



Ysbelia Sánchez

5

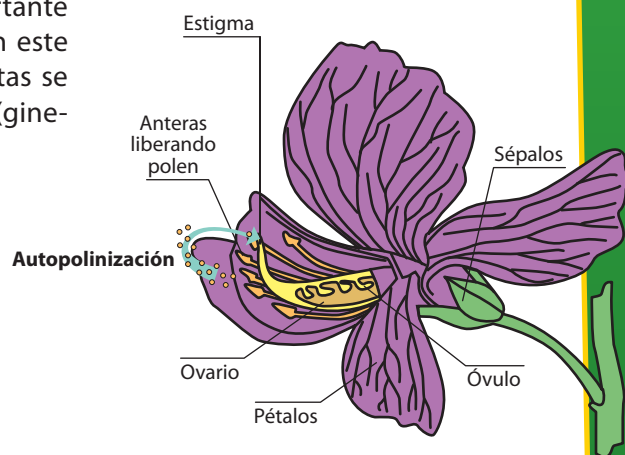
«De tal palo tal astilla»

Solo aquellos que se toman tiempo para observar y meditar pueden ver más allá de lo que está ante sus ojos, incluso de lo que parece repetido y cotidiano. ¿Cuántas veces no hemos escuchado la frase «caminas igualito que tu papá», o la frase «los ojos de este niño son de su madre y el cabello igualito a su tía»? Estos comentarios tan cotidianos, fueron un gran reto en su momento para Gregor Mendel (1822-1884), monje muy observador y meticulado, cuyos experimentos con plantas muy comunes en nuestra alimentación como las arvejas o guisantes, le sirvieron para dar uno de los aportes más importantes en las ciencias biológicas: los *principios de la herencia*, hoy conocidos como *Leyes de Mendel*. Mendel observó que en las plantas, al igual que en los seres humanos, hay características heredadas, es decir, transmitidas de padres a hijos. La herencia se encarga de estudiar estas características, por ejemplo, nosotros heredamos el color de ojos, de cabello o de piel de nuestros padres o familiares.

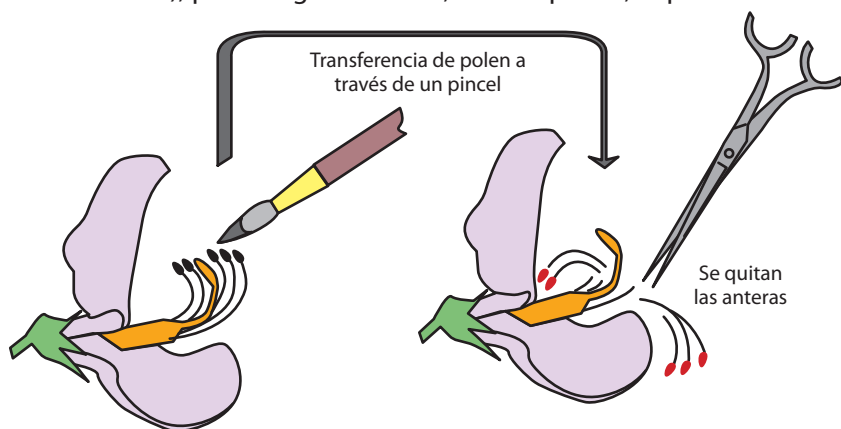
Según Mendel cada característica hereditaria está bajo el control de dos factores separados, uno de cada padre. Estos factores hereditarios (factores mendelianos) son hoy día conocidos como genes, valga decir, segmentos de ADN (ácido desoxirribonucleico) que funcionan como una unidad de herencia.

Antes de adentrarnos en los experimentos de Mendel, es importante destacar que los organismos que él utilizó fueron plantas. En este sentido, es importante recordar que en las flores de las plantas se encuentran órganos masculinos (estambres o androceo) y femeninos (gineceo o pistilo).

En la figura se muestran las partes de una flor de arvejas: las anteras (estructuras masculinas) y el ovario (estructura femenina). En las anteras se forman los granos de polen (portadores de los gametos masculinos) y en el ovario los óvulos o gametos femeninos. Los granos de polen son transportados hacia el estigma (polinización) y de allí el tubo polínico llevará los gametos hasta el óvulo donde ocurre la fecundación o producción de un huevo o cigoto.



Mendel polinizaba artificialmente flores, a las que previamente había eliminado las anteras, con granos de polen que había seleccionado de otras plantas. En la figura se muestra la forma como Mendel eliminaba las anteras (flor de la derecha), para luego transferir, con un pincel, el polen de la flor de otra planta.



PARA REFLEXIONAR

Cuando señalamos una hipótesis, conocida como una posible respuesta ante una pregunta o situación de la naturaleza, y esta hipótesis es comprobada una y otra vez por diferentes personas, se convierte en una teoría, que luego por su amplio uso y comprobación se transforma en una ley. Esto ocurrió con los experimentos de Mendel, de allí que se llamen Leyes de Mendel.

La respuesta está en lo cotidiano

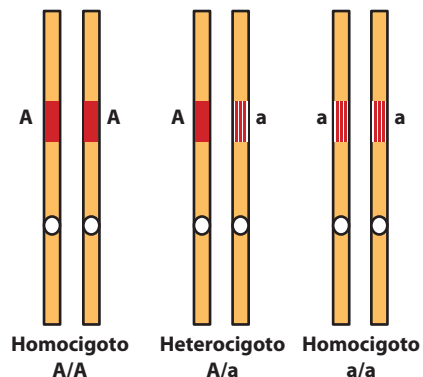
Después de muchas observaciones y pruebas de fecundación (cruces) durante varios años, Mendel tomó la decisión de trabajar con guisantes o arvejas (*Pisum sativum*), debido a que presentan características fáciles de observar, poseen reproducción sexual, se autopolinizan y son de fácil cultivo. Estas características hacen posible el rastreo de la transferencia de los caracteres de una generación a otra, es decir, de la herencia.

Mendel fue muy cuidadoso en la selección de las especies que iba a investigar, así como también en la escogencia de las características a estudiar en sus experimentos sobre la herencia. Observa en la figura los caracteres estudiados por Mendel.

		Superficie de la semilla			Posición de las flores
Lisa	Rugosa		Axial	Terminal	
		Color de la semilla			Tamaño de las plantas
Amarillo	Verde		Alta	Baja	
		Color de la flor			
Rosado	Blanco				
		Superficie del fruto			
Lisa	Rugosa				
		Color del fruto			
Verde	Amarillo				

¿Cómo hago para saber la forma en que se hereda una característica?

Mendel seleccionó una sola característica a la vez, y con el fin de asegurar líneas puras, cuidó que el atributo elegido, por ejemplo flores blancas, se mantuviera durante varias generaciones en los individuos estudiados. Las líneas puras para una característica (por ejemplo, color de las semillas) también las conocemos como homocigotas y las identificamos con una misma letra (mayúscula o minúscula, AA o aa), mientras que las que llevan dos posibilidades para la misma característica, las llamamos heterocigotas y las identificamos con una mayúscula y una minúscula (Aa).



Si ubicamos las características estudiadas por Mendel en los cromosomas, se verían como en la figura, donde notamos que en el par cromosómico de los extremos, los genes son iguales homocigotos, AA y aa. En tanto que en el par cromosómico del medio, los genes para una determinada característica son diferentes (Heterocigoto, Aa), mientras que en el par cromosómico de la derecha, los genes para una determinada característica son diferentes (heterocigoto, Aa). Como notarás, hay dos formas diferentes de un gen para una misma característica (por ejemplo, el color de las flores), lo que hoy conocemos como *alelos*. Es importante recalcar que en la época en que Mendel hizo sus experimentos no se sabía nada del ADN, ni de los cromosomas. Él fue el primero en sugerir que existían ciertos «factores» que se relacionaban con la herencia.

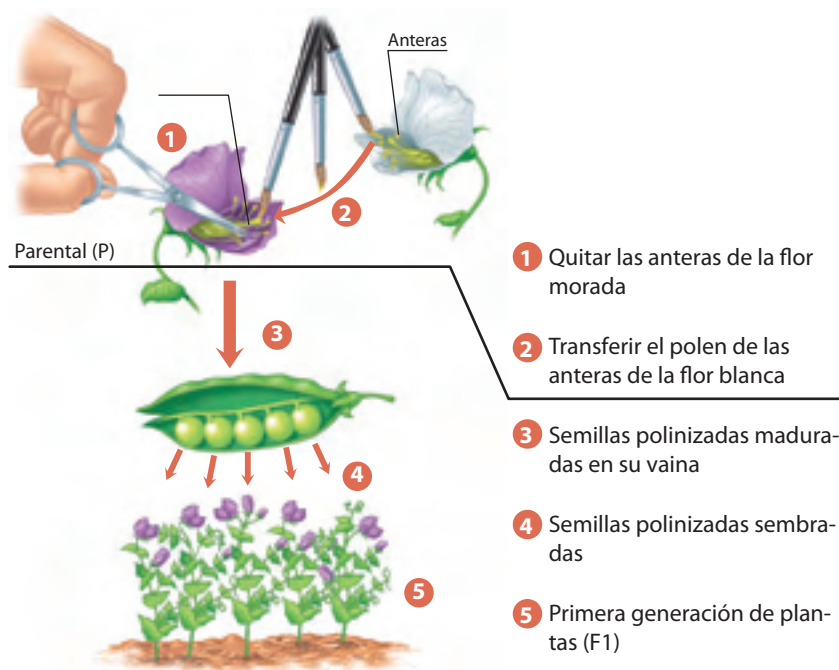
PARA REFLEXIONAR

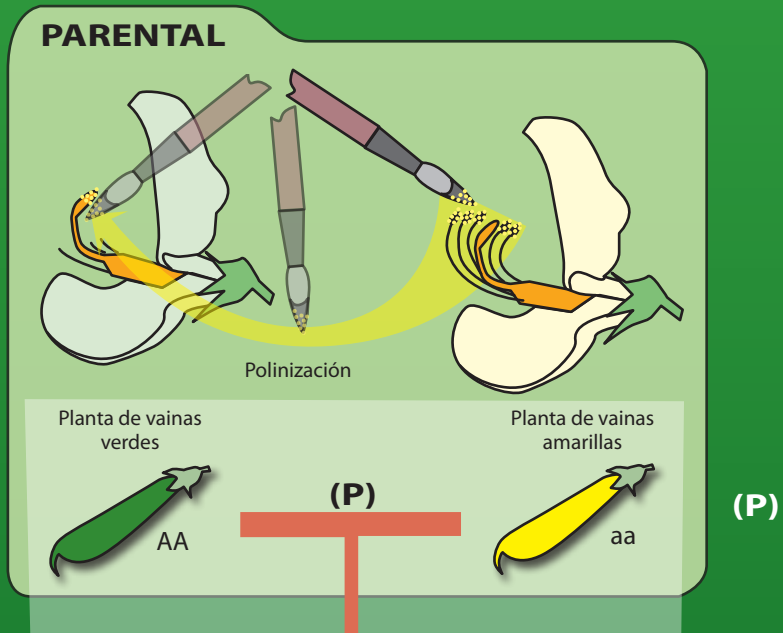
Los hallazgos de Mendel en el campo de la herencia fueron producto tanto de su trabajo metódico, capacidad de observación y de análisis; como del hecho de emplear la matemática y la estadística para explicar sus resultados. ¿Por qué crees tú que el razonamiento matemático es tan importante para el desarrollo del conocimiento científico?



Mendel inició sus experimentos trabajando con seis características de las plantas de arvejas, y escogiendo para investigar solo una característica a la vez. Estas características fueron: forma de la vaina (lisa, arrugada), color de la vaina (verde, amarilla), forma de la semilla (redonda, arrugada), color de la semilla (amarillo, verde), posición de la flor (lateral, terminal) y longitud del tallo (largo, corto).

En uno de sus experimentos, Mendel cruzó plantas que producían vainas amarillas con otras que las producían verdes. Estas plantas eran la *generación progenitora o parental (P)*, y fueron las que utilizó para hacer el primer cruce en una serie de cruces experimentales.





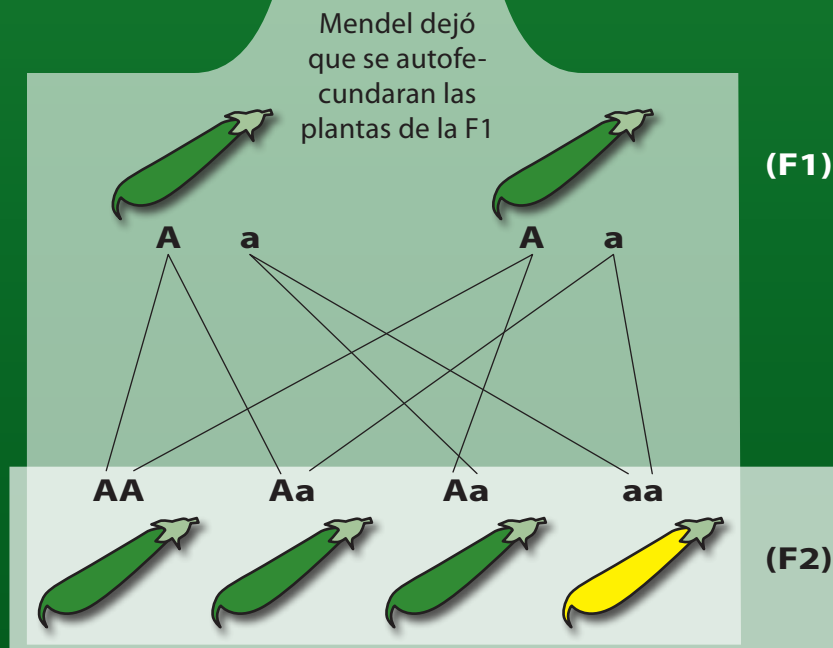
¿Cómo fueron los frutos de las plantas hijas?

Como resultado de este cruce, la primera generación produjo plantas que formaban frutos o vainas verdes, o sea, exhibía la característica de uno de los padres. A esta descendencia se le llamó primera generación filial o F1. El rasgo o carácter que aparecía en la F1 (vainas de color verde) se conoce como dominante, mientras que el no observado (vainas de color amarillo), se llamó recesivo. Hoy sabemos, que esta característica se encuentra en el ADN pero no se expresa en el fenotipo (aparición externa del organismo).

En la figura vemos que del cruce de dos individuos homocigotos (líneas puras), uno dominante (AA) y otro recesivo (aa), se forman individuos heterocigotos (Aa), con un fenotipo, con respecto al color de la vaina, de color verde; el mismo fenotipo de uno de sus padres. De esta experiencia se dedujo la **Primera ley de Mendel**, también llamada **Principio de uniformidad**.

¿Cómo fueron los hijos de los hijos?

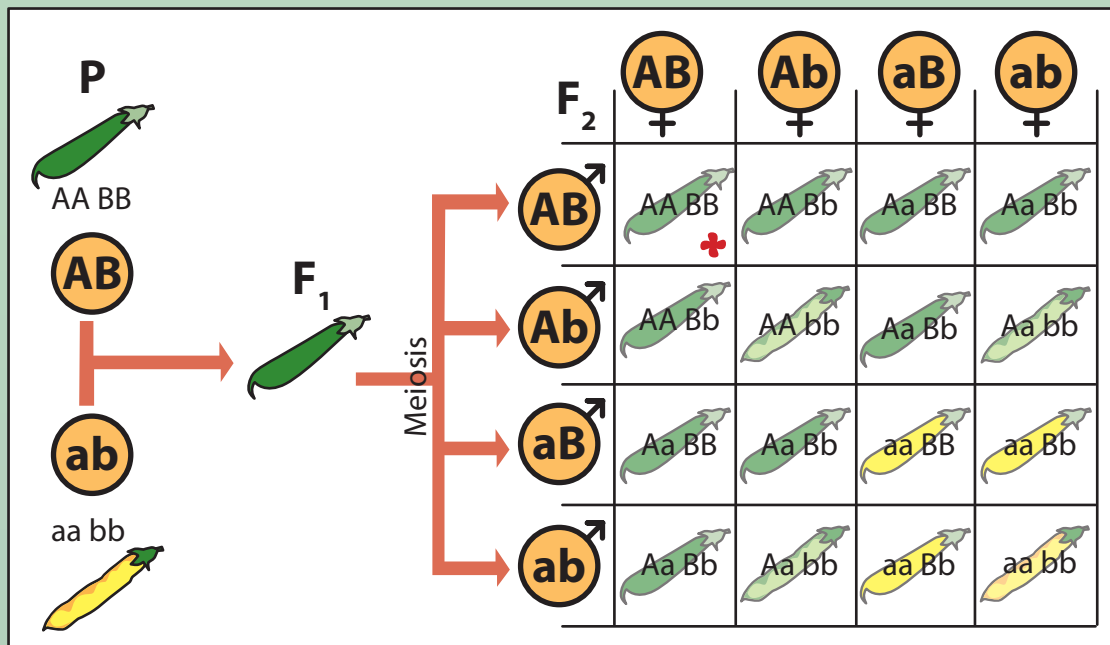
Mendel dejó que se autofecundaran las plantas de la F1 y obtuvo la segunda generación filial o F2, compuesta por plantas que producían vainas verdes y plantas que producían vainas amarillas en una proporción 3:1 (3 con vainas verdes y 1 con vainas amarillas). Repitió el experimento investigando con las otras 5 características, obteniendo siempre una descendencia con las mismas proporciones: 3 con el carácter dominante y 1 con el recesivo.



En la figura que ilustra el cruce de dos individuos heterocigotos (Aa) de la F1, vemos que se forman dos tipos de gametos de cada sexo: femenino (♀A, ♀a) y masculino (♂A, ♂a). Luego de la *fecundación* (unión de los gametos), se obtiene una proporción fenotípica de 3:1 en la generación F2; 3 con al menos un alelo dominante (AA, Aa, aA) y 1 con ambos alelos recesivos (aa). De esta experiencia, Mendel propuso su **Segunda ley**, también llamada **Principio de la segregación de los caracteres**.

Mendel luego decidió comprobar si estas leyes funcionaban en plantas que eran diferentes entre sí en dos o más características; para ello eligió como progenitores (P) a plantas con vainas verdes y lisas (caracteres dominantes) y plantas con vainas amarillas y rugosas (caracteres recesivos). Como podría esperarse, todos los individuos de la primera descendencia (F1) tenían vainas verdes y lisas; se cumplía el Principio de uniformidad, donde solo se observan los rasgos dominantes. Luego Mendel permitió que los individuos de la F1 se autopolinizaran, con lo que se obtuvo una generación F2 con todas las combinaciones posibles: plantas que producían vainas verdes y lisas, vainas verdes y rugosas, vainas amarillas y lisas y vainas amarillas y rugosas. Contó el número de individuos que tenía cada característica, y por cada 16 individuos obtuvo la proporción de 9:3:3:1 (9 plantas con vainas verdes lisas, 3 verdes rugosas, 3 amarillas lisas y 1 amarilla y rugosa).

En conclusión, observamos que si se cruzan dos individuos con dos caracteres en los que son heterocigotos (AaBb), la proporción fenotípica que se obtiene es 9:3:3:1. Esto explica que los factores (genes) se heredan independientemente, de donde surge la **Tercera ley de Mendel**, a la cual conocemos como **Principio de la herencia independiente de caracteres**. Hoy sabemos que esta ley se cumple gracias a que los genes responsables de la herencia de las características se encuentran en cromosomas diferentes.



En la figura observamos un cuadrado de Punnet, que es una manera sencilla para predecir los resultados probables de cruces genéticos. Observa que la F1 se obtiene realizando el mismo procedimiento de los cruces anteriores; es decir, los homocigotos (AABB, vainas verdes y lisas) con los homocigotos (aabb, vainas amarillas y arrugadas). La generación F1 será heterocigota o dihíbrida (AaBb), con todos los frutos verdes y lisos. Luego elaboramos un cuadrado de Punnet donde ubicamos a los gametos ♀ en la primera fila (horizontal) y a los gametos ♂ en la primera columna (vertical). Por último, se comienza a llenar los cuadros de acuerdo a la combinación respectiva de gametos. Por ejemplo, si combinamos el ♀AB con el ♂AB, veremos que se forma un individuo AABB, señalado en la figura, con un trébol rojo. Si cuentas los fenotipos de los individuos obtenidos, te darás cuenta de que coinciden con la proporción 9:3:3:1, antes mencionada.

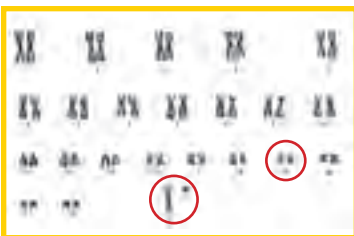
Cada cosa en su lugar

Después de que Mendel formuló las ideas básicas de la herencia, Walter Sutton (1877-1916) y Theodor Boveri (1862-1915), proponen la teoría cromosómica de la herencia, la cual fue mejorada gracias a los aportes de Thomas Hunt Morgan (1866-1945), después de realizar numerosos experimentos con la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*).

Los enunciados de la teoría cromosómica de la herencia se pueden resumir así:

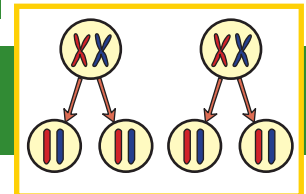
Los factores hereditarios (genes) mencionados por Mendel se localizan en los cromosomas.

Los genes responsables de un mismo carácter ocupan siempre una misma posición, llamada *locus*, en los pares de *cromosomas homólogos*.



Hay *cromosomas homólogos*, es decir, parejas de cromosomas idénticos o autosomas (ejemplo el par 19 en humanos), y una pareja de cromosomas distintos, los *cromosomas sexuales*, conocidos como X e Y.

Durante la meiosis los genes se separan y cada uno va a un gameto.



Los genes se ubican linealmente en los cromosomas, como se muestra en el de la mosca de la fruta (figura de la izquierda); por tanto, estos genes tienden a heredarse juntos (como el tamaño de las alas y el color de los ojos). Al inicio de la *meiosis* se da un intercambio de segmentos entre cromosomas iguales, llamado *proceso de recombinación*.

Las mosquitas también son útiles

Dado que la mosca de la fruta es fácil de reproducir y mantener, su ciclo de vida es rápido, tienen una descendencia numerosa y poseen pocos cromosomas, fueron utilizadas por **Thomas Hunt Morgan** en sus experimentos, y actualmente son empleadas en una amplia variedad de estudios genéticos.



Al igual que en los humanos, el sexo en las mosquitas de la fruta lo determina el macho, pues aporta gametos con cromosomas X o Y.



Drosophila melanogaster
4

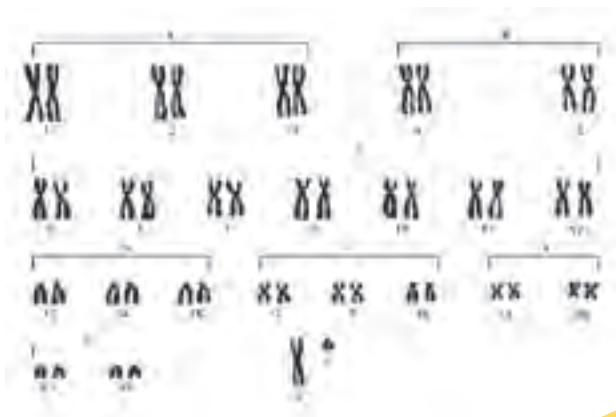
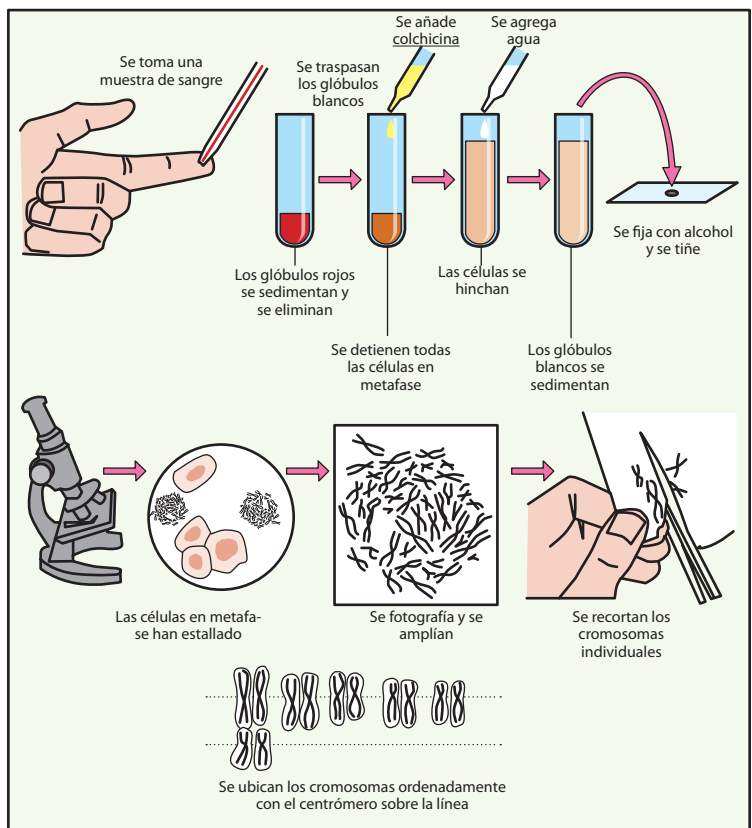
La mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) tiene solamente 4 pares de cromosomas: 3 son autosomas (cromosomas no sexuales) y 1 par sexual. Los dos cromosomas sexuales son XX en las hembras y XY en los machos.

Hablemos de nuestra herencia

El estudio de la genética humana se hace mucho más complejo, debido a que no podemos hacer cruces experimentales como los hacía Mendel en los guisantes o Morgan en las mosquitas; por lo tanto, los genetistas deben estudiar los cruces ocurridos en seres humanos, de forma natural y sin planificación alguna, organizándolos de manera esquemática en árboles genealógicos o familiares. Un especialista en genética humana o genetista puede hacer una recopilación fenotípica de una característica de interés en una familia a lo largo de varias generaciones, que podría ser por ejemplo, la herencia de ciertas enfermedades, como la hemofilia.

Los genetistas se valen del análisis de cariotipos, para estudiar el número, morfología y tamaño de los cromosomas. Estos cariotipos se organizan en una representación gráfica denominada cariograma. En la figura tomada de Curtis H. (2008), observa los pasos que se siguen para elaborar un cariograma humano, desde la obtención de las células en mitosis hasta el fotografiado, impresión y recorte de los cromosomas, para luego organizarlos en forma gráfica sobre una línea horizontal trazada en papel.

En la figura de abajo podemos apreciar un cariograma del cariotipo humano masculino. Los cromosomas se organizan desde los más grandes a los más pequeños y luego se numeran; los cromosomas sexuales se colocan al final. Recordemos que en humanos el cariotipo está formado por 44 autosomas (cromosomas no sexuales) y dos tipos de cromosomas sexuales (X e Y), lo que hace un total de 23 pares de cromosomas.



Es interesante notar que el número de cromosomas puede variar de una especie a otra. Observa los diferentes números cromosómicos de algunas plantas y animales muy comunes en nuestra vida diaria.



Caracol
24



Ratón
40



Trigo
42



Helecho
100-1200



Gato
38



Cerdo
40

Actividad práctica

Elabora un cariograma empleando los cromosomas que se observan en la figura (fotografía de células en metafase de una planta de Aloe, tomada por la autora).

Procedimiento: Fotocopia la figura y luego recorta el contorno de los cromosomas, haz una línea punteada horizontal en tu cuaderno o en una hoja en blanco, posteriormente organiza los cromosomas por tamaño, desde el más grande al más pequeño, colocando el centrómero sobre la línea punteada. El brazo corto de los cromosomas debe quedar hacia arriba y el largo hacia abajo.

Recomendación: para esta actividad toma en cuenta las ilustraciones de este capítulo relativas a cromosomas y cariotipo.



Los albores de la tecnología en la genética

El maíz actual no se parece ni remotamente a la especie original. En la antigüedad, el maíz producía unos granos tan pequeños que difícilmente podían ser empleados en la alimentación. A través de la tecnología, el hombre los fue modificando mediante cruces entre variedades, y así obtuvo híbridos cada vez mejores para el consumo humano; tanto así que en la actualidad el maíz es una de las principales fuentes mundiales de alimentos.

De igual manera, en agricultura y ganadería se está haciendo cada vez más frecuente la producción de híbridos; por ejemplo, en cocoteros con la finalidad de obtener mayor número de frutos en un tiempo menor; cruces en ganado para mejorar la calidad de la carne; cultivos resistentes a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas y razas de vacunos para aumentar la producción de leche.



Cuestiones de bioética

Bebé a la carta, ¿cómo lo quieres?

Con el conocimiento actual sobre las secuencias del ADN humano y su funcionamiento, teóricamente sería posible elegir el sexo del bebé, como también bebés con mayor coeficiente intelectual, libres de enfermedades genéticas, con el color de ojos, estatura y facciones deseadas. Bastaría con solo inyectar los genes requeridos en el cigoto (óvulo recién fecundado) o en el embrión. Esto parece ciencia ficción, pero es una realidad, pues por internet ya se ofrecen servicios de bebés a la medida, dando una lista sobre las características que se pueden cambiar genéticamente, de acuerdo a la tecnología disponible. Si reflexionamos al respecto, habría problemas de tipo ético: tendríamos que técnicas desarrolladas para prevenir o curar enfermedades hereditarias graves como la hemofilia o la distrofia muscular serían empleadas en la estética y en el perfeccionismo humano. A nivel social, la tecnología ha tratado de mejorar la raza humana (eugenesia), cuyas consecuencias han sido más negativas que positivas.

Si podemos elegir nuestras características o las de nuestros hijos, solo por estética y no por salud, ¿no estaríamos jugando a ser Dios? ¿Estarías de acuerdo con la escogencia del sexo del bebé?

¿Sabías que en el 2003 nació en Bélgica el primer bebé a la medida? Los padres querían una niña y el Dr. Frank Comhaire del Hospital Fertility Clinic en Gante, Bélgica, extrajo los espermatozoides del padre y los envió a Estados Unidos a una empresa que se encargó de separar los espermatozoides con el cromosoma X (femeninos) de los que llevan el cromosoma Y (masculinos); luego se llevó a cabo la fertilización «in vitro».



William H. Phelps Sr.

Existen hombres y mujeres que califican perfectamente como figuras del mundo de la ciencia y otros a los cuales se les reconoce como figuras del mundo empresarial. Pero no es común hallar una persona que haya dejado una huella profunda en ambos mundos. Éste es el caso de William H. Phelps, un venezolano que nació en Nueva York a fines del siglo XIX y estudió en la Universidad de Harvard. En 1896 llega circunstancialmente a Venezuela a estudiar unas aves que necesitaba para su tesis, y se enamoró literalmente no solo de sus aves, sino de su gente y su geografía.



Tan profundo fue su amor hacia este nuevo país que en una de sus numerosas exploraciones hacia el oriente venezolano conoció a la que un año después sería su esposa y madre de sus hijos: Alicia Elvira Tucker. En 1987, Phelps se establece en Venezuela y comienza a desarrollar una vertiginosa carrera en el mundo empresarial, prácticamente sin precedentes en un país cuya entrada de lleno al siglo XX se retrasó, al decir de muchos historiadores, casi unos treinta años. Se le recuerda entre otras iniciativas empresariales por la fundación del Almacén Americano y la emisora radial 1 Broadcasting Caracas, precursora de Radio Caracas Radio y Radio Caracas Televisión.

A fines de la década de los años treinta, Phelps decide retornar a su primera pasión, el estudio de las aves u ornitología. Para ello promueve, financia, organiza y participa, generalmente en compañía de su hijo William H.

Phelps Tucker, *Billy*, y de la esposa de éste, la recordada Kathy Phelps, en muy numerosas expediciones, prácticamente hacia todas las regiones del país. Se recuerda particularmente la famosa expedición del Museo de Historia Natural de Nueva York, al Auyantepui; una aventura de ribetes heroicos que duró cuatro meses. El fruto de esta vorágine de expediciones científicas fue una muy importante colección de aves, la publicación de decenas de trabajos

sobre la avifauna del país y la formación de la más importante biblioteca ornitológica de Venezuela. En 1950, los Phelps (padre e hijo) publicaron una obra clásica para la ciencia en Venezuela: *Listas de aves de Venezuela con su distribución*.

Es pertinente enfatizar la afortunada circunstancia de que W. Phelps padre, tuvo la invaluable cooperación de su hijo Billy; ésta fue tan estrecha que los límites entre la obra de uno y otro científico con frecuencia son inexistentes o, por lo menos, difusos. Se atribuye específicamente a Billy Phelps la fundación del Museo de Ornitología. Por otra parte, la Sra. Kathy Phelps, de origen australiano, adquirió la nacionalidad venezolana en 1940, fundó la Asociación de las Guías Scout de Venezuela y desarrolló prácticamente hasta su deceso en 2001 una labor encomiable en lo referente a la conservación de la naturaleza y la educación ambiental. Su esposo Billy había fallecido en 1988. William Phelps, el fundador de esta notable familia de científicos, ambientalistas y gente de empresa, falleció el 9 de diciembre de 1965.

Para saber más...

Biggs, A., Kapicka, C. y Lundgren, L. (2000). *Biología*. La dinámica de la vida. México, McGraw-Hill.

Creces: Ciencia y tecnología. <http://www.creces.cl/new/index.asp>.

Curtis, Helena y Barnes, N. Sue. (2006). *Biología*. Médica Panamericana. 6º Edición.

McLaren, J. y Rotundo, L. (1989). *Biology*. D.C. Heath and Company.