

Efecto de los niveles de luz sobre la depredación de la polilla moteada

La polilla moteada tiene una coloración críptica que le camufla frente a las aves depredadoras. Tengo interés por este animal porque se utilizó como ejemplo en nuestras lecciones de biología y encontramos una cuando estaba en el campo en el centro de Francia. Los biólogos se han interesado en esta especie de polilla por la apariencia de una variedad negra (melánica) determinada genéticamente. La frecuencia de esta variedad melánica se vio que aumentaba en regiones industriales contaminadas de Inglaterra a partir de la mitad del siglo XIX. Se planteó la hipótesis de que ello se debe a la eficacia del camuflaje de la forma melánica en contraste con fondos contaminados (superficies con depósitos de hollín y con falta de cobertura de líquenes).

Bernard Kettlewell (1955 y 1956) realizó algunos famosos estudios de campo y de laboratorio que parecían sustentar la idea de que las aves depredadoras eran el agente selectivo, pero otros estudios adicionales sugieren que la posición de la polilla sobre el soporte también pueden influir sobre cómo son divisadas por las aves (Leibert & Brakefield, 1987). Si las polillas están posadas sobre el envés de una rama, a la sombra, la depredación no es la misma que si están posadas en una situación más expuesta.

El objetivo de este experimento es modelizar el efecto de ajustar el nivel de luz sobre la depredación mediante una simulación de selección natural sobre polillas moteadas (*Biston betularia*) con depredadores humanos.

Método

El simulador de polillas moteadas se cargó en el sitio <http://www.techapps.net/interactives/mothproject.htm> y se manejó en línea. Los "depredadores" fueron 15 alumnos (12 chicas y 3 chicos) de una clase de biología del IB de segundo año.

El sonido de la simulación fue desconectado ya que podía afectar a otros "depredadores" en la sala.

Todos los "depredadores" utilizaron Macbooks del mismo modelo y la misma antigüedad. La pantalla se ajustó con el **brillo máximo** y se orientó para una vista óptima, ajustándose una simulación adaptada a plena pantalla. La iluminación de fondo de la sala se mantuvo constante.

La simulación comenzó en el **bosque claro** y se repitió por dos veces. Cada serie se desarrolló durante un minuto hasta su conclusión.

El porcentaje de polillas moteadas en la población, al final del período de depredación, se registró en tiempo real en una hoja de cálculo compartida en documentos de Google.

La simulación se repitió a continuación con el **bosque oscuro** por tres veces.

La intensidad de la luz de la pantalla se redujo a la **mitad de intensidad** y la simulación se repitió de nuevo durante tres intentos para bosque claro y bosque oscuro.

La simulación completa se repitió de nuevo después reduciendo la intensidad de la luz de la pantalla a la **cuarta parte de intensidad**.

Por último, como control, la simulación se realizó una vez para cada fondo, volviendo a la intensidad de plena luz.

2

Esta investigación no planteó ninguna cuestión ética, de seguridad o medioambiental que precisara atención.

Capturas de pantalla de la simulación

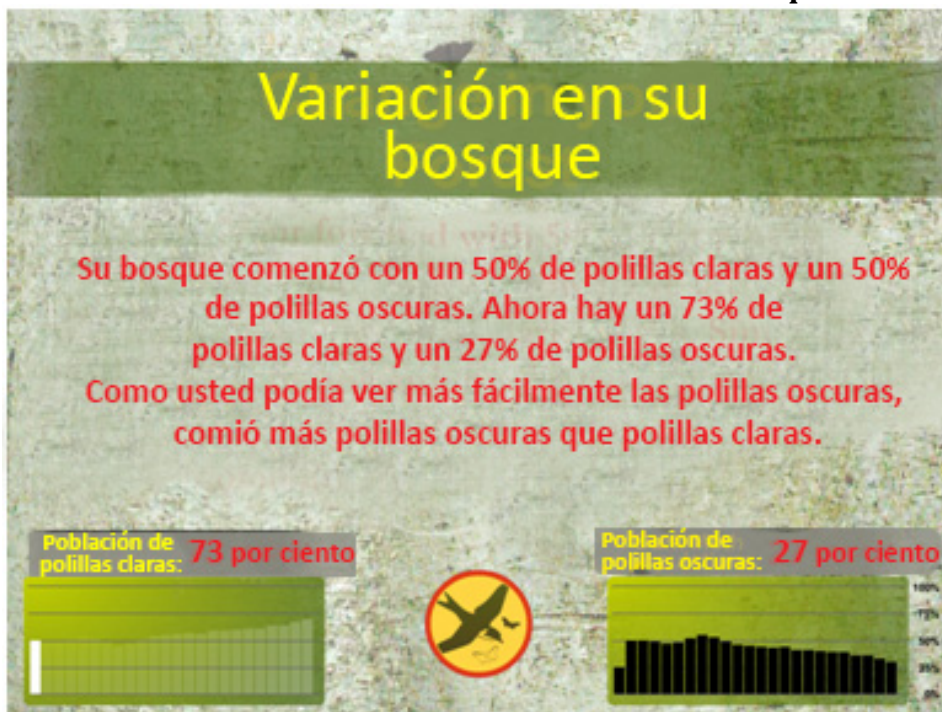
Simulación de bosque oscuro



Simulación de bosque claro



Resultados tras un minuto de selección en una simulación en bosque claro



4

Datos

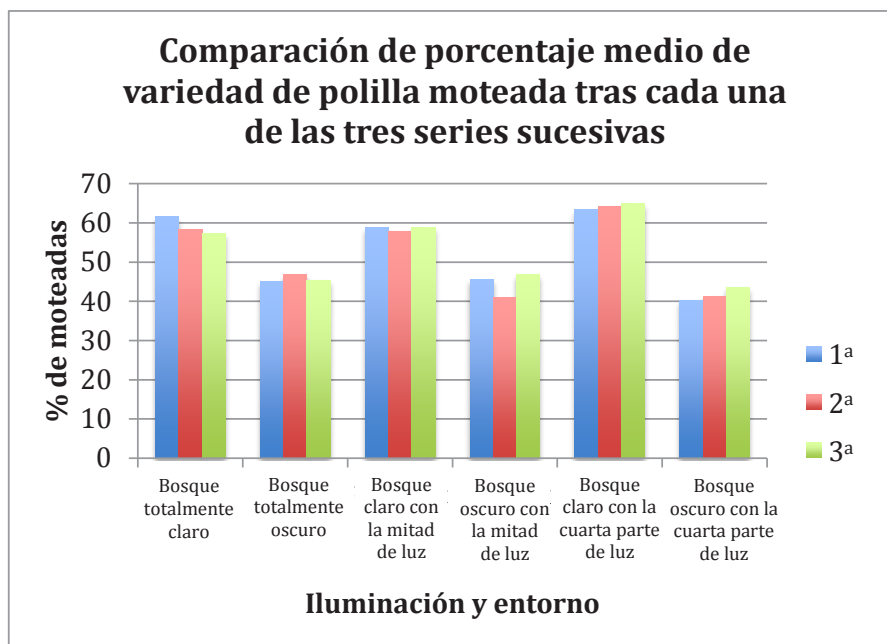
En la tabla se representa el porcentaje de la variedad moteada en la población tras un minuto de caza. Se consideró innecesario registrar el porcentaje de la forma melánica ya que esta indicaría exactamente la misma variación a la inversa (% moteada + % melánica = 100%). La simulación registraba los porcentajes redondeados al porcentaje entero más próximo.

Porcentaje de variedad moteada tras 1 minuto de caza $\pm 1\%$																				
Plena iluminación de pantalla			Mitad de iluminación de pantalla			Cuarta parte de iluminación de pantalla			Vuelta a plena iluminación de pantalla											
Bosque claro			Bosque oscuro			Bosque claro					Bosque oscuro									
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Control de bosque claro	Control de bosque oscuro	
81	78	66	49	34	25	60	62	45	47	30	35	83	72	80	40	41	42	70	59	
58	62	47	52	53	51	61	48	38	55	44	45	25	28	28	57	58	61	18	58	
32	39	31	45	43	46	45	42	53	33	40	38	67	78	63	23	19	32	73	53	
81	53	59	43	57	39	64	77	68	43	41	43	78	68	79	39	38	39	65	50	
35	46	29	51	42	43	27	20	12	43	36	39	64	80	70	35	38	41	26	53	
67	58	24	42	51	62	59	53	49	47	43	47	46	56	55	39	44	47	43	44	
72	67	74	53	61	44	67	75	67	48	40	44	85	59	73	45	48	34	77	37	
50	40	62	47	30	45	52	51	54	56	41	56	48	50	46	50	45	44	47	50	
80	56	83	45	34	51	73	68	75	48	41	46	65	77	61	43	41	36	71	45	
54	64	56	52	51	42	64	52	56	52	54	56	71	62	78	47	40	44	56	42	
67	66	60	44	45	47	62	65	69	50	48	47	65	69	71	44	46	55	62	51	
66	65	66	37	52	51	66	74	85	35	40	46	51	56	60	49	51	48	50	49	
67	65	72	30	45	55	65	45	70	48	45	69	56	77	55	28	34	52	56	44	
47	65	69	46	62	34	47	74	64	38	36	52	68	70	81	28	38	47	67	45	
82	73	60	39	42	46	71	61	79	41	35	41	78	62	74	37	37	32	63	53	
Promedio de cada serie	63	60	57	45	47	45	59	58	59	46	41	47	63	64	65	40	41	44		
Promedio global	60			46			59			44			64			42			56	49
Desviación est. global	15			8			15			7			14			9			17	6

5

¿Había algún signo de aprendizaje por parte del depredador?

Los promedios se calcularon por cada primera, segunda y tercera serie del depredador para ver si había una mejora en la depredación, es decir, si los depredadores habían aprendido y desarrollaban una imagen de búsqueda de las polillas.



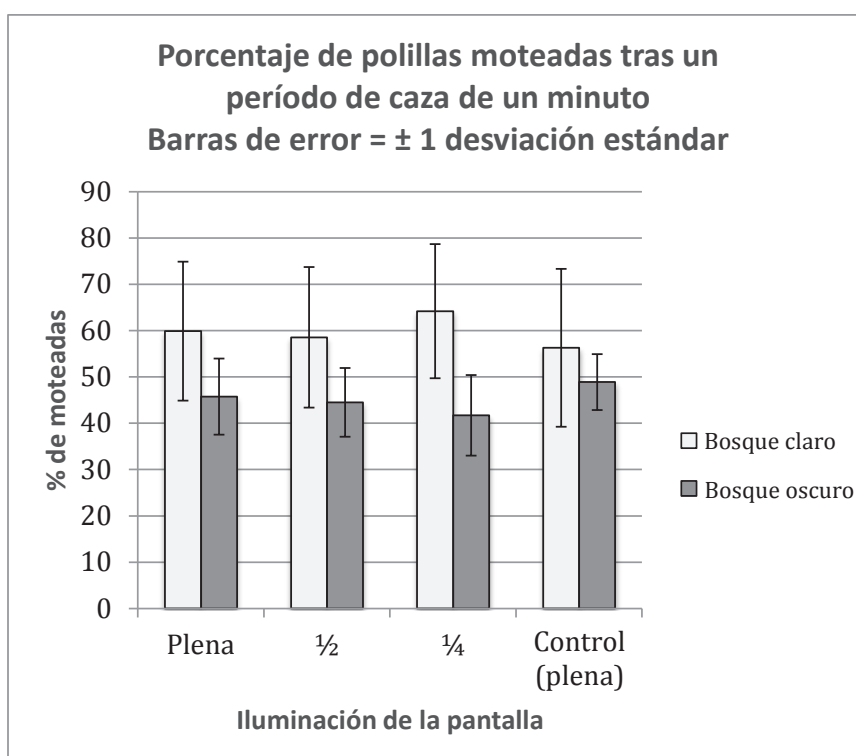
Estos promedios no parecen sugerir que los depredadores presentaran una depredación cada vez mejor durante sus tres series sucesivas en los distintos entornos. No hay ningún patrón aparente.

6

Diferencia entre las poblaciones de polillas tras la depredación bajo distintas condiciones de iluminación de la pantalla

Esta tabla resume el porcentaje medio global de la variedad moteada al final de la caza de un minuto y sus desviaciones estándar $\pm 1\%$.

Iluminación		Fondo	
		Bosque claro	Bosque oscuro
Plena pantalla	Media	60	46
	Desviación estándar	15	8
½ pantalla	Media	59	44
	Desviación estándar	15	7
¼ de pantalla	Media	64	42
	Desviación estándar	14	9
Control (vuelta a plena pantalla)	Media	56	49
	Desviación estándar	17	6



Los fondos claros parecen favorecer a la variedad de polilla moteada, los porcentajes finales son sistemáticamente $>50\%$. De forma similar, el fondo oscuro selecciona en contra de la

7

variedad moteada <50%. De este modo, la simulación concuerda con las observaciones sobre poblaciones reales.

El solapamiento de las barras de error de estos datos sugiere que no hay ninguna diferencia significativa entre la supervivencia de las formas moteadas se decidió realizar varios test t entre pares de conjuntos de datos para verificarlo.

ecuación de test t

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Siendo:

\bar{x} = la media

s = desviación estándar

n = el tamaño de la muestra

Comparación de dos fondos (bosque claro frente a bosque oscuro) con distintas intensidades de luz de la pantalla

Hipótesis nula (Ho) = No hay diferencia entre la depredación en los distintos fondos simulados (bosque oscuro y claro)

Hipótesis alternativa (Ha) = hay una diferencia en la depredación de las variedades de polilla moteada en los distintos entornos simulados

Iluminación de la pantalla	plena intensidad de la luz de la pantalla	mitad de intensidad de la luz de la pantalla	cuarta parte de la intensidad de la luz de la pantalla
t_{calc}	5,5435	5,5775	8,9304

Para cada una de estas comparaciones los tamaños de muestra son los mismos, por lo que los grados de libertad y el t_{crit} son iguales.

$$\text{Grados de libertad } n_1 + n_2 - 2 = 45 + 45 - 2 = 88$$

t_{crit} para 88 grados de libertad = 1,9873 (p= 0,05) para un test de dos colas

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula en cada caso y se acepta la hipótesis alternativa. Hay una diferencia significativa en la depredación de las polillas dependiendo del fondo. Esto es cierto para todos los niveles de iluminación de la pantalla. Todos ellos son significativamente diferentes para $p < 0,001$.

Por tanto, la simulación parece estar cumpliendo su objetivo. Los "depredadores" están seleccionando la variedad moteada en el bosque claro (los valores son >50% tras un minuto de depredación) y en contra de la variedad moteada en el bosque oscuro (los valores son <50%).

Es interesante observar que la diferencia se vuelve mayor conforme disminuye la iluminación de la pantalla.

Comparación de la depredación contra el mismo fondo con distintas intensidades de luz

H₀ = No hay ninguna diferencia entre la depredación en el mismo bosque con distintos niveles de iluminación

H_a = Hay una diferencia entre la depredación en el mismo bosque con distintos niveles de iluminación

Una vez más los tamaños de muestra son los mismos, por lo que los grados de libertad y los valores t_{crit} serán los mismos que anteriormente.

Fondo de bosque claro

Iluminación de la pantalla	plena luz de la pantalla frente a mitad de luz de la pantalla	plena luz de la pantalla frente a la cuarta parte de luz de la pantalla
t_{calc}	0,4192	1,3871

Fondo de bosque oscuro

Iluminación de la pantalla	plena luz de la pantalla frente a mitad de luz de la pantalla	plena luz de la pantalla frente a la cuarta parte de luz de la pantalla
t_{calc}	0,7540	2,2673

t_{crit} para 88 grados de libertad = 1,9873 (p= 0,05) para un test de dos colas.

Todos los valores t_{calc} son inferiores a los valores críticos para el fondo claro, sea cual sea el nivel de iluminación. Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. Las diferencias podrían deberse al azar.

Por tanto no hay diferencia significativa debido a los niveles de luz de la pantalla utilizados para los fondos del bosque claro

Sin embargo, para los fondos oscuros t_{calc} es superior al valor crítico cuando se compara el fondo claro con plena luz con el fondo del bosque oscuro iluminado con la cuarta parte de luz. Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

La intensidad de la luz parece tener un efecto sobre las tasas de depredación en los ambientes de bosque oscuro simulados, pero solo cuando el nivel de luz se reduce hasta la cuarta parte de su intensidad total.

Comparación de depredación inicial con plena iluminación con respecto al control (vuelta a plena iluminación) al final

Ho = No hay ninguna diferencia entre las tasas de depredación, en el mismo bosque, al inicio y al final de la simulación

Ha = Hay una diferencia entre las tasas de depredación, en el mismo bosque, al inicio y al final de la simulación

Depredación inicial en el bosque claro frente al control en el bosque claro

$$t_{\text{calc}} = 0,7293$$

Depredación inicial en el bosque oscuro frente al control en el bosque oscuro

$$t_{\text{calc}} = 1,5810$$

Para ambas comparaciones los grados de libertad y los valores críticos son los mismos

$$\text{Grados de libertad} = (45 + 15) - 2 = 58$$

t_{crit} para 58 grados de libertad = 2,0017 (p= 0,05) para un test de dos colas

Ambos valores calculados son inferiores a los valores críticos, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula. No hay diferencia significativa entre las series iniciales y las series de control al final.

Ello es tranquilizador, ya que significa que los depredadores no han variado su rendimiento durante el desarrollo del experimento. Cualquier diferencia probablemente se deba al azar.

Discusión

La simulación tuvo éxito en el establecimiento de una diferencia significativa con respecto a la depredación de los dos tipos de polilla sobre distintos fondos. Ello fue cierto, fuera cual fuera el nivel de iluminación empleado.

Los depredadores humanos participantes en esta simulación no mostraron ningún signo de aprendizaje que pudiera haber mejorado su puntuación. Ello podría no ser cierto para los depredadores reales (aves) que podrían aprender a detectar a las polillas más fácilmente con la práctica a lo largo de un período más largo.

La diferencia en los niveles de depredación ante las modificaciones de la iluminación de la pantalla fue menos obvia. Solo el nivel de iluminación más bajo (la cuarta parte de luz en la pantalla) mostró una diferencia significativa con respecto a la plena iluminación de la pantalla y, en este caso, solo para el fondo del bosque oscuro. Los "depredadores" observaron que frente al fondo oscuro, la forma negra de la polilla se volvía bastante invisible. Aunque el test t no arrojó ninguna diferencia significativa de los resultados del bosque claro, el valor t calculado fue mayor al comparar la plena iluminación con la cuarta parte de luz, que cuando se comparó la plena iluminación con la mitad de luz. Debería ensayarse un mayor rango de niveles de iluminación para ver si hay una tendencia.

En el experimento intervenían depredadores humanos en una simulación que es obviamente diferente de la situación real. Los depredadores naturales de estas polillas son especies de aves de los bosques. Su visión no es la misma que los humanos que participaron en este experimento. Las aves tienen una visión que abarca el ultravioleta extremo del espectro. El

trabajo de Majerus, Brunton & Stalker (2000) reveló que las variedades de polilla moteada pueden ser más visibles para las aves depredadoras de lo que se pensaba inicialmente. La variedad moteada (*typica*) resulta bastante visible contra un fondo de líquenes cuando el líquen es de tipo foliar (folioso), aunque es menos visible cuando el líquen es de tipo plano (crustáceo). La variedad melánica (*carbonaria*) es menos visible en realidad bajo luz UV cuando reposa sobre un fondo folioso, pero es mucho más visible contra líquenes crustáceos.

La simulación se diseñó para acomodarse a las características visuales humanas (las aves no juegan con videojuegos) y en consecuencia ello limita las conclusiones que se pueden extraer. Quizás podría usarse una pantalla sensible al tacto con aves depredadoras reales o la simulación podría integrar sensibilidad a la luz UV.

La variación de los colores de la polilla moteada no es tan simple como la forma moteada y la forma melánica. La herencia es poligénica, por lo que hay variedades intermedias (*insularia*). Los colores intermedios no se simulan en este video y ello podría constituir una diferencia con respecto a la selección de los alelos que controlan los pigmentos de las alas de las polillas. Aunque ello haría que la simulación fuera un poco más compleja, podría introducirse en el juego una variedad intermedia simulada.

Las desviaciones estándar para estos datos mostraban una gran variación. No obstante, en general puede verse que las desviaciones estándar para el bosque claro son mayores que las existentes para el bosque oscuro.

Además de esto, la desviación del porcentaje medio de la variedad de coloración clara con respecto al porcentaje inicial (50%) es mayor para el bosque claro que para el bosque oscuro. Ello sugiere que la selección fue más acentuada en el bosque claro que en el bosque oscuro. Puede que no hubiera un sesgo completo en la simulación.

Algunos de los "depredadores" notaron que las pantallas de los ordenadores portátiles estaban llenas de huellas digitales y que precisaban ser limpiadas. Es posible que ello haya introducido una variable no controlada en el experimento. La solución sería limpiar las pantallas antes del inicio de la simulación.

Referencias

- Craig Tevis tevis Peppered Moth Interactive Craig Tevis tevis@intertex.net craig@techapps.net
 Kettlewell, H.B.D. (1955) Selection experiments on industrial melanism in the Lepidoptera. *Heredity* 9: 323-342.
 Kettlewell, H.B.D. (1956) Further selection experiments on industrial melanism in the Lepidoptera. *Heredity* 10: 287-301.
 Leibert T. G. & Brakefield P. M. (1987) Behavioural studies on the peppered moth *Biston betularia* and a discussion of the role of pollution and lichen in industrial melanism. *Biological J. of the Linnean Soc* 31: 129-150
 Majerus M. E. N., Brunton C. F. A. & Stalker J. (2000) A bird's eye view of the peppered moth *J. EVOL. BIOL.* 13 (2000) 155-159