (la letra X se utiliza para denotar cruza en genética) seguida por *poliploidización*. Cabe mencionar que la hipótesis está basada en

## La baja diversidad genética de *C. arabica* la pone en riesgo

Aunque no siempre es evidente, habitamos un planeta en constante cambio. El cambio climático es una realidad, la contaminación y alteración de ecosistemas también y la aparición de nuevas enfermedades es un hecho conocido. En un mundo así, la baja diversidad genética *C. arabica* es una desventaja. Si todos los individuos de una especie son muy similares, bastaría la aparición de una enfermedad a la que la especie sea susceptible para que esta se propagara, amenazando la supervivencia de la especie. La roya del café, una enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, es un ejemplo de ello. Entre 1871 y 1878 la roya del café afectó las plantaciones de café en Sri Lanka, destruyendo cuatro quintas partes de la superficie cultivada y haciendo poco rentable la producción de café en el resto. Una de las consecuencias culturales de esto fue la escasez y encarecimiento del café en Gran Bretaña, que dependía de la producción en Sri Lanka para su consumo. Esto provocó el cambio hacia consumo del té en Gran Bretaña.

La roya del café se ha extendido a todo el mundo, y los cultivares derivados de *C. arabica* son particularmente susceptibles. En 2012 hubo una epidemia de la roya del café, que afectó Latinoamérica, incluyendo México. El cultivo estaría inerte, sin la existencia de una amplia

diversidad genética. Afortunadamente, la naturaleza también actúa a pesar de esto. En 1927 se descubrió una variedad en Timor Oriental, resistente a la roya del café. Esta variedad surgió espontáneamente, producto de una *cruza interespecífica* entre *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, seguido por *poliploidización* (8). El híbrido resultante (Híbrido de Timor, mencionado en la Fig. 3) es resistente a esta enfermedad, y ya se han producido nuevas variedades a partir de él.

La lección de esto es importante. De acuerdo con datos de SENASICA, a nivel nacional se siembran aproximadamente 712,015 hectáreas con café en México, produciendo 0.86 millones de toneladas de café cereza (9). La baja diversidad del cultivo es una amenaza y si bien pueden ocurrir eventos espontáneos, no podemos depender solo de esto. Se requieren programas de mejoramiento de este cultivo, que deberán echar mano de la diversidad genética existente en las otras especies del género *Coffea*. Aunque en este momento esas otras especies carecen de importancia comercial, su conservación y uso en programas de mejoramiento ayudarán a mantener a la especie que provee nuestra bebida favorita, ya que en dichas especies radica una diversidad genética inexplorada que podría emplearse en el mejoramiento. ¿Otro cafecito?

## Referencias

- 1) López Munguía Canales, Agustín. ¿Y tú por qué tomas café? La Unión de Morelos, 11 de agosto de 2014. <https://acmor.org/articulos-antteriores/y-t-por-qu-tomas-caf>
- 2) Cuevas García, Sergio. ¿Hay ciencia en una taza de café? La Unión de Morelos, 6 de junio de 2016. <https://acmor.org/articulos-antteriores/hay-ciencia-en-una-taza-de-caf>
- 3) Rodríguez Alonso, Gustavo. Café, ciencia, y otras aromáticas historias. La Unión de Morelos, 28 de agosto de 2017. <https://acmor.org/articulos-antteriores/caf-ciencia-y-otras-aromaticas-historias>
- 4) Café <https://es.wikipedia.org/wiki/Caf%C3%A9>
- 5) Sattler, M. C. Cytogenomics in Coffea L. Tesis Doctoral Universidad Federal de Vicosa, 2021. Disponible en <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/28763/1/texto%20completo.pdf>
- 6) Scalabrín, S., Toniutti, L., Gaspero, G. D., Scaglione, D., Magris, G., Vidotto, M., et al. (2020). A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of *Coffea arabica* is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. *Sci. Rep.* 10, 4642. doi: 10.1038/s41598-020-61216-7
- 7) Salojärvi, J., Rambani, A., Yu, Z., Guyot, R., Strickler, S., Lepelle, M., et al. (2024). The genome and population genomics of allopolyploid *Coffea arabica* reveal the diversification history of modern coffee cultivars. *Nat. Genet.* 56, 721–731. doi: 10.1038/s41588-024-01695-w
- 8) Barrera, J. F., Huerta, G. y Holguín, F. (2023). Milagro en Timor Oriental. La historia de un café en la lucha contra la roya. *Ecofronteras*, 27(77): 2-7. Disponible en <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/2077/2195>
- 9) Plagas del café. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-del-cafeto?state=published>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.



Figura 1. El café y su genética. Imagen tomada de <https://geneticliteracyproject.org/2017/05/16/coffee-buzz-genes-determine-much-cafaine-can-hurt/>

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org](http://www.acmor.org)  
 ¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: [coord.comite.editorial.acmor@gmail.com](mailto:coord.comite.editorial.acmor@gmail.com)

