



LA HIPÓTESIS DEL TEOSINTE

Guía para el docente

MATERIAL ORIGINAL DE



hhmi
BioInteractive

EL ORIGEN DEL MAIZ

❖ INTRODUCCIÓN

Esta actividad sirve como complemento a la película *Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz* (disponible en <http://www.loligo.cl/educacion>) y proporciona a los estudiantes una mejor comprensión de las matemáticas que explican la investigación genética del Dr. Beadle. Los estudiantes usarán los cuadros de Punnett para modelar cruces asumiendo que solo uno, dos, o tres genes determinan las diferencias entre el teosinte y el maíz. Luego desarrollarán un modelo matemático para hacer predicciones, y las usarán para explicar la principal conclusión de la investigación del Dr. Beadle y cómo esta conclusión apoya su hipótesis sobre el origen del maíz.

❖ CONCEPTOS CLAVE Y OBJETIVOS DEL TALLER

- A. La hipótesis de que el teosinte es el ancestro silvestre del maíz es apoyada por la evidencia genética.
- B. Comprender cómo se heredan los genes permite a los científicos hacer predicciones acerca de la frecuencia de los rasgos hereditarios en la descendencia.

Los estudiantes serán capaces de

- calcular y predecir la probabilidad de los genotipos y fenotipos de los descendientes basados en cruces genéticos.
- comparar diferentes métodos para modelar predicciones genéticas.

❖ CONEXIONES CURRICULARES II° MEDIO

Bases Curriculares 2013			
Plan de estudios	Gran idea de la ciencia	Objetivos de Aprendizaje	Habilidades científicas
1ro Medio	La evolución es la causa de la diversidad de los organismos vivos y extintos.	Analizar e interpretar datos para proveer de evidencias que apoyen que la diversidad de organismos es el resultado de la evolución.	Habilidades científicas transversales. Comprensión y reflexión para la generación de nuevos conocimientos;
2do Medio	La información genética se transmite de una generación de organismos a la siguiente.	Investigar y argumentar, en base a evidencias, que el material genético se transmite de generación en generación en organismos como plantas y animales.	Comprensión de las etapas del proceso de investigación; preguntar a partir de la observación; formulación de

		<p>Desarrollar una explicación científica, basada en evidencias, sobre los procesos de herencia genética en plantas y en animales, aplicando los principios básicos de la herencia propuestos por Medel.</p>	<p>hipótesis; buscar evidencia; comunicación de resultados; alfabetización científica.</p>
		<p>Investigar y explicar las aplicaciones que han surgido a raíz de la manipulación genética para generar alimentos, detergentes, etc. y evaluar sus implicancias éticas y sociales.</p>	
Marco curricular 2009			
Programa	Unidad	Aprendizaje esperados	Habilidades del pensamiento científico
2do Medio	Genética y reproducción celular.	<p>Explicar cómo se genera la variabilidad genética entre individuos de una misma especie.</p> <p>Resolver problemas de genética simple.</p>	Organizar e interpretar datos y formular explicaciones.
3ro Medio	Organismo, ambiente y sus interacciones: Evolución	<p>Explicar la evolución orgánica, apoyándose en evidencias y en conceptos genéticos y ambientales.</p> <p>Analizar relaciones de parentesco entre los seres vivos relacionándolas con un concepto de ancestro común.</p>	<p>Procesar e interpretar datos de investigación científica.</p> <p>Evaluar las implicancias sociales económicas, éticas y ambientales que involucra el desarrollo científico y tecnológico.</p>

❖ **TÉRMINOS CLAVE**

Alelo, gen, genotipo, hipótesis, maíz, fenotipo, cuadro de Punnett, teosinte

❖ REQUISITOS DE TIEMPO

Esta actividad se diseñó para realizarse en uno o dos períodos de clase de 50 minutos cada uno.

❖ CONOCIMIENTOS PREVIOS

Sería útil que los estudiantes tengan algunos conocimientos prácticos sobre genética y herencia. Los estudiantes deberían ser capaces de trabajar con exponentes y expresiones algebraicas.

❖ SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Dependiendo de la experiencia de sus estudiantes, puede optar por realizar esta actividad como una clase para que los estudiantes tengan claro cómo completar un cuadro de Punnett. Si ya los alumnos conocen los cuadros de Punnett, puede hacerlos trabajar de forma individual o en grupos de dos o tres.
- Tal vez desee que los estudiantes vean la película antes de comenzar esta actividad. Anímelos a escribir las preguntas que tengan acerca del contenido de la película. Sugiera que lean todas las preguntas de la actividad antes de ver la película de nuevo en clase. Luego, cuando los estudiantes vuelvan a ver la película al comenzar esta actividad, pueden concentrarse en las preguntas específicas relacionadas con la actividad. Si solo tienen tiempo para ver la película una vez, anime a los estudiantes a tomar apuntes mientras la ven. Si el tiempo lo permite, vuelvan a ver las secciones que son más pertinentes a la actividad una vez que termine la película y respondan las preguntas restantes.
- En trabajos anteriores con los cuadros de Punnett, puede que los alumnos hayan estudiado los rasgos dominantes y recesivos. Si sus estudiantes tienen experiencia con casos especiales de la herencia mendeliana, es posible que desee señalar que el patrón de herencia del cruce teosinte/maíz parece corresponder a una dominancia incompleta, o a una co-dominancia, en que los heterocigotos muestran un fenotipo intermedio o combinado de ambos progenitores en relación a un rasgo determinado. Otra forma de expresar esta relación es como un modelo aditivo de herencia. En un modelo aditivo, el fenotipo medido de un heterocigoto es el promedio entre los fenotipos de los dos progenitores homocigotos. Por ejemplo, si el teosinte tiene dos hileras de granos en una mazorca y el maíz tiene ocho, el heterocigoto tendría cinco hileras. Otros experimentos genéticos con maíz y teosinte han demostrado que los genes que difieren entre las dos especies, en su mayoría actúan de forma aditiva. Solo uno de estos genes principales se comporta de una manera mendeliana sencilla.
- Si es necesario, recuerde a los estudiantes que las plantas de maíz y de teosinte son diploides, es decir, que la descendencia del cruce recibe una copia de cada cromosoma del maíz y una copia de cada cromosoma del teosinte.



- La película utiliza la frase "copia del gen" para referirse a lo que cada organismo parental contribuye a la descendencia. Esta actividad usa la palabra *alelo*, el término más común. Un alelo es una versión de un gen o de cualquier segmento de ADN heredado. Evalúe la comprensión de sus estudiantes para asegurarse de que estén utilizando los términos apropiados.
- Podría ser importante repasar las diferentes formas de representar alelos. Por lo general, cuando los estudiantes comienzan a aprender los patrones de la herencia mendeliana, ven los símbolos dominantes y recesivos de los alelos (**A**, **a**, respectivamente). Los biólogos también utilizan símbolos que no denotan dominancia (por ejemplo, **A1** y **A2**, **A₁** y **A₂**, o **A¹** y **A²** para indicar dos alelos del gen A). Los alelos son también a veces representados usando un nucleótido que difiere entre los alelos (por ejemplo, A, G). Algunas representaciones son más complejas, tales como los alelos de los grupos ABO de sangre humana (I^A, I^B, i), que se usan para mostrar los dos alelos codominantes (I) y el alelo recesivo O (i), utilizando superíndices para distinguir los dos alelos codominantes. Existen otras representaciones de los alelos, además de los aquí descritos.
- Esta actividad ofrece una oportunidad para corregir el concepto erróneo de que probabilidad es igual a resultado. Aunque la probabilidad de un genotipo determinado sea uno de cada cuatro descendientes (por ejemplo), en realidad es posible que el cruce resulte en cuatro individuos heterocigotos o incluso cuatro individuos con el mismo genotipo que uno de los progenitores. Los cuadros de Punnett predicen solamente probabilidad. Recuerde a los estudiantes la ley de los grandes números en estadística, que dice que las poblaciones con muestras pequeñas pueden arrojar resultados que son bastante diferentes a los esperados debido a un error de muestreo. Si midiésemos cientos o incluso miles de descendientes de un cruce de plantas F₁, tendríamos una mejor oportunidad de ver índices en la descendencia predichos por el cuadro de Punnett.
- A través de esta actividad, los estudiantes comprenderán lo rápido que aumenta la variación genética a medida que aumenta el número de genes involucrados. Hacia la parte final de la actividad, los estudiantes utilizarán lo que han aprendido para identificar patrones relacionados con este aumento. Por esta razón, se incluye el número total de combinaciones genéticas (de ambos progenitores), así como una indicación del número de genotipos únicos (sin tomar en cuenta cuál progenitor contribuyó cuál copia del gen).



❖ **GUÍA DE RESPUESTAS**

PREGUNTAS DE APLICACIÓN Y ANÁLISIS

1. Usando los símbolos de los alelos A^T y A^M , completa el cuadro de Punnett mediante los siguientes pasos:
 - a. identifica el genotipo de las plantas progenitoras F_1 en la Figura 3: $A^T A^M$
 - b. escribe los alelos que cada progenitor contribuye al cruce en las líneas correspondientes (ten en cuenta que si un solo gen controla el fenotipo, cada progenitor contribuye con solo uno de los **dos** alelos posibles); y
 - c. determina los posibles genotipos de la descendencia F_2 .

	A^T	A^M
A^T	$A^T A^T$	$A^T A^M$
A^M	$A^T A^M$	$A^M A^M$

2. Si la descendencia homocigota para el alelo A^T ($A^T A^T$) es igual al teosinte, y la descendencia homocigota para el alelo A^M ($A^M A^M$) es igual al maíz, identifica:
 - a. La proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera sea igual al teosinte.
 $\frac{1}{4}$, **25%**
 - b. La proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera sea igual al maíz.
 $\frac{1}{4}$, **25%**
 - c. La proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera tenga una combinación de características del teosinte y del maíz.
 $\frac{1}{2}$, **50%**
3. ¿Cuál cuadro de Punnett —el que dibujaste, o el de la Figura 3— encuentras más informativo? Explica tu respuesta.
Las respuestas pueden variar.
4. Usando los símbolos de los alelos A^T/A^M y B^T/B^M , completa el cuadro de Punnett a continuación mediante los siguientes pasos:
 - a. identifica el genotipo de las plantas progenitoras F_1 en la Figura 3: $A^T A^M B^T B^M$
 - b. escribe los alelos aportados por cada progenitor F_1 en los espacios correspondientes (ten en cuenta que si se trata de dos genes, cada progenitor aporta una de las **cuatro** posibles combinaciones de alelos); y
 - c. determina los posibles genotipos de la descendencia F_2 .

	$A^T B^T$	$A^T B^M$	$A^M B^T$	$A^M B^M$
$A^T B^T$	$A^T A^T B^T B^T$	$A^T A^T B^T B^M$	$A^T A^M B^T B^T$	$A^T A^M B^T B^M$
$A^T B^M$	$A^T A^T B^T B^M$	$A^T A^T B^M B^M$	$A^T A^M B^T B^M$	$A^T A^M B^M B^M$
$A^M B^T$	$A^T A^M B^T B^T$	$A^T A^M B^T B^M$	$A^M A^M B^T B^T$	$A^M A^M B^T B^M$
$A^M B^M$ $A^M B^M$	$A^T A^M B^T B^M$	$A^T A^M B^M B^M$	$A^M A^M B^T B^M$	$A^M A^M B^M B^M$

5. ¿Cuántos genotipos F_2 *diferentes* existen? Haz una lista de los genotipos e identifica para cada uno si es que el fenotipo que le corresponde sería: igual al maíz, igual al teosinte, o una mezcla de los dos.

Nueve:

- $A^T A^T B^T B^T$; igual al teosinte
- $A^T A^T B^T B^M$; una mezcla
- $A^T A^T B^M B^M$; una mezcla
- $A^T A^M B^T B^T$; una mezcla
- $A^T A^M B^T B^M$; una mezcla
- $A^T A^M B^M B^M$; una mezcla
- $A^M A^M B^T B^T$; una mezcla
- $A^M A^M B^T B^M$; una mezcla
- $A^M A^M B^M B^M$; igual al maíz

6. Identifica:
- La proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera sea igual al teosinte (es decir, que solo han heredado alelos del teosinte).
1/16, 6.25%
 - La proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera sea igual al maíz (es decir, que solo han heredado alelos del maíz).
1/16, 6.25%
 - La proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera sea una mezcla de teosinte y maíz.
7/8, 87.5%
7. Usando los símbolos de los alelos A^T/A^M , B^T/B^M y C^T/C^M , completa PARTE del cuadro de Punnett a continuación mediante los siguientes pasos:
- identifica los genotipos de las plantas progenitoras F_1 en la Figura 3: $A^T A^M B^T B^M C^T C^M$;
 - escribe los posibles alelos aportados por cada progenitor F_1 (ten en cuenta que si se trata de tres genes, cada progenitor puede contribuir cualquiera de las **ocho** combinaciones de los alelos);
 - dibuja un círculo alrededor de los genotipos de cada progenitor que solo tienen alelos del teosinte;
 - escribe los genotipos de la descendencia F_2 que resultaría de este cruce (es decir, del cruce de progenitores que tienen solo alelos del teosinte) en el cuadro de Punnett;
 - dibuja un círculo alrededor de los genotipos de cada progenitor que solo tienen alelos del maíz; y
 - escribe los genotipos F_2 de la descendencia que resultaría de este cruce (es decir, del cruce de progenitores que tienen solo alelos del maíz) en el cuadro de Punnett.



	$A^T B^T C^T$	$A^T B^T C^M$	$A^T B^M C^M$	$A^T B^M C^T$	$A^M B^T C^T$	$A^M B^T C^M$	$A^M B^M C^T$	$A^M B^M C^M$
$A^T B^T C^T$	$A^T A^T B^T B^T C^T C^T$ Genotipo F_2	Genotipo F_2						
$A^T B^T C^M$	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2
$A^T B^M C^M$	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2
$A^T B^M C^T$	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2
$A^M B^T C^T$	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2
$A^M B^T C^M$	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2
$A^M B^M C^T$	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2
$A^M B^M C^M$	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	Genotipo F_2	$A^M A^M B^M B^M C^M C^M$

8. Identifica la proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera sea igual al teosinte mediante los siguientes pasos:

- ¿Cuántos genotipos F_2 escribiste en el cruce entre los progenitores F_1 con alelos del teosinte solamente? **uno**
- Toma el número total de individuos F_2 iguales al teosinte y divídelo entre el número total de posibilidades F_2 en el cuadro de Punnett general. Identifica la proporción y el porcentaje de la descendencia que se espera sea igual al maíz.

Proporción: **1/64** Porcentaje: **1.56%**

9. ¿Notas el patrón? ¿Qué proporción de la descendencia F_2 se puede esperar que sea igual al teosinte si cuatro genes controlaran las diferencias entre el maíz y el teosinte? Explica tu respuesta.

1/256 porque 4^4 es 256.

10. Escribe una fórmula en el siguiente formato para representar tu modelo: $x = y/z^w$. Define cada una de las variables, o reemplázalas con constantes (números).

$x = 1/4^w$ o una expresión equivalente

x = probabilidad de que una descendencia F_2 sea igual al teosinte

$y = 1$ $z = 4$

w = número de genes responsables por las diferencias entre el teosinte y el maíz

11. Usa tu fórmula (y muestra tu trabajo) para predecir la proporción de la descendencia F_2 que se espera sea igual al teosinte si:

- estuvieran involucrados 5 genes **1/1,024**
- estuvieran involucrados 10 genes **1/1,048,576**
- estuvieran involucrados 100 genes **1/1.6 × 10⁶⁰**

12. ¿Cómo se compararía la probabilidad de que un descendiente herede todos sus alelos del teosinte con la probabilidad de que un descendiente herede todos sus alelos del maíz? Explica tu respuesta.

Las probabilidades son idénticas. En estos cruces, la contribución del maíz y del teosinte al pool de alelos es igual, tal como se observa en el cuadro de Punnett.



13. Usa la evidencia de tu modelo matemático para apoyar o refutar la conclusión del Dr. Beadle de que cuatro o cinco genes están involucrados en las diferencias entre el teosinte y el maíz.

Según el modelo, si cuatro genes estaban involucrados, aproximadamente $1/256$, o $195/50,000$, de las plantas F_2 deberían haber sido iguales al teosinte. Si cinco genes estuvieran involucrados, entonces $1/1,024$, o $49/50,000$, de las plantas F_2 deberían haber sido iguales al teosinte. En el experimento, $1/500$, o $100/50,000$, de las plantas F_2 eran iguales al teosinte. 100 está entre 195 y 49.

14. Un club de ciencias estudiantil replica el experimento del Dr. Beadle, pero en una escala mucho menor. Cultivan 500 plantas F_2 y no encuentran ninguna que sea igual al teosinte. ¿Eso significa que el Dr. Beadle llegó a una conclusión errónea acerca de la genética del teosinte y el maíz? Explica por qué o por qué no.

No, esto no significa que el Dr. Beadle estaba equivocado. Pero se preveía que solo $1/500$ de las plantas F_2 fuera igual al teosinte, y las predicciones no se traducen exactamente a resultados reales. Con solo 500 plantas F_2 cultivadas, ocurrió que no hubo ninguna que heredara solo los alelos del teosinte, porque la probabilidad de encontrar esa planta era muy baja.

❖ REFLEXIÓN Y EVALUACIÓN

Comprender cómo se heredan los genes ¿permite a los científicos hacer predicciones acerca de la frecuencia del fenotipo en la descendencia?

¿Coincidió su predicción realizada? Explique cuál fue el razonamiento que utilizó para realizar su inferencia.

Los estudiantes podrían haber coincidido o no en sus predicciones. Lo importante es que se den cuenta de que si se puede realizar predicciones en base a datos estadísticos.

Indique 2 conclusiones a las que pudo llegar luego de realizar la guía.

- 1. La hipótesis de que el teosinte es el ancestro silvestre del maíz es apoyada por la evidencia genética.**
- 2. Comprender cómo se heredan los genes permite a los científicos hacer predicciones acerca de la frecuencia de los rasgos hereditarios en la descendencia.**

❖ AUTORES

Escrito (original en inglés) por Mark Bloom, PhD, y Ann Westbrook, PhD, BSCS; Paul Beardsley, PhD, Cal Poly Pomona.

Editado por Stephanie Keep, asesora; Laura Bonetta, PhD, HHMI.

Revisado por Alexandra York, University of Wisconsin.

Adaptación Chile:

Karin González Allende, Profesora de Biología y Cs. Naturales. Académica DEP, Facultad de Filosofía y Humanidades, U Chile.

Colaboración y edición Ma. Fernanda Álvarez, Profesora de Biología y Cs. Naturales, Asesora Pedagógica BNI.

