



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente

Convocatoria 2015

Nº 341

Haciendo visibles procesos e interacciones ecológicas a través
de la experimentación

Juan Antonio Delgado Sáez

Facultad de Ciencias Biológicas

Departamento de Ecología

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

La docencia de la Ecología en los grados de biología tiene como dificultad para los alumnos un nivel elevado de abstracción, cuantificación y formalización en comparación con otras materias afines. Esta dificultad no es sólo por el empleo de análisis estadísticos y modelos matemáticos sino también por el uso de conceptos que tienen difícil materialización física y que requieren que el alumno sea capaz de aprehenderlos desde una posición abstracta o a partir de una serie más o menos larga de ejemplos. Otra opción es el uso de los llamados "experimentos mentales" tan usados desde la física, pero que requieren igualmente un nivel de abstracción al que no pueden o no desean llegar los actuales estudiantes de la asignatura en 3º de Grado.

Los estudiantes provienen de una cultura de la brevedad y la inmediatez, basada en formatos cortos, tanto de lectura como de vídeo, lo que hace muy difícil conseguir que se centren en explicaciones largas, ni siquiera que aborden el visionado de documentales de más de media hora de duración y mucho menos que se impliquen en lecturas de libros para completar su formación.

Durante los últimos años se ha ido incluyendo en las clases experimentos mentales, vídeos de corta duración (menos de 4 minutos) desarrollando experimentos sobre fenómenos físicos y conexiones a programas online para abordar conceptos matemáticos. Sin embargo, los alumnos confiesan que sólo los ven en clase y que no los vuelven a usar para estudiar.

Preguntándoles sobre cómo consideran que les resultaría más fácil aprender nos indican que haciendo cosas. Solicitan cada vez más que les enseñemos a hacer las cosas haciéndolas y no mediante lectura o el uso de fórmulas matemáticas. Es evidente que ya tienen contenidos prácticos y, aunque es posible apoyarse en la realización de prácticas para facilitar la adquisición de los conceptos abstractos a través de la experimentación y discusión de ejemplos y alternativas, el desarrollo de las mismas implicaría que sólo se podrían abordar una serie muy limitada de los mismos.

Sin embargo, dado el alto contenido en prácticas de la asignatura de Ecología, nos preguntamos por qué los estudiantes no consiguen ni dominar los contenidos prácticos que les proporcionamos ni mejorar especialmente en su conocimiento sobre los conceptos teóricos que abordamos en las prácticas. Nuevamente el problema es el alto grado de abstracción que tenemos en las prácticas de la asignatura.

Partiendo de que, aunque las prácticas se rehicieron para el grado, sus contenidos no difieren demasiado de cuando la asignatura se impartía en licenciatura. Nos encontramos, por tanto, con estudiantes menos maduros y con peores conocimientos de matemáticas.

Consideramos, por tanto, que se hace necesario, por lo tanto, obtener material de apoyo que permita a los estudiantes trabajar sobre los conceptos abstractos a partir de formulaciones más concretas y poder hacerlo tanto en el ámbito de

las clases de prácticas y teoría como posteriormente en sus horas de estudio y trabajo individual.

Para ello proponemos la realización de modelos de experimentación que permitan abordar conceptos abstractos en ecología a través de la selección de procedimientos experimentales necesarios para obtener las mediciones (el cómo se hace). Sobre estos procedimientos se realizará un modelo lo más real posible con todos los elementos básicos, de manera que los estudiantes puedan ver la configuración material del mismo y, sobre éste esquema discutir las limitaciones empíricas y su aportación a la generalización abstracta del proceso medido. Los modelos desarrollados podrán usarse, además en la explicación de los ámbitos de investigación que realice el Departamento a las visitas de Institutos de Secundaria.

Además, se propone crear tutoriales que puedan ser puestos a disposición del público en general a través de un medio de difusión social tan ampliamente utilizado como es Youtube para que puedan visualizar los detalles del proceso cuando lo consideren necesario. El tutorial presentará el concepto, una propuesta de ensamblaje material, una visualización del procedimiento y resultados discutidos con referencias bibliográficas y apoyo teórico.

Por lo tanto, los objetivos específicos propuestos en el presente proyecto eran:

- Realización de modelos materiales para el estudio de procesos e interacciones ecológicas.
- Realización de fichas resumen que sinteticen los contenidos y procedimientos para las visitas
- Realización de tutoriales y material audiovisual empleando dichos modelos.
- Evaluación de la utilidad de dichos modelos y materiales con estudiantes de la asignatura de ecología.
- Publicación de material audiovisual en Youtube

2. Objetivos alcanzados

No pudieron alcanzarse todos los objetivos propuestos y los conseguidos lo hicieron con modificaciones a como fueron planeados. Parte de estas desviaciones se debieron a problemas presupuestarios, pero otra parte a problemas técnicos para la realización de los modelos experimentales. Igualmente, se realizaron pequeñas adaptaciones sobre lo planeado para mejorar los experimentos o para hacerlos más sencillos y con menos requerimientos de material.

A continuación discutimos el grado de consecución de cada uno de los objetivos específicos.

Realización de modelos materiales para el estudio de procesos e interacciones ecológicas

De las tres propuestas de experimentación que teníamos previstas, sólo se pudo completar una de ellas al 100% con una ligera mejora metodológica (Transferencia de energía desde el productor primario al consumidor primario). Se decidió gastar el presupuesto concedidos en terrarios de calidad para garantizar la supervivencia de los animales de experimentación. Especialmente al dejarlos sin supervisión durante los fines de semana. Esto permitía, además, un expositor adecuado para mostrar la experimentación.

Aunque la segunda propuesta de experimentación (Influencia de los factores ambientales sobre los procesos de transferencia de energía) requería básicamente el mismo set experimental, necesitaba además de sistemas para controlar la temperatura en los terrarios, no consiguiéndose suficiente financiación. Los cables térmicos más baratos nos fueron desaconsejados para animales que requerían una humedad ambiental elevada. Aunque pensamos en alternativas más económicas e incluso soluciones caseras, concretamente el uso de lámparas de radiación o algún tipo de halógena que emita suficiente calor, las descartamos porque implicaban:

- Peligro de cortocircuito eléctrico: Al no poder realizar el dispositivo eléctrico estanco y requerir el animal de experimentación niveles elevados de humedad que requerían de pulverizaciones de agua.
- Quemaduras para los animales de experimentación: Los animales podían sufrir quemaduras al entrar en contacto con los elementos calefactores indevidamente protegidos.
- Quemaduras para las personas que realizaran la experimentación: Poco probables, pero a tener en cuenta, especialmente si lo realizan estudiantes.
- Por este motivo fue sustituida por una propuesta distinta, un modelo para la estimación de tamaños poblacionales en animales móviles basado en métodos de marcado y recaptura.

Finalmente, la tercera (Transferencia de energía: la ruta de los descomponedores) requería de la compra de stickbaits que fue imposible conseguir por problemas presupuestarios. Intentamos reproducirlos nosotros, pero no conseguimos hacerlo y la prueba usando directamente material vegetal sobre soporte plástico no dio los resultados mínimos de calidad. La probabilidad de fracasar y de que no se pudiera medir nada eran demasiado elevados por lo que fue rechazada.

Por estos motivos se decidió sustituirla por una experimentación alternativa que abordaba el estudio de la depredación desde el modelo de Lotka y Volterra.

Realización de fichas resumen que sinteticen los contenidos y procedimientos para las visitas

Se ha sustituido la ficha por un guión detallado de la práctica con aportación de la teoría necesaria para su comprensión e información adicional de qué puede salir mal en la práctica.

Realización de tutoriales y material audiovisual empleando dichos modelos.

Se han elaborado hojas de cálculo (Excel), en ocasiones con programación de macros, conteniendo la información básica resumida sobre el desarrollo de la práctica. También presentaciones de diapositivas (PowerPoint) sobre la motivación, desarrollo e interpretación de las prácticas.

Evaluación de la utilidad de dichos modelos y materiales con estudiantes de la asignatura de ecología.

Las aproximaciones prácticas y la precisión de los guiones y de las hojas de cálculo se han contrastado realizando las prácticas por parte de los profesores implicados en el Proyecto, ayudados por estudiantes colaboradores del Departamento de Ecología.

Publicación de material audiovisual en Youtube

Pendiente de resolver problemas de derechos de autor con las fotografías y metodologías empleadas.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología consistía en el diseño de experiencias prácticas con materiales fáciles de conseguir e instrumentos de medida de amplia disponibilidad. Aunque nosotros empleamos material de alta calidad material y técnica, aportamos soluciones baratas pero adecuadas para adaptarse a todos los niveles de equipación y presupuestos.

Construcción de modelos materiales

Transferencia de energía desde el productor primario al consumidor primario: Utilizamos una especie muy robusta y fácil de mantener en terrario, el insecto palo de Vietnam (*Medauroidea extradentata*). Sólo requiere terrarios altos y pulverizaciones de agua casi diaria. En terrarios de plástico, mal ventilados, puede sufrir sobrecalentamiento y problemas con hongos, por lo que se requiere buena supervisión y ventilar suficientemente. Nosotros optamos por terrarios de buena calidad constructiva y bien ventilados ya que empezamos a tener problemas con hongos al volver del fin de semana.

Estima de tamaños poblacionales en animales móviles basado en métodos de marcado y recaptura: Esta práctica se daba antiguamente en la asignatura de Ecología empleando corchos numerados como población experimental. En esta nueva aproximación experimental usamos una colección de fotografías de apéndices caudales de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). De este modo el estudiante podrá practicar el procedimiento de fotoidentificación, muy usado en cetáceos y cada vez más en otros grupos de vertebrados al hilo del auge del fototrampeo.

Estudio de la depredación desde el modelo de Lotka y Volterra: Esta práctica se impartía antiguamente en la asignatura de Ecología empleando únicamente una aplicación de ordenador y centrada en la dinámica del modelo. En esta versión utilizamos una aproximación experimental con simulación física del proceso de depredación (captura de presas artificiales con pinzas y los ojos vendados). En esta aproximación nos centramos en el significado de los parámetros del modelo y la idea de refugio de la depredación.

Elaboración del material audiovisual

Se ha elaborado una presentación con power point y se valorará la posibilidad de pasar la misma a video. La adaptación a Youtube se realizará subtitulando en inglés y editando para que pueda ser utilizado en cualquier plataforma sin que el tamaño del archivo sea un inconveniente. Sin embargo estamos pendientes de resolver los problemas de derechos de autor con fotografías y metodologías empleadas.

Se han elaborado hojas de cálculo que muestran información gráfica y explicaciones de apoyo para la actividad de depredación y de estimación de tamaños poblacionales.

4. Recursos humanos

Todo el profesorado implicado en la realización de este proyecto docente pertenece al Departamento de Ecología (Facultad de Biología). El proyecto ha permitido compartir ideas a profesores senior (José Manuel Serrano Talavera y Jesús María Barandica Fernández) que ya habían participado en la construcción de prácticas de la asignatura de Ecología con otros que las habían impartido pero que no habían tenido oportunidad de participar en su creación (María Dolores Jiménez Escobar y Juan Antonio Delgado Sáez).

También hay que reconocer el apoyo de Sara García Fungairiño en el cuidado de los animales de experimentación. Y de la estudiante Nathalia Hernández Pazmiño, por su colaboración en el experimento de transferencia de energía en la cadena trófica escaneando y pesando muestras.

5. Desarrollo de las actividades (Máximo 3 folios)

Transferencia de energía desde el productor primario al consumidor primario:

Para comprobar la factibilidad de realizar esta práctica y la precisión del guión elaborado, realizamos varias veces la misma en varias semanas consecutivas. Para ello utilizamos 12 hembras de *Medauroidea extradentata* repartidas en dos terrarios y en varias tandas sucesivas de experimentación. Como productor primario se les proporcionaba hojas de rosal cultivado obtenido de los jardines de la Ciudad Universitaria. Las hojas eran lavadas, escaneadas y dispuestas en los terrarios sumergiendo el peciolo en un bote de plástico de 20ml con el tapón perforado para que permanecieran frescas durante todo el experimento.

Tras un periodo mínimo de 24 horas y máximo de 72 se retiraban las hojas para volver a escanearlas y poder estimar la cantidad que han sido comidas. Hay que recoger los posibles fragmentos que hayan quedado en el suelo del terrario que pueden ser muy pequeños. En este trabajo se asume que los animales no consumen el peciolo, por lo que se deshechó para realizar las medidas de peso y superficie. Esta asunción se cumplió para todas las experimentaciones que realizamos lo que, en parte, se debe a que tenían muy poco acceso al peciolo. En los terrarios comunes, ya fuera de la experimentación podían comer los tallos de forma ocasional y siempre una cantidad mínima.

Aunque la idea original era pesar los individuos para ver cuánto habían engordado, al usar hembras que ponen huevos decidimos estimar la producción secundaria a través de los huevos que ponen ya que una vez que son adultos no crecen. Esta técnica se usa para medir la producción del

pláncton, donde pesar los individuos es imposible. Con esta aproximación, se considera Las pequeñas variaciones de peso que experimentan las hembras son despreciables siempre que estén en condiciones no estresantes

Una vez decidido el uso de los huevos, se consideró que no en todas las circunstancias era posible pesara los huevos y los excrementos (peso seco) ya que se requiere balanzas de mucha precisión. Por lo tanto se decidió aportar factores de conversión que facilitaran la estimación de estos pesos a partir del número de huevos o excrementos. De esta forma es posible realizar la práctica cuando por problemas de equipamiento, logísticos o de organización docente no es posible realizar el pesado de los mismos.

Con la experiencia obtenida del desarrollo de estas prácticas descubrimos muchos de los resultados imprevistos que nos hicieron modificar el guión. A continuación apuntamos los principales consejos:

- Aunque es muy poco frecuente, de hecho sólo ocurrió en una ocasión, el papel que se sitúa en el terrario fue consumido en parte por el animal de experimentación. Se advierte que hay que considerarlo a la hora de interpretar los resultados.
- Lo ideal es usar sólo una hembra por terrario para una mayor precisión de los resultados ya que las hembras consumen alimento a distintas tasas y pueden poner huevos a distintas tasas. Esto puede dar lugar a resultados anómalos (ver más adelante).
- Es posible realizar el experimento tras un sólo día, pero aconsejamos usar dos o tres días para obtener resultados más consistentes.
- Resultados anómalos: En una ocasión, eficiencias de asimilación negativas, en dos ocasiones eficiencias de producción extraordinariamente altas, una incluso por encima del 100%. Las eficiencias de asimilación negativas indican que hay más peso de excrementos que peso de hoja consumido. Esto implica que la hembra casi no se alimentó, pero siguió produciendo excrementos por el alimento que ya tenía en el tubo digestivo previo al experimento. Este resultado irá asociado a tasas de consumo relativo muy bajas. En el caso de tasas de producción muy elevadas el origen se debe a una alta producción de huevos en relación al peso de hoja asimilado. El herbívoro ha tirado de las reservas corporales para producir sus huevos. En ambos casos se produce una no conformidad con el supuesto de que el peso de la hembra permanece constante a lo largo del experimento. Estos problemas pueden deberse a que las hembras de insecto palo vietnamita son demasiado viejas o a condiciones ambientales inadecuadas. Lo que puede conducir a una falta de alimentación falta de alimentación o a la reducción drástica de la puesta de huevos. La falta de humedad relativa o temperaturas muy frías pueden inhibir la alimentación. Aunque es una especie muy resistente, se aconsejan temperaturas entre 18 y 33°C y humedades relativas entre 50-70%.

Estima de tamaños poblacionales en animales móviles basado en métodos de marcado y recaptura

En un primer momento la idea era convertir una práctica en la que primaba la realización matemática de las estimas con una fase experimental muy conceptualizada en una práctica donde se trabajaran más las habilidades que había que adquirir en el grado. En la práctica antigua, el modelo material de la población eran corchos numerados lo que hacía la tarea fácil pero poco excitante para los estudiantes. En principio se pensó la posibilidad de trabajar con animales de verdad, por ejemplo, con larvas de díptero de las familias Calliphoridae, Sarcophagidae y Muscidae que se venden comercialmente bajo el nombre de asticot. O bien larvas de escarabajo de la harina (*Tenebrio molitor*) también comercializadas y, en este caso fáciles de mantener y criar en cautividad. Sin embargo, se desestimó, dado que había que utilizar grandes cantidades que habría que renovar todos los años. Esto implicaría problemas para deshechar gran cantidad de animales cada año o, en su caso, mantener grandes poblaciones en cautividad, careciendo de instalaciones adecuadas. Además, implicaría el uso de organismos cuyas poblaciones no suelen estimarse utilizando este tipo de muestreos.

Por lo tanto, decidió usarse como organismo modelo una especie en la que el método de captura recaptura se utilizara para la estimación de sus tamaños poblacionales, seleccionándose la ballena jorobada o megaptera (*Megaptera novaeangliae*). Obviamente no podríamos traer las ballenas al laboratorio ni enviar a los estudiantes a avistar las ballenas, por lo que recurrimos a una base digital de fotografías ya existente. Concretamente, de la población de megapteras de la zona de las Bermudas, obtenidas a través de Flickr y que son parte de una base de datos mantenidas por el grupo de investigación Allied Whale del College of the Atlantic. Aunque obviamente no utiliza objetos reales se aproxima a la realidad en tres aspectos fundamentales:

- El método de marcaje y recaptura es el utilizado para esta especie
- Los investigadores identifican los individuos del mismo modo en el que lo van a realizar los estudiantes.
- Los investigadores utilizan más fotos tomadas por otros (incluidas turistas implicados en actividades de avistamiento de ballenas) que las suyas propias y por supuesto que observaciones de campo.

El método utilizado es a través de una hoja de cálculo (Excel) que incluye información sobre la especie, sobre la forma de realizar la identificación individual de los ejemplares de esta especie y que realiza un muestreo virtual de la población de fotos y el estudio de las mismas para estimar tamaños poblacionales de acuerdo a dos métodos, Petersen-Lincoln y Schnabel. El método concreto empleado para la realización de los muestreos es una macro programada que muestrea la base de datos que permanece oculta para el usuario. Después aparecen las fotos realizadas en los sucesivos viajes de muestreo incrustadas en un comentario de revisión asignado a una determinada celda, de manera que aparecen ocultas aunque pueden ser desplegadas a voluntad.

Este método, por culpa de un fallo de programación de Excel, proporciona un error si guardamos el archivo después de haber realizado el muestreo. La próxima vez que se abre da un error y restaura el archivo borrando las fotos

muestreadas de los comentarios. No es un inconveniente grave, el archivo puede volver a guardarse en formato normal, pero es una incomodidad para el estudiante y el desarrollo de la práctica. Por este motivo hay una indicación clara de que no puede guardarse el archivo con los cambios.

Estudio de la depredación desde el modelo de Lotka y Volterra

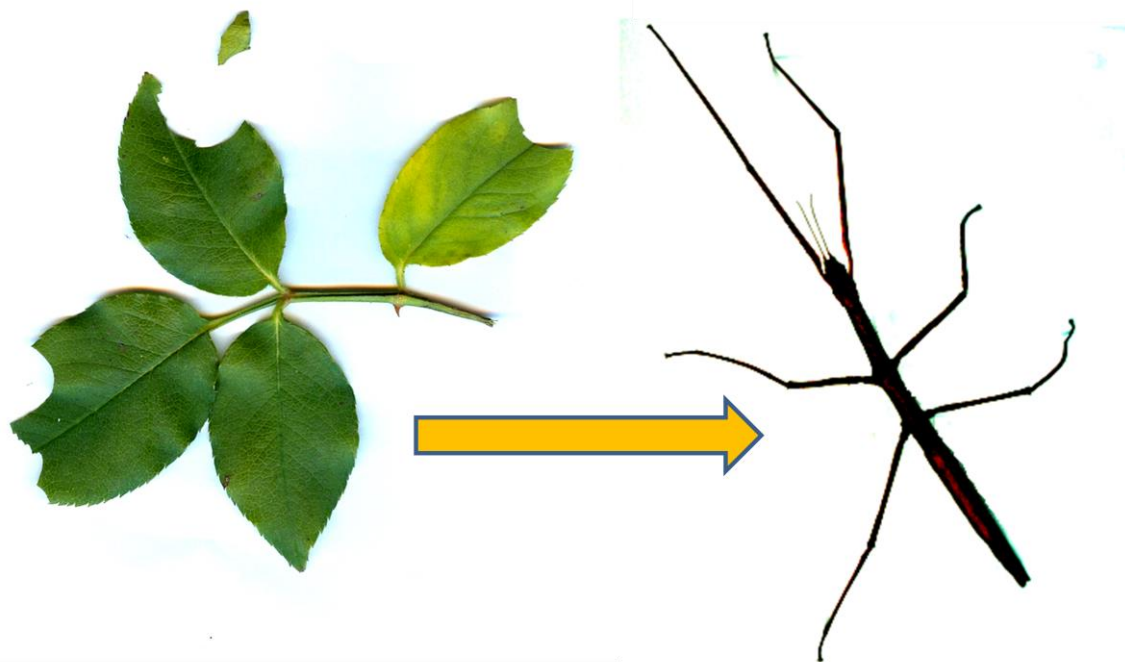
En un primer momento la idea era convertir una práctica en la que primaba el comportamiento dinámico del modelo básico y de las mejoras que se han ido incorporando al mismo en una práctica que incluyera una parte experimental de manipulación física de objetos. Se barajó la posibilidad de trabajar con animales de verdad, por ejemplo, con larvas de díptero de las familias Calliphoridae, Sarcophagidae y Muscidae que se venden comercialmente bajo el nombre de asticot. O bien larvas de escarabajo de la harina (*Tenebrio molitor*) también comercializadas y, en este caso fáciles de mantener y criar en cautividad. Sin embargo el grado de manipulación requerido para simular una depredación podría dañar físicamente a los animales. Adicionalmente, estaba el problema de utilizar grandes cantidades que habría que renovar todos los años. Esto implicaría problemas para deshechar gran cantidad de animales cada año o, en su caso, mantener grandes poblaciones en cautividad, careciendo de instalaciones adecuadas. Por este motivo se desestimó el uso de animales vivos y se optó por objetos inanimados.

6. Anexos

Fichas de las prácticas

PRACTICA 1:

Determinación de la transferencia de energía entre niveles tróficos



M^a Dolores Jiménez Escobar

Jesús Barandica

José Manuel Serrano

Juan Antonio Delgado Sáez

Departamento de Ecología UCM

DETERMINACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ENTRE NIVELES TRÓFICOS

Introducción

La transferencia de materia y energía entre niveles tróficos constituye una de los procesos más relevantes en el estudio de los ecosistemas, y por ello su estudio y cuantificación ha preocupado a los biólogos desde antaño. Fueron pioneros de éste tipo de estudios Raymond L. Lindeman (1942) y su esposa Eleanor Hall, los cuales tomaron muestras durante 5 años de agua, sedimentos, plancton y bentos en las diferentes estaciones del año en el pequeño lago Cedar Bog (Minnesota, EEUU). Lindeman organizó toda esta información desarrollando un esquema de dinámica trófica que relacionaba los datos biológicos y fisico-químicos. Para ello organizó las especies en grupos de acuerdo a sus hábitos alimentarios. Pudo así establecer hipótesis del funcionamiento del lago a través de la cuantificación de la transferencia de energía a través de los diferentes grupos tróficos establecidos. Quince años después los estudios de transferencia energética se consolidaron con la serie de publicaciones realizadas por Howard T. Odum (1957) que empezaba con su trabajo pionero sobre la estructura trófica y la producción de los distintos niveles tróficos en Silver springs (Florida, EEUU).

Así surgió el concepto de pirámide trófica como una manera de representar la estructura trófica de un ecosistema de manera cuantitativa. En la parte inferior se sitúa la biomasa (o energía) presente en los productores primarios. Inmediatamente encima y con menor biomasa se representa los consumidores secundarios (herbívoros). Encima de estos los consumidores secundarios (carnívoros) con mucha menor biomasa. El concepto de la pérdida de energía en el paso entre niveles tróficos es clave en ecología y permite explicar, por ejemplo, la distinta abundancia de herbívoros y depredadores (¿Por qué son escasas las fieras?; Colinvaux, 1984). La cuantificación de las transferencias entre niveles tróficos es un procedimiento costoso y ante la falta de datos se popularizó la hipótesis de que sólo se transfería el 10% de la energía de un nivel al siguiente (regla del 10%, Slobodkin 1961). Esta simplificación permite incorporar el concepto básico de disminución de la energía a lo largo de la cadena trófica. Pero podría ocultar las diferencias que existen en las eficacias de transferencia entre niveles tróficos y entre distintos ecosistemas.

Aunque existen ejemplos en la bibliografía con gráficos mostrando esta diferencia para distintos tipos de ecosistemas (Begon et al. 1999, por ejemplo) y existen ejemplos para determinados ecosistemas con datos que nos permiten realizar los cálculos (Odum, por ejemplo). Es una tarea que resulta tediosa y abstracta para los alumnos. Además, por su dinámica, el profesor encuentra más propio que el alumno realice esos cálculos por su cuenta y no dedicar tiempo a ello en el aula.

La realización de prácticas sobre este concepto podría ser de utilidad al permitir al estudiante concretar sus cálculos en objetos materiales. La realización de una práctica para entender este proceso tendría problemas de escala (espacial y temporal) si lo que se

pretende es realizar el cálculo de transferencias a través de un ecosistema completo. Sin embargo, sí es viable si usamos un sistema simplificado.

El uso de modelos materiales en la enseñanza no es una novedad. Es clásico el uso de modelos de moléculas para la enseñanza de la química orgánica, por ejemplo, o de moldes para las de anatomía. Sin embargo, es muy poco frecuente el uso de modelos complejos, en cierta medida, mesocosmos, para la discusión de conceptos ecológicos. El papel de estos mesocosmos sería el permitir la visualización de los elementos y, en parte, sus interacciones para seguir el razonamiento del profesor acerca del funcionamiento del sistema. Es un modelo que facilita la "visualización" de un experimento mental que propone el profesor para investigar el funcionamiento del sistema.

El desarrollo de un modelo físico podría facilitar a los estudiantes resolver por sí mismos partes claves del diseño del estudio y profundizar en la realidad que hay detrás de las medidas de eficacia de transferencia que están calculando:

Puede utilizarse para hacer pensar a los alumnos sobre:

- ¿Cómo medirían las diferentes variables del sistema?
- ¿Cómo variaría el funcionamiento ante diferentes condicionantes externos? (variación de la temperatura, por ejemplo)
- ¿Qué limitaciones tiene el modelo experimental?

Para este tema aportamos un audiovisual que explica el desarrollo de la práctica, la configuración de un mesocosmos que permita realizar la práctica, los guiones y un ejemplo de la misma.

GUIÓN DE LA PRÁCTICA

Determinación de la eficacia de transferencia de energía del productor primario al consumidor primario



Figura 1: La hojas de rosal son la producción primaria de las que se alimenta el herbívoro, en el un sistema simplificado (mesocosmos).

Objetivo

Analizar la pérdida de energía en la transferencia entre niveles tróficos. Concretamente, se analizará la eficacia de transferencia desde el productor primario, hojas de rosal ornamental (*Rosa* sp.), al consumidor secundario, el insecto palo vietnamita (*Medauroidea extradentata*).

Preparación de la práctica

1.-Material necesario

- Una hembra adulta de insecto palo vietnamita que esté poniendo huevos activamente (una hembra por terrario).
- Terrarios pequeños de unos 20x20x40 cm (largo, ancho, alto).
- Hojas enteras de rosal con peciolo.
- Bote de plástico 10 ml o similar (su función es mantener en agua las hojas)
- Botella con espray rellena con agua.

- Escaner plano
- Ordenador
- Programa gratuito de análisis de imagen ImageJ
- Balanza de precisión o tabla adjunta de conversión de área a peso seco

2.-Desarrollo de la práctica

1º). Se recogen hojas de rosál, preferentemente el mismo día, pero pueden conservarse ramas en agua o bien las hojas en la nevera (4°C). Con el fin de estimar la biomasa de hojas, se escanea cada hoja de rosál en un escáner plano a una resolución mínima de 200 ppp y usando una escala de referencia para, posteriormente, poder obtener medidas de superficie. Alternativamente, se pueden realizar fotografías digitales sobre fondo blanco de todas las hojas, con cuidado de que la iluminación, la altura y la orientación desde la cual se realicen las fotos sean siempre las mismas. También se precisará de una escala para usar de referencia.

2º) Se introduce una hembra por terrario junto a una hoja previamente escaneada. Las hojas se colocan dentro del frasco de agua de 10 ml con el peciolo atravesando el tapón del bote. De esta forma garantizamos que la hoja pueda permanecer fresca durante el desarrollo del experimento.

3.-Medición

1.- Estima del consumo por parte del herbívoro

Tras un periodo mínimo de 24 horas y máximo de 72:

1º) Se retiran las hojas para volver a escanearlas (o fotografiarlas) y poder estimar la cantidad que han sido comidas.

2º) Hay que recoger los posibles fragmentos que hayan quedado en el suelo del terrario.

3º) Se contabilizarán el número de huevos y de excrementos que haya en el suelo.

2.-Medición de la superficie de hoja consumida:

La superficie de hoja consumida por el herbívoro se calculará como la diferencia de superficie de las hojas antes de entrar en el terrario y después de ser retiradas.

3.-Estimación de la Biomasa consumida.

Después de escaneadas las hojas éstas se llevarán a una estufa y se mantendrán al menos 48 horas a 70°C para la obtención del peso seco, usando una balanza de precisión (0.001g).

Obtención del peso por unidad de superficie: Dividiendo el peso seco de las hojas medidas en la estufa entre su superficie, se obtiene el peso seco por unidad de superficie (PS mg /SF cm²).

Obtención del peso seco de las hojas antes de ser comidas: Conocida el área de las hojas antes de ser consumidas, se multiplica dicha área por el peso seco por unidad de superficie.

Obtención del peso seco de las hojas consumidas: El peso seco por unidad de superficie multiplicado por la superficie de hoja consumida, proporciona ahora el peso seco de hoja consumido por el herbívoro.

NOTA: Si se carece de una balanza de precisión pueden usarse los valores proporcionados más adelante (tabla 1).

4. Asimilación por parte del consumidor primario

Después de contados los huevos y los excrementos se llevarán a una estufa y se mantendrán al menos 48 horas a 70°C para la obtención del peso seco, usando una balanza de precisión (0.001g).

El peso de los excrementos nos aportará la biomasa de hoja que ha sido consumida, pero no asimilada por el herbívoro.

Dado que las hembras adultas no crecen, puede asumirse que el peso de los huevos constituye la biomasa de hoja que ha sido consumida, asimilada y transformada en nueva biomasa de consumidor primario.

NOTA: Si se carece de una balanza de precisión pueden usarse los valores proporcionados más adelante (tabla 1).

Cálculos

Para realizar los cálculos asumimos que la biomasa de hojas puesta a disposición del herbívoro es la producción primaria de nuestro sistema. Queremos calcular la eficiencia de transferencia desde el productor primario al consumidor secundario (P_n / P_{n-1}) como el porcentaje de la producción de un nivel trófico (P_{n-1}) que pasa como producción al nivel trófico siguiente (P_n). Esta eficiencia de transferencia puede descomponerse en el producto de tres eficiencias, la eficiencia de consumo (I_n / P_{n-1}), la eficiencia de asimilación (A_n / I_n) y la eficiencia de producción (P_n / A_n).

Eficiencia de transferencia = Eficiencia de consumo * Eficiencia de asimilación * Eficiencia de producción

$$P_n / P_{n-1} = (I_n / P_{n-1}) * (A_n / I_n) * (P_n / A_n)$$

Siendo:

La eficiencia de consumo (I_n / P_{n-1}), podemos definirla como el porcentaje de la producción disponible en un nivel trófico (P_{n-1}) que es ingerida por el nivel trófico situado justo encima (I_n)

$$EC = I_n / P_{n-1} * 100$$

En nuestra práctica, I_n es el peso seco de hoja ingerido por el herbívoro y P_{n-1} el peso seco de hoja proporcionado al herbívoro, es decir, el peso seco de la hoja antes de ser metida en el terrario.

La eficiencia de asimilación (A_n / I_n) podemos definirla como el porcentaje de la energía ingerida como comida por en un nivel trófico (I_n) que es asimilada y queda disponible para crecimiento o desarrollar trabajo (A_n)

$$EA = A_n / I_n * 100$$

En nuestra práctica, A_n se calcula como la resta entre el peso de hoja ingerido (I_n) y el peso de excrementos que constituyen la biomasa ingerida pero no asimilada.

La eficiencia de producción (P_n / A_n), podemos definirla como el porcentaje de la energía asimilada (A_n) que es incorporada como nueva biomasa, lo que constituye la producción de dicho nivel trófico (P_n)

$$EP = P_n / A_n * 100$$

En nuestra práctica, P_n es el peso seco de los huevos producidos durante el experimento.

Valores de conversión

Para la realización de esta práctica siempre es necesario usar la superficie de hoja para estimar el peso seco de la misma. Esto se debe a que no podemos obtener el peso seco de las hojas frescas que proporcionamos al herbívoro. Esta estima del peso por unidad de superficie puede realizarse con la superficie de las hojas tras sufrir la herbivoría y el peso seco de las mismas. De esta forma podemos obtener una estima del peso seco de las hojas multiplicando la superficie inicial por este factor de conversión.

Sin embargo, la realización de la práctica requiere de una balanza de precisión con una resolución elevada (0.001g) para poder pesar los huevos y los excrementos. Si no se dispone de la misma, puede usarse la siguiente tabla de conversión.

Tabla1: Todos datos de ésta tabla de conversión han sido obtenidos experimentalmente

Variable	Peso seco (g)
1 cm ² de hoja	0.01226
1 Huevo	0.00227
1 Excremento	0.00349

EJERCICIO A REALIZAR POR EL ESTUDIANTE

Una hembra de insecto palo vietnamita puede medir hasta 10 cm de longitud del cuerpo y tiene un peso seco de 0.375 g. Cada hoja de rosál tiene una superficie promedio de 43,6992 cm² y un peso seco promedio de 0.56975 g. En nuestros experimentos, el consumo por hembra osciló entre 0.02726 y 0.10981 g de peso seco de hoja diarios (0.08027 g de media). La variabilidad es alta ya que depende de la temperatura y, en menor medida, de la humedad relativa del aire. Esto supone entre un 7.29% y un 29.28% de su peso seco. Con este consumo, cada hembra produjo entre 6 y 9 excrementos y puso entre 3 y 5 huevos.

Calcula el consumo diario por hembra (%), las tres eficiencias E_c , E_a y E_p , y la eficiencia en la transferencia para una hembra de insecto palo vietnamita, durante 48 horas a las que se la ofreció en el terrario 2 hojas completas de rosál.

Variable	Valor
Superficie de hojas ofrecida (cm ²)	83.796 (2hojas)
Superficie de hojas después de consumo (cm ²)	69.283 (2hojas)
Superficie de hojas consumidas (cm ²)	14.513 (2 días)
Excrementos producidos (unidades)	10 (2 días)
Huevos producidos (unidades)	8 (2 días)
Peso de hojas ofrecido (g)	
Peso de hojas consumido	
Peso de excrementos producidos	
Peso de huevos producidos	
Consumo diario relativo por hembra (%)	(recordar que los datos son de 2 días)
Eficiencia de consumo	
Eficiencia de asimilación	
Eficiencia de producción	
Eficiencia de transferencia	

ACLARACIONES METODOLOGICAS

- Los cálculos para superficies y peso de hoja se han realizado considerando sólo la superficie plana de los folíolos, sin considerar el raquis ya que rara vez es consumido.
- Las hojas se ofrecen enteras con todos los folíolos, raquis y peciolo para una mejor conservación.
- Lo ideal es usar **sólo una hembra por terrario** para una mayor precisión de los resultados
- Es posible realizar el experimento tras un sólo día, pero aconsejamos usar dos o tres días para obtener resultados más consistentes.
- A lo largo de nuestras experiencias hemos encontrado resultados aparentemente anómalos. Por ejemplo, eficiencias de asimilación negativas o eficiencias de producción extraordinariamente altas, incluso por encima del 100%. En el caso de las eficiencias de asimilación negativas indican que hay más peso de excrementos que peso de hoja consumido. Esto implica que el herbívoro casi no se ha alimentado. Pero que ha producido excrementos por el alimento que ya tenía en el tubo digestivo previo al experimento. Este resultado irá asociado a tasas de consumo relativo muy bajas. En el caso de tasas de producción muy elevadas el origen se debe a una alta producción de huevos en relación al peso de hoja asimilado. El herbívoro ha tirado de las reservas corporales para producir sus huevos. En ambos casos se produce una no conformidad con el supuesto de que el peso de la hembra permanece constante a lo largo del experimento.
- Otro problema detectado es la falta de alimentación o de puesta de huevos. Puede deberse a que las hembras de insecto palo vietnamita son demasiado viejas o a condiciones ambientales inadecuadas. La falta de humedad relativa o temperaturas muy frías pueden inhibir la alimentación. Aunque es una especie muy resistente, **se aconsejan temperaturas entre 18 y 33°C y humedades relativas entre 50-70%.**

Referencias

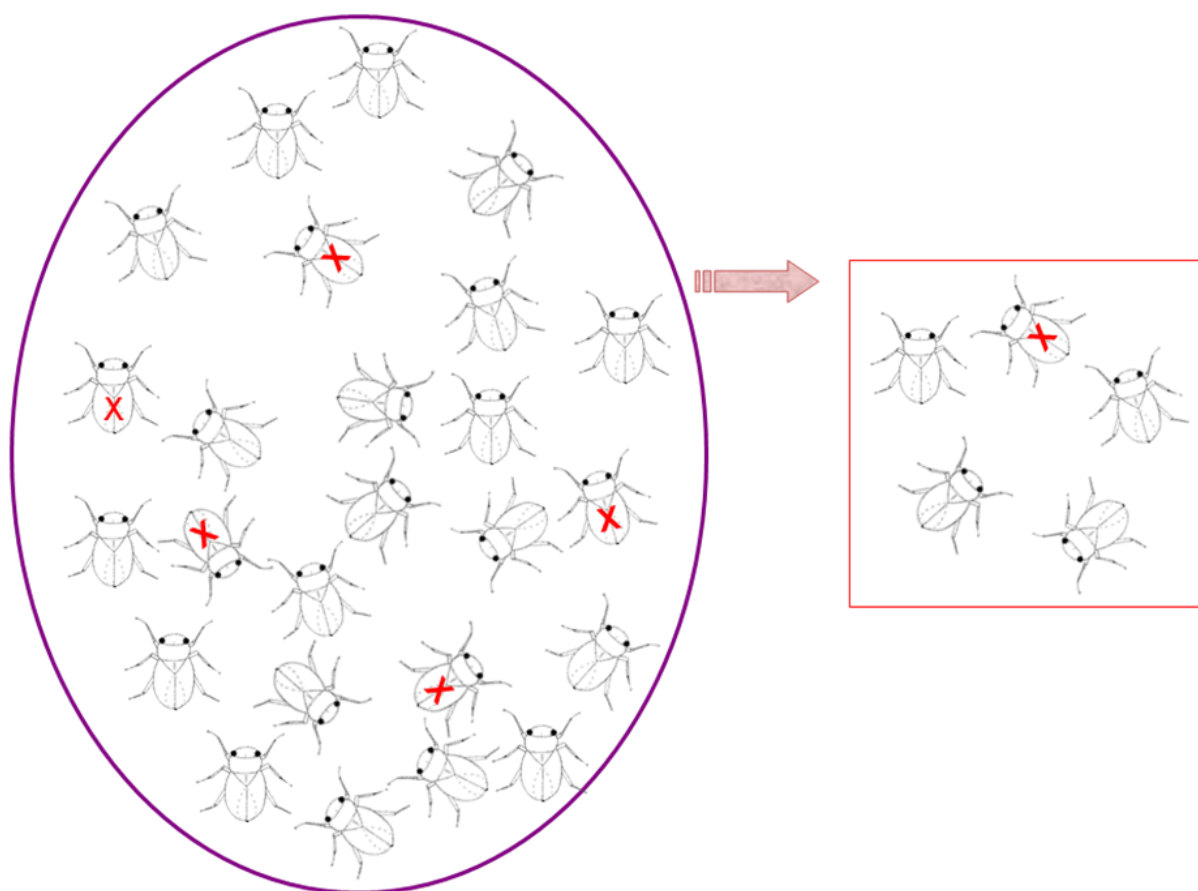
Begon, M., Harper, J. L., & Townsend, C. R. (1999). Ecología: individuos, poblaciones y comunidades (No. 04; QH541, B43y 1999.). ^ eBarcelona Barcelona: Omega.

Odum, H.T. 1957. Trophic Structure and Productivity of Silver Springs, Florida. Ecological Monographs, Vol. 27, No. 1:55–112.

Lindeman, R.L. 1942. The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. Ecology, Vol. 23, No. 4: 399-417.

PRACTICA 2:

Estimación del tamaño poblacional por el método de captura y recaptura



José Manuel Serrano

Jesús Barandica

M^a Dolores Jiménez Escobar

Juan Antonio Delgado Sáez

Departamento de Ecología UCM

ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO POBLACIONAL POR EL MÉTODO DE CAPTURA Y RECAPTURA

Introducción

Conocer el número de individuos de una población animales es un conocimiento básico para, por ejemplo, conocer su estado de conservación, realizar estudios de producción secundaria o estudiar su dinámica poblacional. Contar animales que no sean sésiles es una tarea difícil, especialmente si permanecen escondidos y se ocultan del investigador. En la mayoría de las especies el recuento directo de los individuos para estimar el tamaño poblacional es imposible o, al menos, poco práctico por la cantidad de recursos que precisaría. Por ello, lo más habitual es recurrir a muestreos y técnicas de marcado y recaptura. Hay muchas variaciones de esta técnica, que van desde el marcado y recaptura únicas hasta la captura y recaptura múltiples. Sin embargo, todas se basan en un principio básico: "La probabilidad de capturar todos y cada uno de los individuos de la población es siempre la misma, independientemente de si están marcados o no.

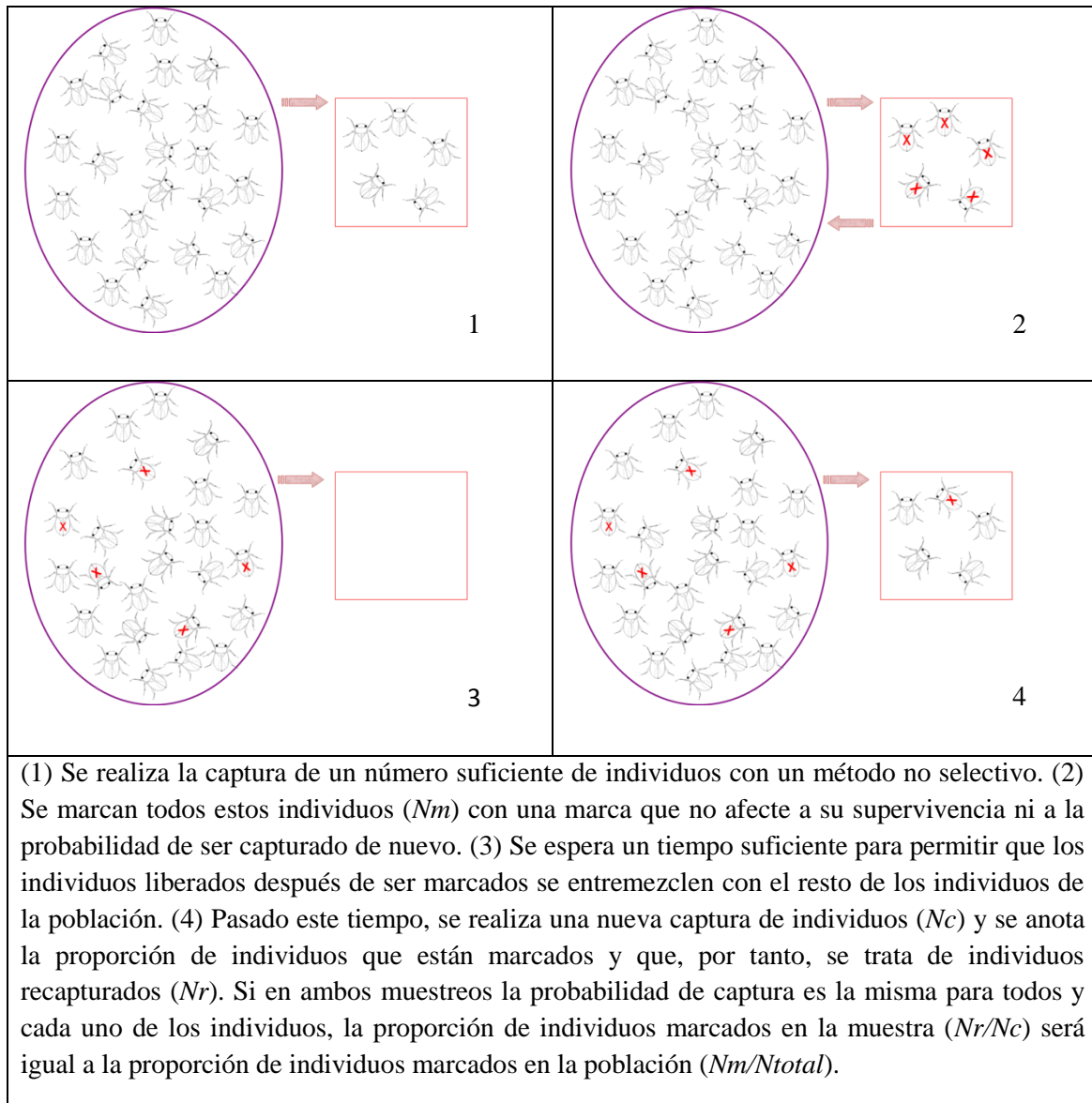
El procedimiento más elemental consiste en la captura de un determinado número de individuos de la población que serán marcados (N_m) y, posteriormente, liberados. De esta forma, tendremos en la población una proporción de individuos marcados (N_m/N_{total}), donde conoceremos el valor de N_m , número de individuos marcados, mientras que el valor de N_{total} , número de individuos de la población, será la incógnita. Tras esperar un tiempo, necesario para permitir que los individuos marcados se entremezclen con el resto de los individuos de la población, se procede a realizar una segunda captura. De los individuos obtenidos en esta segunda captura (N_c), parte de ellos estarán marcados, lo que indica que son individuos recapturados (N_r). Por lo tanto, tendremos una proporción de individuos marcados en la segunda captura (N_r/N_c), donde conocemos el valor de los dos términos. Si en todo momento la probabilidad de captura de todos y cada uno de los individuos es la misma, la proporción de individuos marcados en esta segunda captura (N_r/N_c) ha de ser igual a la proporción de individuos marcados en la primera captura (N_m/N_{total}):

$$N_r/N_c = N_m/N_{total}$$

En esta ecuación, la única incógnita es N_{total} , por lo que podemos obtener su valor despejando de la ecuación:

$$N_{total} = N_m * N_c / N_r$$

Para que se cumpla el principio básico de que todos los individuos presenten la misma probabilidad de ser capturados, el tamaño de la población no debe modificarse entre las dos capturas. Es decir, no debe haber nacimientos, muertes ni migraciones mientras dure el procedimiento de marcado y recaptura. Además, el método de marcaje utilizado no debe afectar a la probabilidad de recaptura y las marcas no pueden perderse en las sucesivas capturas.



Cuestiones sobre el marcado de individuos

Los tipos de marcaje que se utilizan en los estudios de marcaje y recaptura son muy variados. Quizás los más conocidos sean las anillas metálicas que se ponen en las patas de las aves, a veces reforzadas con anillas de plástico coloreadas o numeradas para leerlas a distancia. También se ha usado la aplicación de pintura directamente sobre el cuerpo del animal, o bien pegando o anclando las marcas a distintas partes del cuerpo. Estos métodos deben de garantizar que no se desprenden o se borran las marcas durante los muestreos. Sólo así se aseguraría la correcta estimación del tamaño poblacional. Por los mismos motivos, la presencia de las marcas no debe suponer un mayor riesgo de muerte porque haga al animal más fácil de localizar a los depredadores o que entorpezca sus movimientos.

Por ejemplo, el uso de anillas metálicas en las aletas de los pingüinos rey (*Aptenodytes patagonicus*) puede disminuir su capacidad reproductora y su supervivencia (Wilson, 2011). Los animales no parecían acostumbrarse a sus anillas y nadaban peor, lo que les hacía llegar más tarde a las áreas de cría y les hacía menos eficaces buscando comida y escapando de sus

enemigos. Adicionalmente, en muchas especies, la captura del animal para su marcaje le supone un estrés que puede afectar a su supervivencia. En animales grandes se hace necesario, a veces, el uso de drogas para poder manipularlo y proceder al marcaje, lo que puede ocasionarle problemas de salud e incluso la muerte.

Por estos motivos, se ha desarrollado, para muchas especies animales, el uso de marcas corporales únicas como un procedimiento para la identificación individual de los componentes de la población. Aunque se han desarrollado procedimientos de foto-identificación para anfibios, aves y diversos grupos de mamíferos, el más popular es probablemente el de los cetáceos. Consiste en la obtención de fotografías de la cabeza, aleta caudal o dorsal y usar los cambios de coloración, muescas, cicatrices o disposición de organismos simbioses para identificar cada individuo y reconocerlo en sucesivos encuentros.

GUIÓN DE LA PRÁCTICA

Estimación del tamaño poblacional en animales móviles

Objetivo

Conocer la técnica de foto-identificación usando como ejemplo las aletas caudales de la ballena jorobada (*Megaptera novaengliae*) y estudiar varios métodos para estimar el tamaño poblacional.

Preparación de la práctica

1.-Material necesario

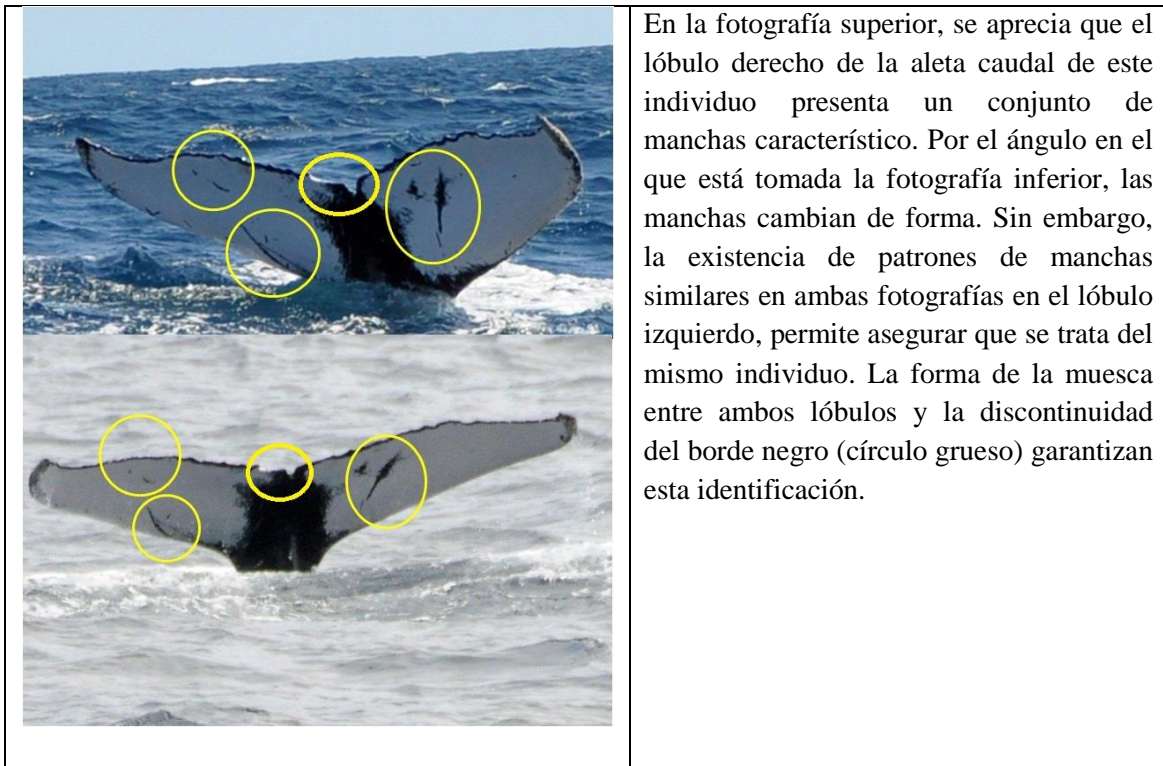
Toda la información se aporta en un libro Excel con diversas hojas, una base de datos compuesta por tres juegos de fotografías diferentes de la aleta caudal de individuos de ballena jorobada. Las imágenes de esta práctica pertenecen a la galería "Bermuda Fluke shots", que contiene fotografías realizadas en Las Bermudas (<http://www.whalesbermuda.com/home>) y es parte del catálogo de más de 7.000 individuos de las poblaciones de esta especie en el Atlántico Norte que mantiene el grupo de investigación Allied Whale del College of the Atlantic (<https://www.coa.edu/allied-whale/>). Se incluye en el libro un macro que proporciona las fotografías de tres viajes para la toma de fotos de aletas caudales de ballena.

2.-Foto-identificación de ballenas

La identificación individual de las ballenas jorobadas puede realizarse gracias a los patrones de color blanco y negro que presentan en la zona inferior de su aleta caudal. Estos patrones son únicos y permiten la identificación de los individuos de manera muy fiable. Además, puede ser útil recurrir de forma complementaria a la forma de la aleta, a la existencia de muescas en el borde, o a la presencia de cicatrices o simbioses adheridos a la piel.

Sin embargo, las fotografías no siempre reflejan adecuadamente estas características debido a cambios en la luz en los momentos en que fueron tomadas, por el ángulo de la toma o porque

sólo parte de la aleta caudal está fuera del agua. Lo recomendable es, por tanto, considerar el distinto ángulo en el que se ha efectuado la foto y recurrir a más de una referencia para garantizar una identificación.



3.-Desarrollo de la práctica

A. Marcado y recaptura únicos. Método de Petersen

La técnica más sencilla de los procedimientos de captura y recaptura se basan en el índice de Lincoln o Petersen. Se precisa de una captura de individuos que son marcados, seguida de su liberación y una segunda captura de individuos, donde una proporción de los mismos estarán marcados. Las marcas no deben alterar la probabilidad de recaptura y no deben producirse cambios en el número de individuos de la población entre ambos muestreos (ni nacimientos, ni muertes, ni migración).

Abrir el archivo “Captura recaptura ballenas.xlsx” y revisar la información adicional presente en las hojas “Información” y “Foto ID”. Después abrir la hoja “Muestreo_Petersen” y pulsar sobre la cámara fotográfica. Automáticamente aparecerán tres listados de fotografías correspondientes a tres viajes consecutivos. El precepto básico del método de captura-recaptura se cumple al ser escogidas las fotografías de forma aleatoria entre todos los individuos de la población. Es decir, todos y cada uno de los individuos tiene exactamente la misma probabilidad de ser escogido en cada uno de los muestreos.

El método de Petersen requiere dos muestreos, considerándose el primero el dedicado al marcaje y el segundo a obtener una muestra de la población donde pueden aparecer individuos ya marcados.

Los individuos fotografiados en el primer viaje (1ª columna) se considerarán como los individuos marcados (Nm). Los individuos fotografiados en el segundo viaje (2ª columna) serán considerados como capturados en una segunda captura (Nc). Los individuos que hayan sido registrados en ambos viajes serán considerados como recapturados (Nr). Para averiguar el número de individuos recapturados hay que comparar las fotografías de los primeros viajes con las del siguiente. Para ello puede seguirse el siguiente procedimiento. Seleccionar la primera fotografía del primer viaje pulsando en la casilla y fijándola usando el menú superior “Revisar: Mostrar u ocultar el comentario” (alternativamente puedes usar ctrl+m para mostrar y ctrl+o para ocultar el comentario). Ya sobre la serie de fotos del segundo viaje, el procedimiento más rápido es pasar el cursor por cada celda para visualizar la fotografía y poder realizar la comparación.

En nuestro caso, dado que tenemos tres series fotográficas realizadas en tres momentos temporales distintos (tres viajes), podemos usar tres combinaciones de muestreo que permitirían realizar estimas del tamaño poblacional:

- 1) Usando el primer viaje como marcaje y el segundo para contabilizar las recapturas.
- 2) Usando el primer viaje como marcaje y el tercer viaje para contabilizar las recapturas.
- 3) Usando el segundo viaje como marcaje y el tercer viaje para contabilizar las recapturas.

El tamaño de la población puede estimarse, por tanto, tres veces aplicando la fórmula:

$$N_{total} = Nm \cdot Nc / Nr$$

Usando estas tres estimas puede calcularse una media y una desviación estándar que proporcionan un estimador del tamaño poblacional y su variación asociada. Para calcular el intervalo de confianza al 95%, podemos multiplicar la desviación estándar por 1,96, que es el valor de la distribución normal tipificada para un 95% de probabilidad.

También es posible estimar un intervalo de confianza aún haciendo una única estimación. Calculando la varianza y la desviación estándar mediante las fórmulas

$$s^2 = \frac{Nm^2 \cdot Nc(Nc - Nr)}{Nr^3}$$

$$s = \sqrt{s^2}$$

Multiplicando el valor de desviación estándar obtenido por 1,96 se obtiene el intervalo de confianza para el tamaño poblacional estimado.

Cuando la probabilidad de obtener individuos recapturados es baja, ya sea porque la especie cuya población pretendemos estimar resulta difícil de capturar o, simplemente, porque la población es pequeña, el método de Petersen puede resultar poco adecuado. En efecto, para estimar el tamaño poblacional necesitamos que el número de individuos recapturados sea distinto de cero, ya que si no es así el tamaño poblacional sería indeterminado. Para evitar esto se puede utilizar una modificación de la fórmula de Petersen. La lógica utilizada es la siguiente:

No hemos encontrado individuos recapturados ($Nr=0$) por lo que no podemos estimar un tamaño poblacional, pero si hubiéramos capturado un individuo más en el segundo muestreo y éste estuviera marcado, el tamaño poblacional se podría calcular:

$$N_{total} = Nm*(Nc+1)/(Nr+1)$$

Considerando que esta sería la mejor estima de la población muestreada.

B. Marcado y recaptura repetidos. Método de Schnabel

Dado los problemas que puede generar el método de Petersen para poblaciones pequeñas o especies difíciles de capturar, el método de Schnabel de capturas sucesivas es una alternativa más adecuada. Según aumenta el número de muestreos mejora la calidad de la estima, disminuyendo los intervalos de confianza hasta que se obtiene un ajuste que se considera adecuado.

En un primer muestreo se obtiene una muestra de individuos que son marcados (Nm_i) y se sueltan de nuevo para que se entremezclen con la población. En cada uno de los siguientes viajes (i), se captura una nueva muestra (Nc_i), se anota el número de recapturados (Nr_i) y se marca el resto de animales, devolviendo el total de la muestra a la población. De esta manera el número de animales marcados presentes en la población (Nm_i) aumenta con el tiempo.

A partir de los datos obtenidos, la estima de la población (N_{total}) para cada uno de los momentos de captura se calcula como sigue:

$$N_{total} = \frac{S(Nm_i \times Nc_i)}{SNr_i}$$

Abrir el archivo “Captura recaptura ballenas.xlsm” y revisar la información adicional presente en las hojas “Información” y “Foto ID”. Después abrir la hoja muestreo Schnabel y pulsar sobre la cámara fotográfica. Automáticamente aparecerán 6 listados de fotografías correspondientes a 6 viajes consecutivos. Podemos usar estos tres muestreos para calcular el tamaño poblacional mediante el método de Schnabel de capturas sucesivas. El precepto básico del método de captura-recaptura se cumple al ser escogidas las fotografías de forma aleatoria entre todos los individuos de la población. Es decir, todos y cada uno de los individuos tienen exactamente la misma probabilidad de ser escogido en cada uno de los muestreos.

El número de individuos de la serie de fotos del primer viaje sería el número de individuos marcados (Nm_i). El número de individuos capturado (Nc_i) en cada uno de los siguientes viajes (i) será el número de individuos de cada muestra. Para averiguar el número de individuos recapturados (Nr_i) hay que comparar las fotografías de los primeros viajes con las del siguiente. Para ello, puede seguirse el siguiente procedimiento. Seleccionar la primera fotografía del primer viaje pulsando en la casilla y fijándola usando el menú superior “Revisar: Mostrar u ocultar el comentario” (alternativamente puedes usar ctrl+m para mostrar y ctrl+o para ocultar el comentario). Esta primera columna representa una muestra de animales (Nm_i) que se "marca" (identifica) y se sueltan de nuevo para que se entremezclen con la población. Ya sobre la serie de fotos del segundo viaje, basta pasar el cursor por cada celda para visualizar la fotografía y poder realizar la comparación. En cada uno de los siguientes viajes (i), se captura una muestra (Nc_i). Se anota el número de recapturados (Nr_i) y se "marca" el resto de animales, devolviendo

el total de la muestra a la población. De esta manera el número de animales marcados presentes en la población (Nm_i) aumenta con el tiempo.

A partir de los datos obtenidos, la estima de la población ($Ntotal$) para cada uno de los momentos de captura se calcula como sigue:

$$Ntotal = \frac{S(Nm_i \times Nc_i)}{SNr_i}$$

Usando los 6 muestreos utilizando este procedimiento, rellenar la tabla con los datos obtenidos y estimar el tamaño de la población utilizando el método de Schnabel.

Muestreos (i)	Animales marcados en la población Nm_i	Capturados Nc_i	$Nm_i \times Nc_i$	$S(Nm_i \times Nc_i)$	Recapturados Nr_i	SNr_i	Marcados por primera vez y liberados	$Ntotal$ $\frac{S(Nm_i \times Nc_i)}{SNr_i}$
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Tabla. Estimación del tamaño poblacional por el método de Schnabel. En la primera fila (muestreo 1) no se puede aplicar la fórmula ya que sólo se tienen valores de individuos capturados por primera vez y que son marcados (Nm_i).

Referencias

Krebs, Ch. (1986). Ecología. Ed. Pirámide. Madrid.

Margalef, R. (1984). Ecología. Ed. Omega. Barcelona. (pág.336 y sig.)

Samo, A.J., Garmendia, A. & Delgado, J.A. Introducción práctica a al Ecología. Ed Pearson Educación Madrid. (pags 123-130).

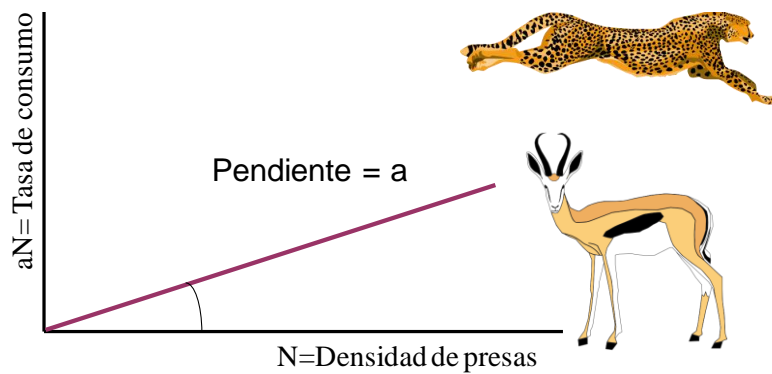
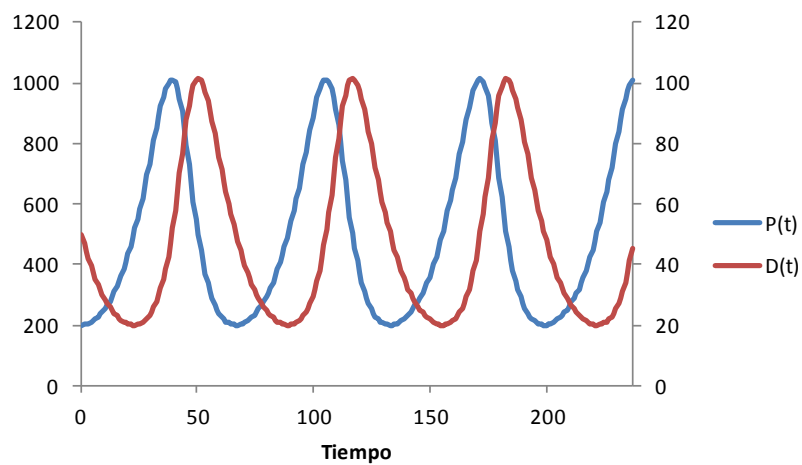
Smith, R. L. & Smith, Th. M. (2001). Ecología. Ed. Pearson Educación. Madrid. (pág.150)

Tellería, J.L. (1986). Manual para el censo de los vertebrados terrestres. Ed. Raíces.

Wilson, R. (2011). The price Tag. Nature 469, 164-165.

PRACTICA 3:

Modelizando la depredación: Modelo depredado-presa de Lotka-Volterra



Juan Antonio Delgado Sáez

Jesús Barandica

M^a Dolores Jiménez Escobar

José Manuel Serrano

Departamento de Ecología UCM

MODELIZANDO LA DEPREDACIÓN: MODELO DEPREDADOR- PRESA DE LOTKA Y VOLTERRA

Introducción

La depredación puede definirse como una interacción interespecífica en la que los individuos de una especie (depredador) consume a los individuos de otra especie (presa) ya sea completa o parcialmente, causándole la muerte. Como consecuencia de esta interacción, la especie depredadora produce un efecto inmediato sobre la dinámica poblacional de la especie presa. Aunque más diferido en el tiempo, las presas también ejercen un efecto sobre la dinámica poblacional de sus depredadores. El consumo de las presas aumentara la natalidad y supervivencia del depredador, pero si el tamaño poblacional de la especie presa es bajo podría producirse una menor natalidad y un aumento de la mortalidad en la especie depredadora. Esta interdependencia mutua sugiere que el tamaño de una población de depredadores aumenta o disminuye cuando lo hace el de su presa. Por otra parte, la población de la presa disminuirá cuando la población de depredadores sea elevada y sólo podrá aumentar cuando ésta sea baja. El resultado sería que los tamaños poblaciones de depredadores y presas no permanecen estables sino que fluctúan alrededor de un valor medio.

Lotka y Volterra desarrollaron fórmulas matemáticas referentes a la influencia mutua de una población depredadora y su presa. Estas fórmulas muestran que modelos matemáticamente simples son capaces de producir oscilaciones en las dinámicas poblacionales de depredadores y presas y conducir a la formación de ciclos poblacionales. El modelo asume que el depredador se alimenta sólo de esa especie presa y que ésta última no presenta más depredadores.

Sistema de ecuaciones del modelo depredador-presa de Lotka y Volterra:

$$\frac{dP}{dt} = rP - aPD ; \text{Ecuación para la presa}$$

$$\frac{dD}{dt} = faPD - mD ; \text{Ecuación para el depredador}$$

La primera ecuación de este modelo asume que la población presa (P) se incrementa exponencialmente a una tasa constante (r). Además, se produce mortalidad debida al depredador (aPD) que es directamente proporcional al número de presas (P) y al número de depredadores (D), dependiendo de una eficacia de captura del depredador constante (a). De esta manera, la población crecerá cuando la tasa de crecimiento compense las pérdidas por depredación. La interpretación de la variación de la eficacia de captura en el modelo puede verse en la figura 1.

Por otra parte, la segunda ecuación del modelo asume que la población depredadora disminuye exponencialmente a una tasa constante (m). Además, la población depredadora aumenta en la medida en la que transforma las presas que consume (aPD) en nuevos individuos depredadores con una eficacia de transformación (f). La interpretación de la variación de la eficacia de transformación en el modelo puede verse en la figura 2.

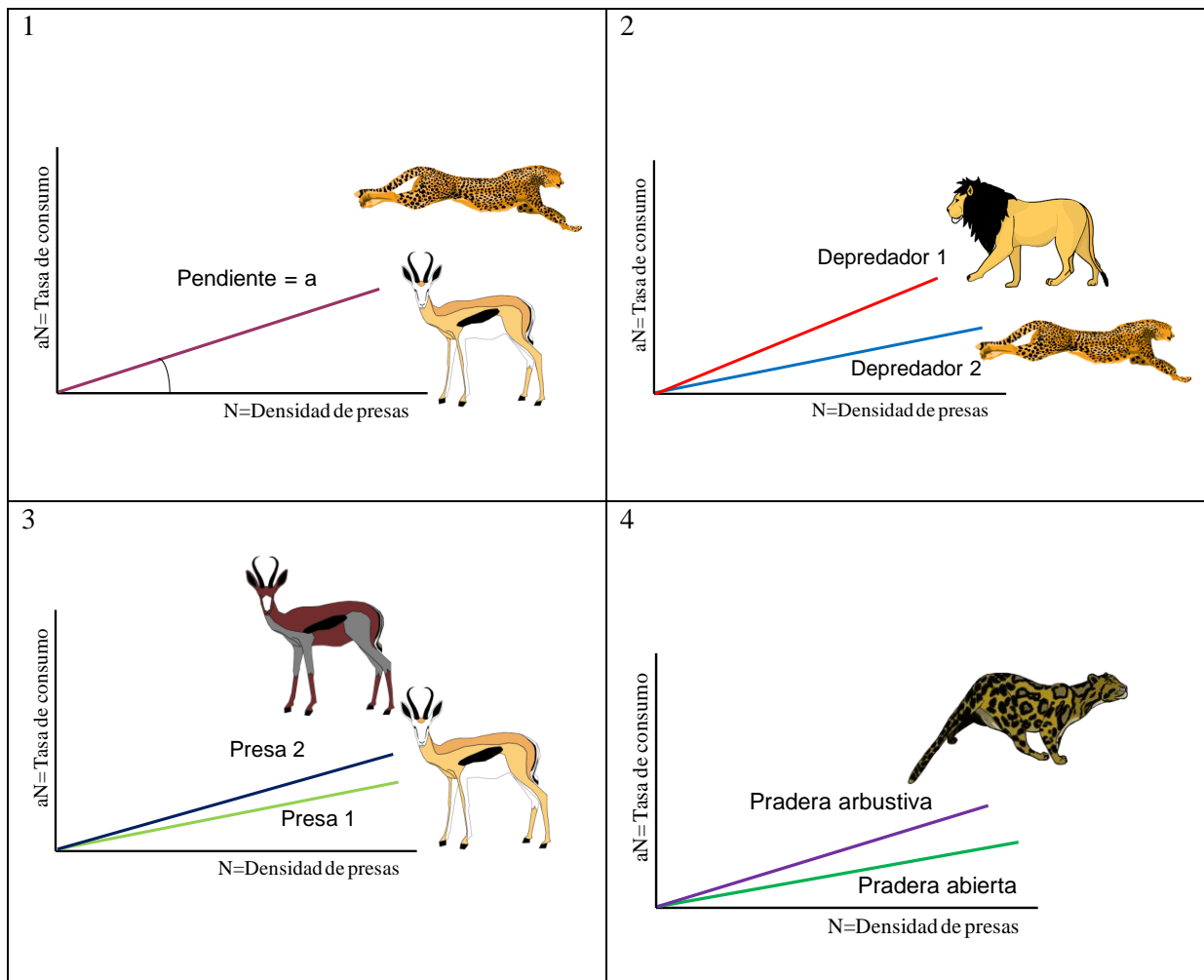


Figura 1. Relación entre la eficacia de captura del depredador (a) y la tasa de consumo de presas (1) y posibilidades de variación de dicho parámetro: 2) Distintos depredadores pueden diferir en su eficacia de captura para una misma presa; 3) Un mismo depredador puede presentar diferentes eficacias de captura para diferentes presas; 4) La estructura del hábitat puede modificar la eficacia de captura del depredador para una misma presa.

Para describir el comportamiento del modelo puede empezarse por el crecimiento de la presa que se acelera con el tiempo (crecimiento exponencial). Este aumento en el crecimiento se ve contrarrestado por una mayor captura de presas por parte del depredador (aPD). De esta forma, cada aumento de la población presa implica mayor crecimiento poblacional, pero también mayor mortalidad por depredación.

Por otra parte, esta mayor depredación tiene como consecuencia un incremento del crecimiento poblacional de los depredadores ($faPD$), lo que, a su vez, supondrá un aumento en la depredación ya que al aumentar los depredadores (D), aumentará el número de presas capturadas (aPD). Este aumento de la depredación conllevará una reducción del crecimiento poblacional de la presa, lo que dará lugar a una disminución en el crecimiento de la población del depredador. Esta interdependencia mutua de las dinámicas poblacionales de depredador y presa produce oscilaciones en las poblaciones (Figura 3).

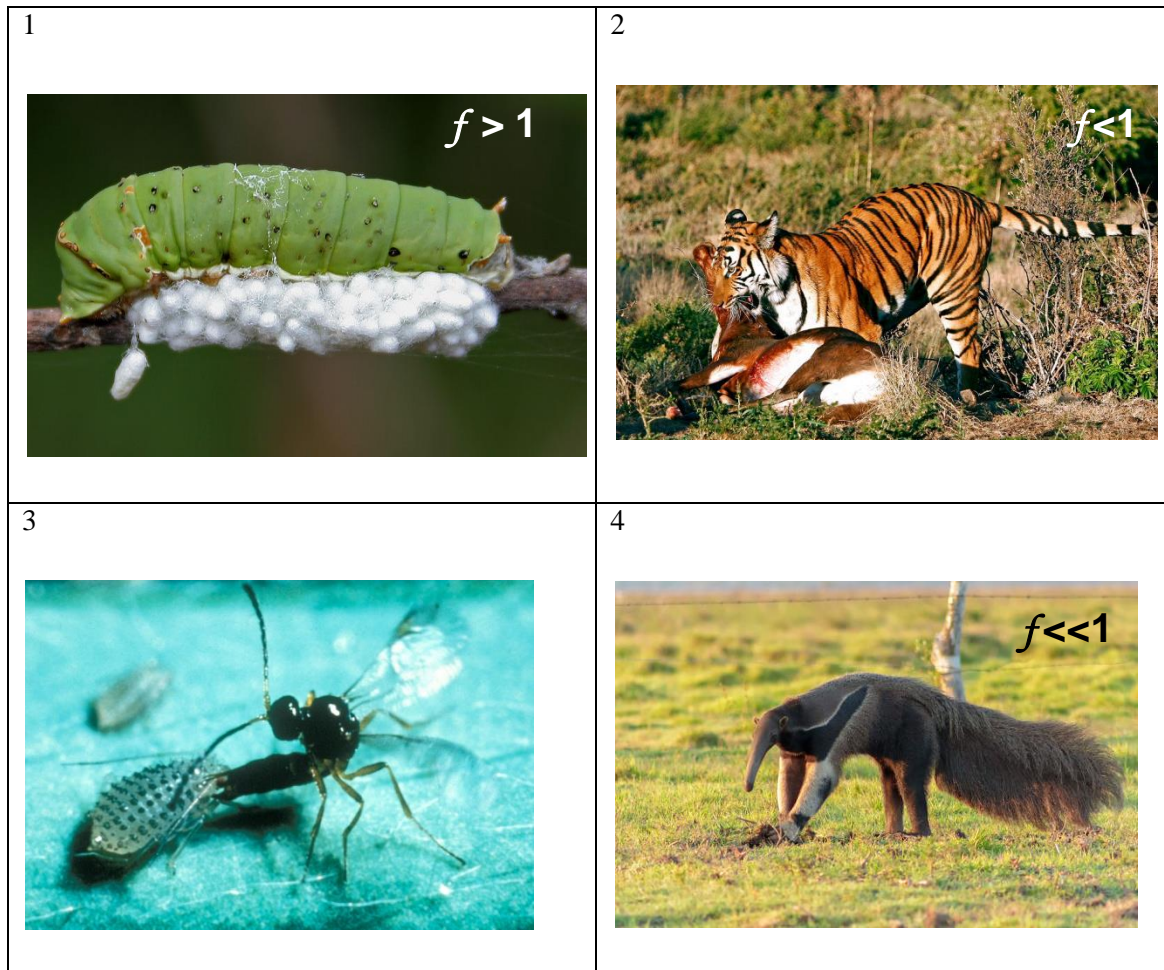


Figura 2. Variaciones en el parámetro f son típicas de cambios entre sistemas depredador presa. Generalmente reflejando diferencias relativas de tamaño entre el depredador y su presa. 1) Numerosos capullos de avispa parasitoide (*Apanteles* sp.) junto a su presa, una oruga de *Papilio demoleus*; 2) Un tigre con su presa recién abatida; 3) Otra especie de avispa parasitoide atacando a un áfido, su presa de la que surgirá un nuevo ejemplar adulto 4) Oso hormiguero gigante en busca de sus presas, hormigas y termitas.

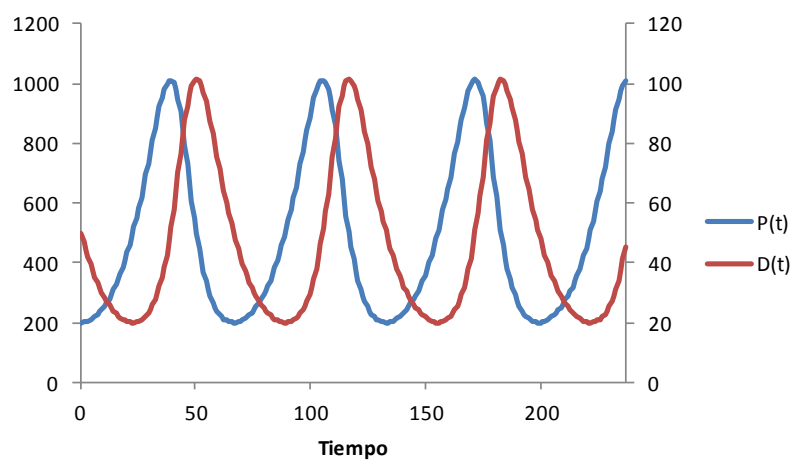


Figura 3. Resultados del modelo depredador-presa de Lotka Volterra. La población del depredador se representa en línea roja y la de la presa viene representada en línea azul.

La representación de la relación entre el número de presas y depredadores en un gráfico, suprimiendo el eje temporal, permite apreciar la existencia de un ciclo (Fig 2). El modelo presenta estabilidad neutra, es decir que tanto la amplitud como la frecuencia de los ciclos están fijadas por las condiciones iniciales. De hecho, para que las poblaciones permanezcan estables es preciso poner los valores adecuados de número de presas y depredadores como condiciones iniciales. Estos valores pueden calcularse a partir de las ecuaciones igualando el crecimiento poblacional de la población presa y depredador a cero:

$$D' = \frac{r}{a} \text{ Isoclina de la presa; } dP/dt=0$$

$$P' = \frac{m}{fa} \text{ Isoclina del depredador; } dD/dt=0$$

Siendo D' y P' el número de presas y depredadores cuando no hay crecimiento poblacional neto ($dP/dt=0$; $dD/dt=0$). Dibujando ambas rectas en el plano definido por la densidad de individuos presa y depredador, el punto donde se cortan ambas rectas marcará el punto de equilibrio estable, donde ninguna de las poblaciones variaría (Fig 4).

La recta $D=D'$ dibujada en el plano definido por las densidades P y D , contendría las combinaciones de densidades del depredador que hacen que la población presa permanezca constante. Cuando haya más depredadores la población presa disminuirá ($dP/dt<0$) y cuando se baje de este valor, aumentará ($dP/dt>0$). Igualmente, si dibujamos la recta $P=P'$ en el plano definido por las densidades P y D , contendría las combinaciones de densidades de la presa que hacen que la población depredadora permanezca constante. Cuando haya más presas la población de depredadores aumentará ($dD/dt>0$) y cuando se baje de este valor, disminuirá ($dD/dt<0$).

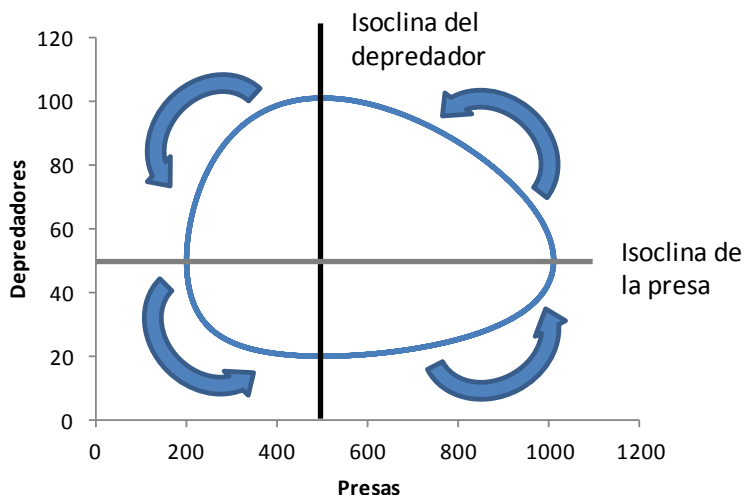


Figura 4. Representación de las isoclinas de la especie presa ($dP/dt=0$) y de la especie depredadora ($dD/dt=0$) junto con el "desplazamiento" de la población a ambos lados de las mismas.

El modelo predice un ciclo continuo de las poblaciones depredador presa, lo que aunque es poco realista, muestra que es posible explicar la existencia de ciclos recíprocos en poblaciones de depredadores y sus presas con modelos matemáticos sencillos. Como aportación principal a la teoría ecológica podemos destacar la sugerencia de que los ciclos poblacionales pueden producirse por la interacción entre especies sin recurrir a variables abióticas (variación climática, por ejemplo). También hay que destacar que aunque el modelo básico que aquí presentamos incluye varias asunciones poco realistas (poblaciones de crecimiento ilimitado, falta de saciado del depredador) se han realizado con éxito varias modificaciones que incluyen más realismo.

GUIÓN DE LA PRÁCTICA

Modelizando la depredación: Modelo depredado-presa de Lotka-Volterra

Objetivo

El objetivo de esta práctica es introducir al estudiante en el empleo de modelos matemáticos en ecología, mediante el modelo depredador-presa de Lotka-Volterra. Un modelo que, de forma relativamente sencilla permite estudiar la evolución de los efectivos numéricos de dos poblaciones mutuamente relacionadas a través de su relación de depredación.

Concretamente se trabajará la interpretación de los diferentes parámetros del modelo para adaptarse a diferentes sistemas depredador-presa o a variaciones ambientales dentro de un mismo sistema.

Preparación de la práctica

1.-Material necesario

El material necesario para realizar la práctica consiste en:

60 clips metálicos de 32 mm

60 clips metálicos de 26 mm

60 chinchetas galvanizadas

2 placas de Petri de 9 cm de diámetro

5 piedras pequeñas

1 Cronómetro.

Un archivo Excel que permite la simulación de la dinámica poblacional de presas y depredadores bajo diversos supuestos de variación de los parámetros

2.-Desarrollo de la práctica

B. Obtención de las eficacias de captura.

Los clips de diferentes tamaños y las chinchetas representan diferentes especies que deben ser capturadas por el depredador de una en una en un periodo de tiempo de 30 segundos (Fig 5). Las presas serán dispuestas en una placa de Petri de 9 cm de diámetro, unos 64 cm², en números ascendentes (10, 20, 30, 40, 50, 60 y70).

El estudiante que simulará al depredador deberá localizar las presas con los ojos vendados y capturarlas usando pinzas. Cada presa capturada será depositada en otra placa de Petri. Las presas que sean sacadas de la placa de Petri empujando con las pinzas o insertadas no serán válidas y se devolverán a la población. Al terminar el tiempo, se anota el número de presas capturadas y se procede a repetir la prueba con un nuevo número de presas. Con los resultados se construye una tabla que relaciona el número de presas existente en la placa de Petri y el número de presas capturadas. Esta tabla puede usarse en una hoja de cálculo (Excel, por ejemplo) para construir un gráfico de dispersión y pedir después una línea de tendencia, pidiendo que proporcione la ecuación y el R^2 . La pendiente de la recta que aparece en la ecuación puede usarse como estima de la eficacia de captura de presas de dicho depredador. Otra aproximación puede obtenerse dividiendo el número de presas capturadas por el total para cada prueba y obteniendo el promedio. En el experimento se considera que no existe efecto de saciado, es decir, que el depredador puede consumir todas las presas que pueda capturar.

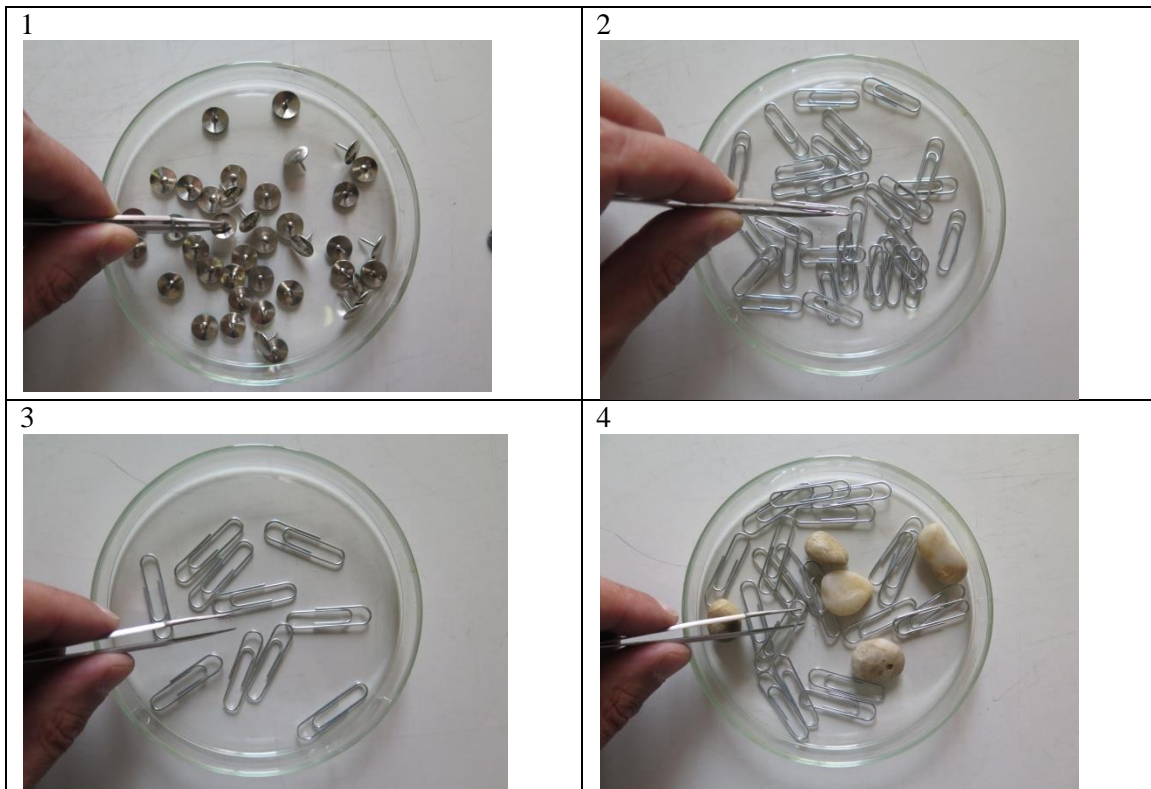


Figura 5. Diferentes tipos de presas simuladas (1-3) sugeridas para la práctica y propuesta de aumento de la heterogeneidad espacial del hábitat (4).

De esta forma procedemos hasta obtener la eficacia de captura del depredador para los diferentes tipos de presa para evaluar si la eficiencia del depredador cambia con el tipo de presa.

Para simular diferencias en la estructura del hábitat, se propone añadir 5 piedras a la placa de Petri junto con las presas y repetir el experimento usando al menos uno de los tipos de presa (Figura 5.4). Al igual que en el caso anterior, el depredador deberá localizar las presas y capturarlas, sin poder sacar las piedras de la placa de Petri. Estos nuevos resultados se pondrán en una gráfica y se compararán con los obtenidos para ese mismo tipo de presa en ausencia de las piedras. Esta comparación permitirá evaluar si una mayor complejidad estructural en el hábitat modifica la eficacia de captura del depredador para esa presa.

Parte 2. Simulaciones de la dinámica poblacional con el modelo de Lotka-Volterra.

El alumno deberá abrir la aplicación Lotka-Volterra.xlsm y leer la información que se suministra en la misma. Posteriormente, tendrá que realizar las siguientes simulaciones:

Diferentes presas, un mismo depredador.

Se simulan dos sistemas depredador-presa diferentes en los que el depredador es el mismo, pero las presas difieren. Las presas proporcionan la misma energía una vez capturadas (f no varía) pero la eficacia de captura (a) es diferente. Utiliza dos de las eficacias de captura estimadas en la primera parte de la práctica. Hay que dividir el valor obtenido entre 100 para ajustarlo al resto de parámetros del modelo. Las eficacias de captura son enormes en relación a lo que el modelo puede simular. Es decir, que una eficacia de captura del 0.3 (se capturan el 30% de las presas de la placa de Petri) se convierte en 0.003. Tras introducir los cambios, automáticamente se reflejarán en las gráficas que pueden ser copiadas y pegadas en una hoja de texto para conservarlas como resultados de la práctica.

Misma presa y depredador, diferente estructura del hábitat

Se simulan dos sistemas depredador-presa diferentes en los que el depredador y la presa son las mismas especies pero difieren en la estructura del hábitat en el que viven. Un hábitat tendrá mayor heterogeneidad espacial (situación de piedras en la placa de Petri) y, por lo tanto, proporcionará mayor refugio a las presas, disminuyendo la eficacia de captura del depredador. Re producir ambas situaciones y guardar las gráficas para comparar los resultados. Al igual que en el caso anterior, es necesario dividir entre 100 los valores obtenidos en la primera parte de la práctica.

Referencias

Begon, M.; Harper, J.L. & Townsend, C.R. (1999) Ecología, individuos, poblaciones y comunidades. 3ª edición. Ed Omega, Barcelona.

Samo, A.J.; Garmendia, A. & Delgado, J.A. Introducción práctica a al Ecología. Ed Pearson Educación Madrid. (pags 123-130).

Smith, R. L. & Smith, Th. M. (2001). Ecología. Ed. Pearson Educación. Madrid. (pág.150)

Créditos de las imágenes no propiedad de los autores.

Fig 1.1 y 1.3. y portada: Dibujo de *Antidorcas marsupialis* de coloración normal. Author Yathin S Krishnappa: File:Normal Springbok.svg; From Wikimedia Commons, the free media repository. Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>).

Fig 1.3. Dibujo de *Antidorcas marsupialis* de coloración oscura. Author Yathin S Krishnappa: File: Black Springbok.svg; From Wikimedia Commons, the free media repository. Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>).

Fig 1.1 y 1.2. y Portada: Dibujo de *Acinonyx jubatus* (guepardo): <https://pixabay.com/photo-40986/>. CC0 Public Domain.

Fig 1.2. Dibujo de *Panthera leo* (león): <https://pixabay.com/photo-48382/>. CC0 Public Domain.

Fig 1.4. Dibujo de *Neofelis nebulosa*. © 2013 Project ANOULAK; Adapted from webpage: <http://conservationlaos.com/felines.html>. Creative Commons Attribution 3.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).

Fig 2.1. Author: J.M.Garg. File: Braconid parasitoid wasp *Apanteles* sp eggs & Lime Butterfly (*Papilio demoleus*) cat W IMG 2862.jpg; From Wikimedia Commons, the free media repository. Creative Commons Attribution 3.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).

Fig 2.2. Author: Save China's Tiger. File: Stud 327 with Blesbuck.jpg; From Wikimedia Commons, the free media repository. Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/deed.en_GB).

Fig 2.3. Author: division, CSIRO; File: CSIRO ScienceImage 2357 Spotted alfalfa aphid being attacked by parasitic wasp.jpg; From Wikimedia Commons, the free media repository; Creative Commons Attribution 3.0 Unported license (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).

Fig 2.4. Autor: Fernando Flores; File: Giant anteater - Oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*) (8697863742).jpg; From Wikimedia Commons, the free media repository; Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/deed.en>).