

Dinámica poblacional

Teoría de estrategias de vida. Estrategas r y K.
Autoecología y Sinecología. Especies estenoicas y
eurioicas. Captura por unidad de esfuerzo.

Distribución de especies.

Modelos de crecimiento exponencial y logístico.



Marcelo L. Morales Yokobori

2024

Derechos reservados

Dinámica poblacional, escrito por Marcelo Lino Morales Yokobori, profesor titular de Ecología y Conservación de la Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Universidad de Belgrano, es ofrecido como texto de estudio en el portal “Terra curanda”, ISSN 1569-2469.

www.terracuranda.org

Contenido

Introducción a la dinámica poblacional	4
Niveles de organización biológica que abarca la Ecología	5
Autoecología y Sinecología.....	6
Autoecología.....	6
Implicaciones para la conservación.....	6
Sinecología.....	6
Implicaciones para la conservación y restauración de paisajes.....	6
Complementariedad entre ambas ramas de la Ecología	7
Especies estenoicas y eurioicas	7
Especies estenoicas.....	7
Especies eurioicas	7
Importancia ecológica	7
Captura por unidad de esfuerzo	8
Descripción de la CPUE en fauna terrestre.....	8
Aplicaciones de la CPUE.....	9
Limitaciones de la CPUE	9
Estrategas r y K en sus comunidades	10
Tipos de distribución de especies	13
Distribución uniforme	13
Distribución aleatoria	13
Distribución agregada (o agrupada).....	14
Algunas observaciones	14
Relación con las estrategias r y K.....	14
Estrategas r	15
Estrategas K	15
Modelo exponencial de crecimiento	15
El psílido asiático de los cítricos, un ejemplo interesante de estrategia r	16
Modelo de crecimiento logístico o denso-dependiente	18
Bibliografía	22

Introducción a la dinámica poblacional

La dinámica de poblaciones es una rama fundamental de la Ecología y de la Biología de la Conservación que se enfoca en estudiar cómo y por qué el número de individuos en una población cambia con el tiempo. Una amplia gama de temas teóricos y aplicados se pueden incluir dentro de esta disciplina:

Conceptos básicos de poblaciones: Introducción a los conceptos de población, densidad de población, distribución espacial, y estructura de la población (por edad, sexo, y clase reproductiva).

Tasas de natalidad y mortalidad: Análisis de las tasas de natalidad y mortalidad en poblaciones, incluyendo los factores que influyen en estas tasas y cómo afectan el tamaño de la población.

Crecimiento poblacional: Modelos de crecimiento poblacional, incluyendo crecimiento exponencial y logístico, y la conceptualización de la capacidad de carga del hábitat.

Dinámica de poblaciones estructuradas por edad: Estudio de las poblaciones estructuradas por edad, incluyendo tablas de vida, pirámides de población y modelos matriciales.

Factores limitantes y regulación de poblaciones: Examinación de los factores abióticos y bióticos que limitan el tamaño de las poblaciones, incluyendo la competencia intra e interespecífica, depredación, enfermedades y factores ambientales.

Interacciones entre especies: Impacto de las interacciones entre especies, como la competencia, predación, parasitismo, y mutualismo en la dinámica de poblaciones.

Metapoblaciones y fragmentación del hábitat: Concepto de metapoblaciones, efectos de la fragmentación del hábitat en la conectividad entre poblaciones, y dinámica de poblaciones en paisajes fragmentados.

Modelos de distribución de especies: Uso de modelos para predecir la distribución de las especies basándose en variables ambientales y presencia de especies.

Efectos del cambio climático en la dinámica de poblaciones: Influencia del cambio climático en la distribución de las especies, cambios fenológicos, y la adaptabilidad de las poblaciones a nuevos ambientes.

Conservación y manejo de poblaciones: Estrategias para la conservación de especies en peligro basadas en principios de dinámica de poblaciones, incluyendo la creación de reservas, manejo de hábitats, y programas de reintroducción de especies.

Uso de software en dinámica de poblaciones: Introducción al uso de software y herramientas computacionales para el modelado y análisis de datos de poblaciones.

Estos temas ofrecen una comprensión profunda de cómo las poblaciones cambian a través del tiempo y el espacio, y cómo estos cambios pueden ser influenciados tanto por factores naturales como antropogénicos. La dinámica de poblaciones es crucial para la conservación de especies, el manejo de recursos naturales, y la comprensión de los impactos humanos en el medio ambiente.

Niveles de organización biológica que abarca la Ecología

El término "ecología" proviene del griego "oikos", que significa "hogar" o "lugar de vida", y "logos", que significa "estudio de". Fue acuñado por primera vez por el biólogo alemán Ernst Haeckel en 1866. Haeckel utilizó el término en su obra "Generelle Morphologie der Organismen" (Morfología General de los Organismos) para describir la ciencia de las relaciones de los organismos con su entorno circundante, tanto orgánico como inorgánico.

La elección de "oikos" refleja la orientación fundamental de la ecología: estudiar cómo los organismos están integrados en y dependen de sus hábitats y ecosistemas, formando una red compleja de interacciones bióticas y abióticas. Desde su concepción, la ecología se ha desarrollado en una disciplina científica amplia y multifacética que explora cómo los individuos, las poblaciones y las comunidades interactúan entre sí y con sus entornos no vivos, abarcando sistemas desde pequeños hasta globales.

La ecología abarca así varios niveles de organización biológica, desde el individuo hasta la biosfera, cada uno de los cuales contribuye a una comprensión en distinta escala de la vida en la Tierra, así como las dinámicas naturales propias de cada nivel. Estos son los principales niveles de organización biológica que abarca la ecología:

Organismo: Este es el nivel más básico en ecología, centrado en el individuo. Un organismo es un ser vivo individual. Los ecologistas estudian cómo los organismos interactúan con su entorno inmediato, cómo se adaptan a condiciones ambientales específicas, y cómo estas interacciones y adaptaciones afectan su supervivencia y reproducción.

Población: Una población es un grupo de individuos de la misma especie que viven en un área determinada. En este nivel, los ecologistas examinan cómo las poblaciones cambian en tamaño, densidad, y estructura (como la distribución de edades y la proporción de sexos), y cómo las poblaciones responden a los factores ambientales y las interacciones bióticas como la competencia y la depredación.

Comunidad: Una comunidad consiste en todas las poblaciones de diferentes especies que interactúan en un área específica. La ecología de comunidades estudia cómo estas especies coexisten y se afectan unas a otras, la diversidad de especies (biodiversidad), las interacciones predador-presa, relaciones simbióticas, y la dinámica de la sucesión ecológica.

Ecosistema: Un ecosistema incluye todos los organismos en una área dada, así como su ambiente físico (que incluye factores abióticos como el clima, el suelo, y el agua). Los ecologistas estudian cómo fluye la energía a través de los ecosistemas (por ejemplo, cadenas alimenticias y redes tróficas) y cómo se ciclan los nutrientes (carbono, nitrógeno, etc.). El enfoque está en las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos y cómo estos sistemas responden a las perturbaciones naturales y antropogénicas.

Bioma: Un bioma es una gran área geográfica de la superficie terrestre que comparte clima similar, tipos de plantas, y animales. Los ecologistas estudian cómo los factores climáticos y geográficos influyen en la estructura y funcionamiento de los biomas, y cómo estos grandes sistemas responden a los cambios globales como el calentamiento global.

Biósfera: La biosfera es el nivel más alto de organización biológica, que comprende todas las zonas de vida en la Tierra. Incluye todos los biomas y ecosistemas, y se centra en los procesos globales como el ciclo del carbono, el clima, y la distribución global de los ecosistemas. La ecología a nivel de biosfera trata de comprender las interacciones a gran escala entre la atmósfera, la hidrosfera, y la litosfera con la vida en la Tierra.

Cada uno de estos niveles de organización proporciona una perspectiva diferente sobre cómo los seres vivos interactúan entre sí y con sus entornos, permitiendo a los ecologistas formular preguntas de investigación y métodos de estudio adaptados a cada nivel, y contribuyendo a una comprensión integral de los sistemas vivos y su conservación.

Autoecología y Sinecología

La Autoecología y la Sinecología representan dos enfoques diferentes dentro de la Ecología, relacionadas también con una cuestión de escalas, y con implicaciones directas para la conservación y restauración de ecosistemas.

Autoecología

La Autoecología se centra en el estudio de las relaciones entre las especies individuales y su medio ambiente. Explora cómo los factores ambientales abióticos (como el clima, el suelo, la disponibilidad de agua) y bióticos (como competidores, depredadores, presas) influyen en la distribución, el comportamiento, la fisiología y la supervivencia de especies individuales. Esta rama de la Ecología opera a menudo a escalas más pequeñas, centrándose en los requisitos de vida de especies específicas o incluso de individuos dentro de esas especies.

Implicaciones para la conservación

En términos de conservación, la Autoecología puede informar estrategias dirigidas a proteger especies en peligro o amenazadas, desarrollando acciones específicas basadas en las necesidades ecológicas únicas de esas especies, como la protección de su hábitat crítico, la gestión de las poblaciones de sus depredadores o la provisión de recursos que pueden ser limitados.

Sinecología

La Sinecología estudia las comunidades de organismos y las relaciones entre las especies dentro de esos conjuntos, así como su interacción con el entorno físico. Se enfoca en los patrones de diversidad de especies, la estructura de las comunidades, los procesos ecológicos como la sucesión y la productividad, y cómo estos elementos se integran dentro de ecosistemas más amplios. Esta rama de la Ecología trabaja a escalas más grandes, abordando ecosistemas o paisajes enteros.

Implicaciones para la conservación y restauración de paisajes

Desde una perspectiva sinecológica, las estrategias de conservación y restauración se orientan hacia la preservación de la integridad y funcionalidad de los ecosistemas. Esto puede incluir la restauración de procesos ecológicos (como regímenes de fuego naturales), la conservación o reconstrucción de interacciones clave entre especies (por ejemplo, polinizadores y plantas), y la protección de paisajes que sustentan una diversidad biológica significativa.

Complementariedad entre ambas ramas de la Ecología

Ambos enfoques son complementarios y críticos para el éxito de los esfuerzos de conservación y restauración. La Autoecología proporciona el conocimiento detallado necesario para entender y gestionar las necesidades de especies específicas, mientras que la Sinecología ofrece una visión más holística que es esencial para asegurar la funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas en su conjunto. En la práctica, las estrategias efectivas de conservación y restauración a menudo integran principios de ambas disciplinas, apuntando a proteger especies clave mientras se mantiene o restaura la estructura y función del ecosistema más amplio en el que se insertan.

Especies estenoicas y eurioicas

Según la tolerancia de los organismos a los cambios en factores ambientales específicos se pueden categorizar a las especies como estenoicas y eurioicas. Estas categorías reflejan cómo las especies responden a la variabilidad en su entorno, lo que a su vez influye en su distribución geográfica y sus interacciones ecológicas.

Especies estenoicas

Estas especies son aquellas que tienen un rango estrecho de tolerancia a uno o más factores ambientales. Estos organismos están adaptados para sobrevivir en condiciones muy específicas y no manejan bien los cambios o las variaciones en su entorno. Como resultado, suelen tener una distribución geográfica limitada y son más susceptibles a los cambios ambientales o a la pérdida de hábitat.

Por ejemplo:

Estenotérmicos: Especies que pueden soportar solo un rango estrecho de temperaturas.

Estenohalinos: Especies que toleran solo un rango estrecho de salinidad en el agua.

Especies eurioicas

En contraste, estas especies tienen un rango amplio de tolerancia a los factores ambientales. Pueden sobrevivir y reproducirse en una variedad de condiciones y, por lo tanto, suelen tener una distribución geográfica más amplia. Estos organismos son menos susceptibles a cambios en el entorno y pueden adaptarse a una gama más extensa de hábitats. Un caso son las especies invasoras.

Por ejemplo:

Euriotérmicos: Especies que pueden sobrevivir en un amplio rango de temperaturas.

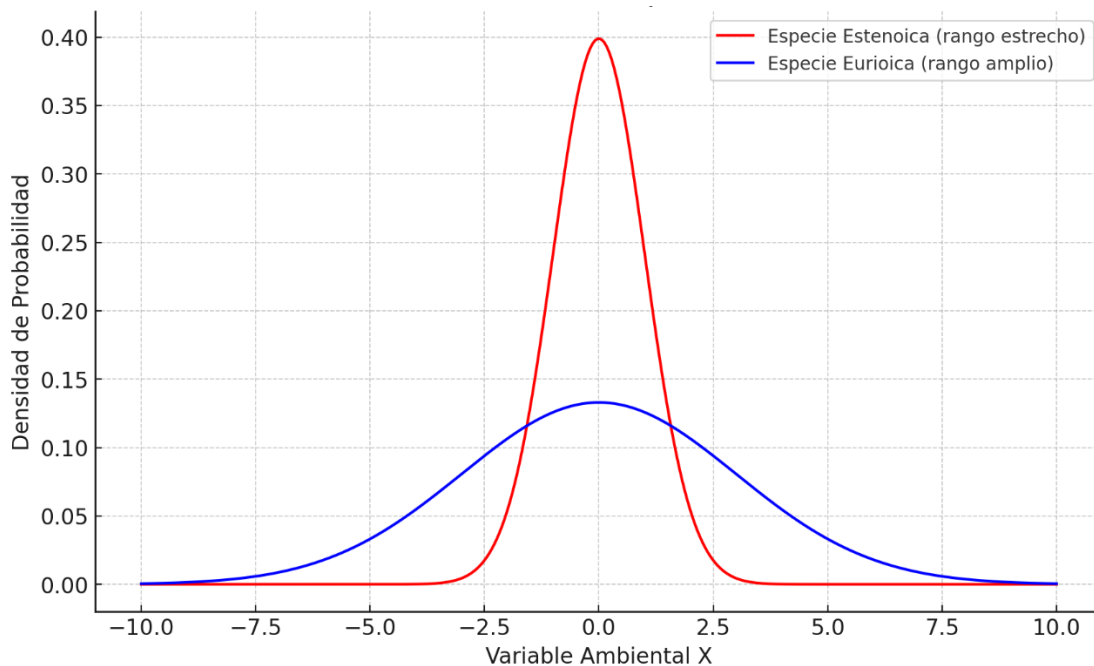
Eurihalinos: Especies que pueden tolerar una amplia gama de salinidades en el agua.

Importancia ecológica

La distinción entre especies estenoicas y eurioicas (Ilustración 1) es crucial en ecología y conservación, ya que ayuda a predecir cómo las poblaciones pueden responder a los cambios ambientales, incluido el cambio climático. Las especies estenoicas pueden ser particularmente

vulnerables a la extinción en escenarios de cambios rápidos o severos, ya que tienen menos capacidad para adaptarse a nuevas condiciones. Por otro lado, las especies eurioicas pueden ser más resistentes y capaces de expandir su rango geográfico en respuesta a los cambios ambientales.

Ilustración 1: Curvas gaussianas de tolerancia de especies hipotéticas a una variable ambiental X, mostrando la diferencia entre la especie estenoica y la eurioica.



Entender estas categorías ayuda a los ecólogos y conservacionistas a planificar y ejecutar estrategias de manejo y conservación más efectivas, dirigidas a proteger la biodiversidad en un mundo en rápida transformación.

Captura por unidad de esfuerzo

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE, por sus siglas tanto en español como en inglés) es un índice ampliamente utilizado en manejo pesquero y estudios de poblaciones de fauna para estimar la abundancia de una especie y evaluar la salud de las poblaciones explotadas. Este índice refleja la cantidad de animales capturados o avistados por una unidad estándar de esfuerzo de captura física o de imagen. El "esfuerzo" puede ser definido de varias maneras, dependiendo de la actividad específica, como el número de horas de pesca, el número de trampas usadas, la cantidad de redes desplegadas, o la longitud del esfuerzo de pesca (como kilómetros recorridos).

Descripción de la CPUE en fauna terrestre

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en el contexto de la fauna terrestre se refiere a la cantidad de individuos capturados, avistados, o registrados por una unidad estandarizada de esfuerzo. Este esfuerzo puede definirse como el número de trampas utilizadas, las horas de funcionamiento de cámaras de rastreo, o el número de recorridos de censo en un área determinada. Es muy importante este concepto porque la densidad de individuos de una especie

en una dada área no depende de la cantidad de esfuerzo que se realice para registrar o capturar individuos, mientras que este esfuerzo sí impactará en la cantidad de individuos que se capturen o registren. A más esfuerzo, más captura o registro. A menor esfuerzo, menor captura o registro. Es decir, el único valor que puede estimar o aproximar la densidad es el cociente entre cantidad de individuos capturados (o registrados) y el esfuerzo realizado.

$$CPUE = \frac{\text{Cantidad de individuos}}{\text{Esfuerzo realizado}}$$

Aplicaciones de la CPUE

Estimación de la abundancia relativa: En estudios de fauna terrestre, la CPUE se utiliza para estimar la abundancia relativa de especies dentro de un área específica. Por ejemplo, en estudios de poblaciones de insectos, se podría medir cuántos individuos se capturan por cada trampa colocada durante una noche. Una disminución en la CPUE a lo largo del tiempo podría indicar una reducción en la población de esos insectos. En ciertas ocasiones, por razones logísticas, en los distintos muestreos cada trampa puede permanecer distintas cantidad de horas en actividad. En este caso, resultará crucial considerar el esfuerzo como cantidad de horas por trampa.

Evaluación de la eficacia de gestión: La CPUE también se utiliza para evaluar la efectividad de las medidas de gestión en áreas protegidas o reservas. Si se implementan medidas para mejorar el hábitat o reducir la presión de depredación, un aumento en la CPUE de especies objetivo podría indicar un éxito en estas intervenciones.

Comparaciones espaciales y temporales: Al comparar la CPUE en diferentes áreas o diferentes tiempos dentro del mismo área, los ecólogos pueden evaluar cómo factores como la alteración del hábitat, la urbanización, o los cambios estacionales afectan a las poblaciones de fauna.

Limitaciones de la CPUE

Estandarización del esfuerzo: La comparabilidad de los datos de CPUE depende de la consistencia en cómo se mide el esfuerzo. Cambios en la metodología de colocación de trampas, en las técnicas de rastreo o en las condiciones ambientales pueden influir significativamente en la CPUE.

Interpretación de datos: Una CPUE alta no necesariamente refleja una población abundante o saludable. Podría deberse a una alta eficiencia en la técnica de captura o a condiciones particulares que incrementen temporalmente la visibilidad o actividad de la fauna.

Presunciones ecológicas: La CPUE asume que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser capturados, lo cual puede no ser cierto si hay variabilidad en el comportamiento de las especies, como los patrones de movimiento o la reactividad a las trampas.

En resumen, la CPUE es una herramienta valiosa en estudios de ecología terrestre para medir la abundancia relativa y evaluar el impacto de las prácticas de manejo, pero debe ser utilizada con cuidado y en conjunto con otros métodos de evaluación para obtener una imagen precisa de la dinámica poblacional y la salud de las especies estudiadas.

Teoría de estrategias de vida: Estrategas r y K

En ecología, el término "ecosistema" describe un conjunto dinámico de individuos de distintas especies interactuando entre sí y con su medio ambiente, intercambiando materia y energía. Esta interacción sucede en un "sistema" que se asemeja a una casa (del griego "oikos"), donde cada elemento y espacio tiene una función específica.

Un ecosistema puede ser tan vasto como un paisaje que incluye un lago, campos y montañas forestadas, o tan particular como un lago específico, donde peces, moluscos y fitoplancton forman un ecosistema más restringido, pero igualmente complejo. Cada ecosistema se compone de dos elementos fundamentales: la comunidad biológica, que incluye una diversidad de especies, y el hábitat físico-químico, que proporciona el espacio vital para estas especies.

La teoría de estrategias de vida o teoría de historias de vida explica cómo las especies han evolucionado para maximizar su éxito reproductivo en respuesta a las condiciones ambientales en las que viven, equilibrando la reproducción y la supervivencia. Las estrategias de vida son patrones de características fisiológicas, de comportamiento y de desarrollo que cada especie exhibe y que están relacionadas con su capacidad de supervivencia y reproducción.

Esta teoría se centra en cómo las especies gestionan su energía y recursos en tres actividades principales:

Crecimiento

Este aspecto cubre cómo los organismos crecen desde el nacimiento hasta la madurez, un factor crucial que afecta cuándo y cómo pueden reproducirse. Incluye:

Velocidad de crecimiento: Cuán rápido un organismo alcanza un tamaño maduro.

Edad de madurez sexual: El momento en que un organismo es capaz de reproducirse por primera vez.

Tamaño final o maduro: El tamaño que alcanza un organismo al final de su fase de crecimiento.

Reproducción

Este componente se refiere a cómo y cuándo los organismos se reproducen, así como la cantidad de energía que invierten en su progenie. Los detalles incluyen:

Número de descendientes: Cantidad de crías producidas por evento reproductivo.

Frecuencia de reproducción: Cuán a menudo un organismo se reproduce a lo largo de su vida.

Inversión parental: El grado de cuidado y recursos que los padres proporcionan a su descendencia, desde ninguna inversión (excepto los gametos) hasta cuidado extenso.

Supervivencia

La supervivencia se relaciona con las estrategias que los organismos utilizan para mantenerse vivos desde la juventud hasta la madurez y más allá, lo que directamente afecta su capacidad de reproducción a lo largo de la vida. Esto puede incluir:

Longevidad: Cuánto vive un organismo.

Estrategias de evasión o defensa: Cómo un organismo evita la predación o maneja las condiciones ambientales adversas.

Capacidad de adaptación: Habilidad de un organismo para manejar cambios en el ambiente o presiones selectivas.

Estos tres aspectos fundamentales de la teoría de estrategias de vida están profundamente interconectados y, en la naturaleza, cualquier cambio en uno puede influir directamente en los otros. Por ejemplo, una especie que invierte mucho en reproducción podría tener un crecimiento más lento o una menor longevidad debido a la distribución de recursos limitados entre las necesidades competidoras.

Estos componentes se ven influenciados por las condiciones ambientales y evolutivas, y determinan cómo una especie se adapta y sobrevive en su hábitat particular. Aunque estos son los tres componentes principales, la teoría de estrategias de vida es dinámica y puede incluir otros factores específicos de especie o de entorno.

Dentro de la comunidad, cada especie tiene un tamaño poblacional que depende de varios factores, incluidas sus estrategias reproductivas. Estas estrategias se clasifican principalmente en dos tipos: estrategia r y estrategia K. En la Ilustración 2 se pueden observar comparativamente los típicos crecimientos poblacionales de ambas estrategias de vida.

Estrategia r: Caracterizada por altas tasas de reproducción y corta expectativa de vida. Las especies con estrategia r suelen producir muchos descendientes con poco cuidado parental. Este método es efectivo en ambientes inestables donde la mortalidad es alta y el éxito reproductivo es una cuestión de cantidad sobre calidad. Por ejemplo, muchos insectos adoptan esta estrategia, produciendo grandes cantidades de huevos para asegurar que al menos algunos lleguen a la edad adulta.

Estrategia K: En contraste, las especies con estrategia K tienden a reproducirse más lentamente, con menos descendientes y mayor inversión en cuidado parental. Esta estrategia es común en ambientes más estables, donde la competencia por recursos limitados es intensa y el tamaño poblacional tiende a estabilizarse cerca del límite de capacidad de carga del ambiente (denotado por "K"). Ejemplos típicos incluyen mamíferos como elefantes, que tienen pocos crías a lo largo de su vida, pero invierten mucho en su cuidado y supervivencia.

Las interacciones entre especies en un ecosistema pueden tomar formas de mutualismo, donde ambas especies se benefician como en el caso de las abejas y las flores; comensalismo, donde una especie se beneficia sin afectar a la otra, como los animales carroñeros que consumen restos dejados por predadores; y predación, incluyendo parasitismo, donde la relación es beneficiosa para una especie, pero perjudicial para la otra.

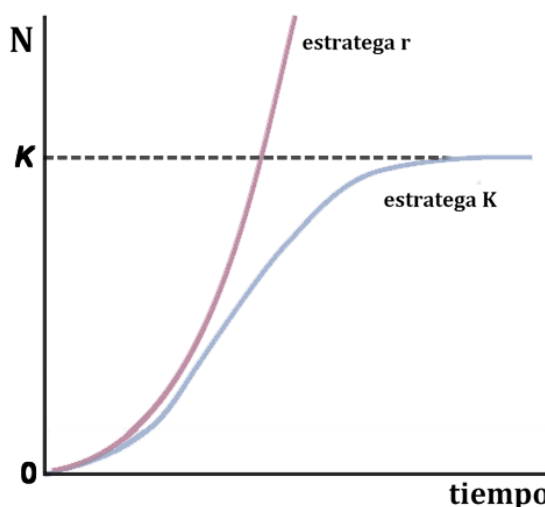
Los desafíos ambientales actuales, como el cambio climático y la acidificación, están transformando la dinámica de estos ecosistemas, amenazando la biodiversidad y la supervivencia de muchas especies. Es crucial que, como sociedad global, adoptemos un estilo de vida más sostenible y consciente de nuestros impactos en la naturaleza.

En el contexto de la biología y la ecología, tanto "características" como "atributos" son términos adecuados para describir aspectos específicos de los organismos o de sus estrategias de vida. El término "atributos" puede ser considerado más técnico o formal, especialmente si se trata de escritos científicos, para referirse a las cualidades o propiedades inherentes de un organismo que influyen en su comportamiento, supervivencia, y reproducción. En la Tabla 1 se presenta un cuadro comparativo de atributos entre estrategias r y K .

Tabla 1: Comparación de atributos entre estrategias r y K .

Atributo	Estrategia r	Estrategia K
Tamaño de la población	Poblaciones fluctuantes, a menudo superan la capacidad de carga del ambiente.	Poblaciones estables, cerca de la capacidad de carga del ambiente.
Tasa de reproducción	Alta, con muchas crías en poco tiempo.	Baja, con menos crías, pero más inversión en cada una.
Madurez temprana	Sí, maduran rápidamente y se reproducen poco después de nacer.	No, maduran lentamente y se reproducen más tarde en la vida.
Tamaño de la progenie	Grande; muchos descendientes con poca atención parental.	Pequeño; menos descendientes con alta atención parental.
Supervivencia de la progenie	Baja, muchas crías no sobreviven hasta la edad adulta.	Alta, la mayoría de las crías sobreviven hasta la edad adulta gracias a la inversión parental.
Tipo de ambiente	Ambientes impredecibles o en constante cambio.	Ambientes estables y predecibles.

Ilustración 2: Dos estrategias de reproducción claramente diferenciadas: r y K



Nota: La estrategia K es propia de animales grandes, que requieren mucho alimento y cuidado parental en sus crías, mientras que los estrategias r , en cambio, se caracterizan por su reproducción masiva y rápida, corta vida y pocos individuos que llegan a la adultez, siendo típicos ejemplos los insectos.

Atributo	Estratega r	Estratega K
Longevidad	Generalmente corta; viven para reproducirse rápidamente y morir.	Larga; viven mucho tiempo y se reproducen varias veces durante su vida.
Tamaño corporal	Generalmente pequeño, lo que permite una rápida maduración y reproducción.	Generalmente grande, lo que está asociado con una mayor longevidad y menor tasa de reproducción.
Edad de madurez	Madurez alcanzada rápidamente, a veces en Semanas o meses.	Madurez alcanzada más tarde, a menudo años después del nacimiento.
Ejemplos	Insectos como las moscas, bacterias, roedores.	Mamíferos grandes como elefantes, humanos, tortugas.

Tipos de distribución de especies

Los tipos de distribución poblacional se refieren a cómo los individuos de una población se distribuyen o espacian dentro de un hábitat. Estas distribuciones son fundamentales para entender la ecología de las especies, cómo interactúan entre sí y con su entorno.

Cada tipo de distribución tiene implicaciones significativas para la dinámica de poblaciones, la gestión de recursos y la conservación de especies. Por ejemplo, entender el patrón de distribución de una especie puede ayudar a los conservacionistas a identificar áreas críticas para la protección o a desarrollar estrategias de manejo más efectivas.

Existen tres tipos principales de distribución poblacional: uniforme, aleatoria y agregada (o agrupada).

Distribución uniforme

En una distribución uniforme, los individuos se distribuyen de manera más o menos equidistante entre sí. Este patrón de distribución suele resultar de la competencia por recursos, como el agua o la luz, o por comportamientos sociales que maximizan el espacio personal y reducen la competencia.

Ejemplo: Los pingüinos emperador durante la temporada de cría mantienen una distancia relativamente constante entre ellos para maximizar la protección contra el frío y minimizar los conflictos.

Distribución aleatoria

Una distribución aleatoria ocurre cuando la posición de cada individuo es independiente de los demás. Este tipo de distribución es menos común en la naturaleza y tiende a ocurrir en hábitats donde los recursos son abundantes y uniformemente distribuidos, y no hay una fuerte interacción entre los individuos de la población.

Ejemplo: Plantas como el diente de león pueden mostrar una distribución aleatoria en áreas donde el viento dispersa sus semillas de manera indiscriminada y donde no hay una competencia significativa por recursos.

Distribución agregada (o agrupada)

La distribución agregada es el patrón más común en la naturaleza. Los individuos se agrupan en parches, lo que puede ser el resultado de la distribución desigual de los recursos en el medio ambiente, comportamientos sociales, o procesos de dispersión. Las agregaciones pueden proporcionar beneficios como protección contra depredadores, mejora en la captura de presas, y eficiencia reproductiva.

Ejemplo: Las manadas de elefantes se distribuyen de manera agregada, agrupándose alrededor de fuentes de agua o áreas con abundante alimento. Las termitas también construyen montículos que resultan en una alta densidad de individuos en áreas específicas.

Algunas observaciones

La distribución aleatoria en animales es relativamente rara, ya que la mayoría de las especies animales exhiben algún grado de comportamiento social, territorialidad o movimiento hacia áreas con recursos óptimos, lo que lleva a patrones de distribución más uniformes o agregados. Sin embargo, bajo ciertas condiciones ambientales y ecológicas, algunos animales pueden presentar una distribución que se aproxima a la aleatoriedad, especialmente en hábitats donde los recursos están ampliamente distribuidos y son abundantes, o en especies con mínima interacción social o territorial.

Un ejemplo podría ser ciertas especies de insectos acuáticos o larvas de insectos que viven en cuerpos de agua con recursos distribuidos uniformemente. En estos casos, la distribución de los individuos puede no estar fuertemente influenciada por la competencia o por el comportamiento social, lo que podría resultar en una distribución más aleatoria.

Otro posible ejemplo serían animales pequeños en hábitats muy homogéneos, como algunos invertebrados en amplias extensiones de arena o suelo, donde la distribución de recursos como el alimento y el refugio es uniforme y las interacciones entre individuos son mínimas o no dependen de la proximidad física.

Es importante mencionar que, aunque teóricamente se pueden considerar estos ejemplos, en la práctica, la pura aleatoriedad es difícil de encontrar en poblaciones animales debido a las complejas interacciones ecológicas y comportamentales que afectan su distribución. La mayoría de los animales tienden a mostrar patrones de distribución más definidos como agregados o uniformes debido a comportamientos específicos, necesidades ecológicas y la estructura del hábitat.

Relación con las estrategias r y K

La relación entre los patrones de distribución poblacional y las estrategias de vida de los organismos r y K es una forma útil de entender cómo las estrategias reproductivas y adaptativas de las especies influyen en su distribución en el medio ambiente. Sin embargo, es importante notar que estas tendencias son generalizaciones y que existen muchas excepciones. La distribución de una especie está influenciada por una compleja interacción de factores, incluidos los comportamientos específicos, las necesidades ecológicas, la disponibilidad de recursos, la presión de depredación, y la estructura del hábitat. Por lo tanto, aunque la estrategia de vida r

o K de una especie puede ofrecer algunas pistas sobre su patrón de distribución potencial, la realidad ecológica de cada especie a menudo presenta un cuadro más matizado.

Estrategas r

Los estrategas r son especies que se caracterizan por tener altas tasas de reproducción, madurez temprana, y por producir un gran número de descendientes con poca o ninguna inversión parental. Estas especies tienden a colonizar hábitats perturbados o temporales, donde los recursos pueden ser temporalmente abundantes pero impredecibles a largo plazo. En este contexto, una distribución aleatoria puede ser más común entre los estrategas r, especialmente en escenarios donde los recursos están dispersos de manera uniforme por un breve período, permitiendo que los individuos se establezcan dondequiera que encuentren un hábitat adecuado sin mucha competencia directa entre ellos en las etapas iniciales de la colonización.

Estrategas K

Por otro lado, los estrategas K son especies que se caracterizan por tener tasas de reproducción más bajas, inversión significativa en cada descendiente, y una alta supervivencia de los juveniles. Estas especies tienden a maximizar su éxito reproductivo en hábitats estables y predecibles, y son más propensas a la competencia intraespecífica. Por lo tanto, es más probable que exhiban patrones de distribución agregada o uniforme. En el caso de una distribución agregada, esto puede deberse a la agrupación alrededor de recursos limitados o comportamientos sociales que facilitan el cuidado parental, la defensa contra depredadores, o la eficiencia reproductiva. La distribución uniforme a menudo resulta de la competencia directa por recursos, lo que lleva a un espaciamiento más regular de los individuos dentro de un hábitat.

Modelo exponencial de crecimiento

El modelo de crecimiento exponencial es una manera de describir el comportamiento poblacional de ciertas especies cuyas cantidades de individuos aumenta rápidamente en un dado momento para luego caer abruptamente. Esta forma de crecimiento y caída es propia de los estrategas r.

Se puede imaginar una población de bacterias que se duplica cada hora. Si comienzas con una sola bacteria, después de una hora tendrás dos bacterias, luego cuatro después de dos horas, ocho después de tres horas, y así sucesivamente. El crecimiento se acelera porque cada nueva generación de bacterias duplica la generación anterior. Y al cabo de unas horas la población se hizo masiva. En fórmulas lo podemos plantear como sigue.

Asumamos que no hay inmigración ni emigración y llamemos:

m = número de unidades temporales (u. t.)(año, mes, etc.)

N_{m-1} = tamaño de la población en la u. t. " $m - 1$ "

N_m = tamaño de la población en la u. t. " m "

$N_m - N_{m-1} = \text{Nacimientos}_{m-1 \rightarrow m} - \text{Muertes}_{m-1 \rightarrow m}$

Multiplicando y dividiendo por N_{m-1} y luego pasando a la derecha N_{m-1}

$$N_m = \underbrace{\frac{(\text{Nacimientos}_{m-1 \rightarrow m} - \text{Muertes}_{m-1 \rightarrow m})}{N_{m-1}}}_{\text{tasa de crecimiento}} N_{m-1} + N_{m-1}$$

Tasa de crecimiento

$$N_m = \left\{ \frac{(\text{Nacimientos}_{m-1 \rightarrow m} - \text{Muertes}_{m-1 \rightarrow m})}{N_{m-1}} + 1 \right\} N_{m-1}$$

Tasa de reproducción neta o de reemplazo básico o R_{m-1}

$$N_m = R_{m-1} \cdot N_{m-1}$$

$$N_m = R_{m-1} \cdot R_{m-2} \cdot N_{m-2}$$

$$N_m = \underbrace{R_{m-1} \cdot R_{m-2} \cdot \dots \cdot R_0}_{\text{tenemos el producto de } m \text{ valores } R_i, \text{ con } 0 < i \leq m} \cdot N_0$$

tenemos el producto de m valores R_i , con $0 < i \leq m$

Asumiendo la siguiente hipótesis:

$R_m - 1$ es constante para todo $m \geq 1$,

entonces

$$N_m = R_0 \cdot N_{m-1} = R_0^2 \cdot N_{m-2} = \dots = R_0^m \cdot N_{m-m}$$

$$N_m = R_0^m \cdot N_0$$

Por propiedad de los logaritmos se tiene que

$$R_0 = e^{\ln(R_0)}$$

Entonces

$$N_m = e^{\ln(R_0) \cdot m} \cdot N_0$$

Llamando a la unidades de tiempo (días, meses, horas, años) como u. t., entonces

$$N_m = e^{\ln(R_0) \cdot m \cdot \frac{u.t.}{u.t.}} \cdot N_0$$

$$N_m = e^{\frac{\ln(R_0)}{u.t.} \cdot m \cdot u.t.} \cdot N_0$$

Llamando t (tiempo) = $m \cdot u. t.$ y $r_0 = \frac{\ln(R_0)}{u. t.}$, obtenemos finalmente

$$N_t = N_0 e^{r_0 \cdot t}$$

De la fórmula final podemos apreciar que el crecimiento dependerá de dos parámetros, la población inicial N_0 y la tasa instantánea de crecimiento r_0 , a veces expresada simplemente como r , dando así origen al nombre de esta estrategia.

El psílido asiático de los cítricos, un ejemplo interesante de estrategia r

Diaphorina citri, conocido en un nombre vernáculo como el psílido asiático de los cítricos, es una plaga importante para los cultivos de estas plantas. Al igual que los cítricos, es originario de Asia, siendo un insecto pequeño que se alimenta de la savia de una variedad de plantas cítricas. Además de causar daño directo al alimentarse, *Diaphorina citri* es especialmente problemático porque transmite la bacteria *Candidatus Liberibacter*, causante del Huanglongbing (HLB), también conocido como greening de los cítricos, una enfermedad devastadora para estos

árboles. Se puede considerar al psílido de los cítricos como un estratega r debido a las siguientes características:

Alta tasa de reproducción: Las hembras de *Diaphorina citri* pueden poner cientos de huevos durante su ciclo de vida.

Desarrollo rápido: El ciclo de vida desde huevo hasta adulto puede completarse en menos de un mes en condiciones óptimas.

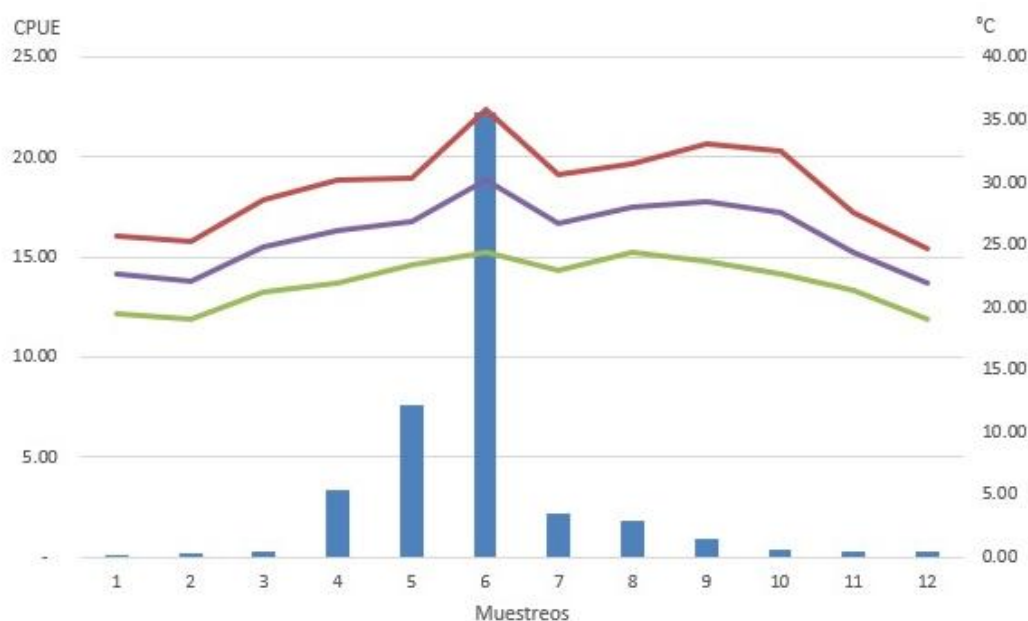
Poca inversión por descendiente: La supervivencia de cada individuo no es alta, pero la producción masiva de huevos compensa las pérdidas.

Estas características le permiten a la especie explotar rápidamente hábitats disponibles y diseminarse eficientemente, características típicas de los estrategas r. Esta estrategia reproductiva también ayuda a explicar por qué *Diaphorina citri* ha sido tan exitoso en invadir nuevas áreas y en establecerse en una amplia gama de condiciones ambientales, lo que ha facilitado su propagación global y su impacto en la agricultura de cítricos.

Bany Jael Aguilar Marcial y María Gisella Velázquez Silvestre estudiaron el comportamiento poblacional de plagas en huertas orgánicas de Veracruz, México. En la

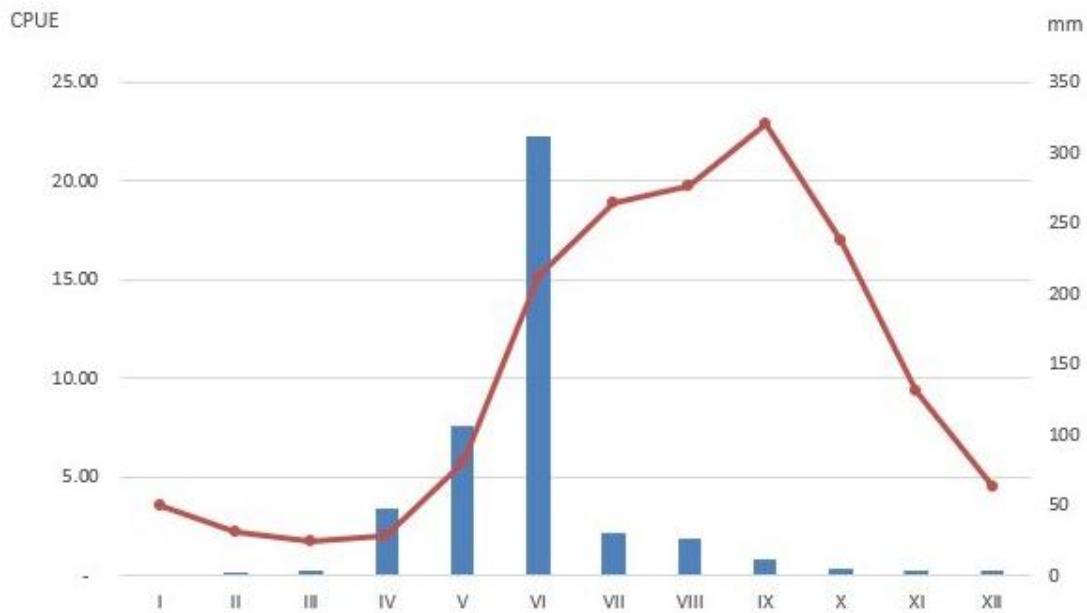
Ilustración 3 se puede observar el crecimiento de la población del psílido de los cítricos en una huerta de Veracruz, México, expresado como CPUE en función de los meses del año. Conforme se va incrementando la temperatura media con los meses, se aprecia que con la llegada del verano aumenta exponencialmente la población para luego caer abruptamente. En la Ilustración 4 se puede observar el mismo crecimiento poblacional en simultáneo con las precipitaciones mensuales, pudiéndose observar la coincidencia entre la escasez de precipitaciones y la baja CPUE hacia fines de año.

Ilustración 3: Relación entre la captura por unidad de esfuerzo de *Diaphorina citri* K. y la temperatura en la huerta de cítricos El Trébol, Sayula de Alemán, Veracruz, México.



Nota. Cortesía de Bany Jael Aguilar Marcial (2024) Compartamiento poblacional de Diaphorina citri K. en Huerta de cítricos El Trébol, Sayula de Alemán, Veracruz, Mexico.

Ilustración 4: Relación entre la captura por unidad de esfuerzo de Diaphorina citri K. y las precipitaciones en la huerta de cítricos El Trébol, Sayula de Aleman, Veracruz, México.



Nota. Cortesía de Bany Jael Aguilar Marcial (2024) Compartamiento poblacional de Diaphorina citri K. en Huerta de cítricos El Trébol, Sayula de Alemán, Veracruz, México.

Modelo de crecimiento logístico o denso-dependiente

La ecuación de crecimiento exponencial obtenida anteriormente para los estrategas r no es otra que la solución a la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dN(t)}{dt} = r_0 \cdot N(t)$$

Dicha ecuación indica que el crecimiento poblacional, o sea el término izquierdo de la igualdad, es lineal con la población, con pendiente r_0 . Para una población de una especie relativamente grande o grande, cuyo requerimientos de recursos son importantes, el ambiente tendrá un límite para esta provisión. Este límite se llama capacidad de carga y se representa con la letra K. En particular, si se trata de una posible presa, la mayor población de esta incrementará la probabilidad de encuentro con su predador contribuyendo así este último a la capacidad de carga de la primera, como se puede apreciar en la población de carpinchos Ilustración 5.

Ilustración 5: Síntesis visual del modelo logístico o denso-dependiente con una población de capinchos (Hydrochoerus hydrochaeris)



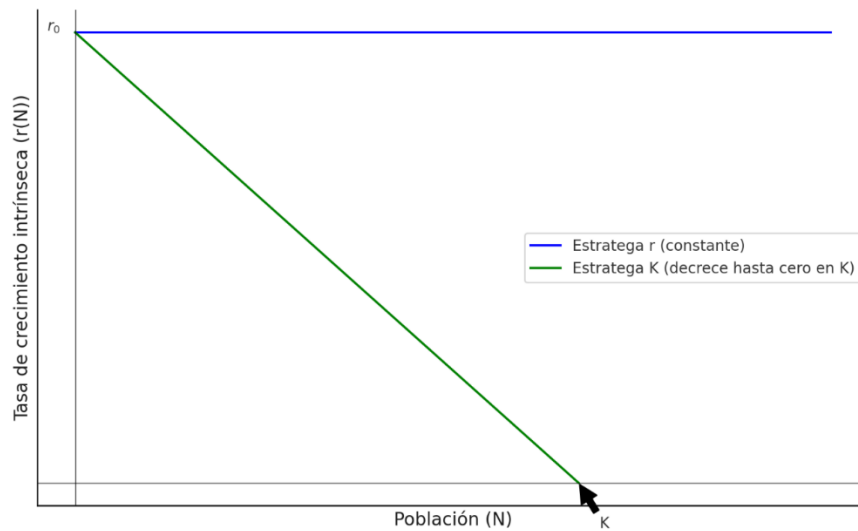
Nota: En las dos imágenes superiores se aprecia la fase en la que domina el crecimiento exponencial, pasando de una población reducida a una bastante mayor. En las dos imágenes de abajo se aprecia un nivel poblacional cuya variación es bastante menor tendiendo o manteniéndose alrededor de la capacidad de carga del ecosistema en que se encuentra la población de la especie.

Una forma matemática de representar el crecimiento poblacional de una estrategia K es expresar la tasa instantánea de crecimiento ya no como una constante, es decir, r_0 sino como una tasa instantánea de crecimiento variable con el nivel poblacional, de la siguiente manera:

$$r(t) = r_0 \cdot \left(1 - \frac{N(t)}{K}\right)$$

En la Ilustración 6 se representa la tasa instantánea (también llamada intrínseca) de crecimiento donde se observa que cuando el nivel poblacional N alcanza la capacidad de carga K , la tasa decrecimiento se anula.

Ilustración 6: Comparación de la tasa intrínseca de crecimiento entre un estrategia r y uno K

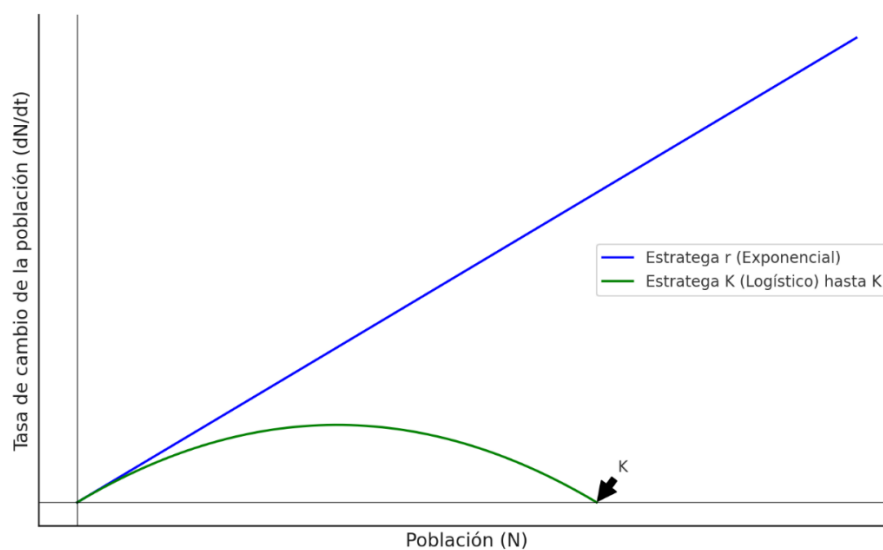


Para un estrategia K la ecuación diferencial que represente su crecimiento poblacional se expresará de la siguiente manera:

$$\frac{dN(t)}{dt} = r_0 \cdot \left(1 - \frac{N}{K}\right) \cdot N(t)$$

Dicha ecuación expresa matemáticamente el modelo de crecimiento logístico o denso-dependiente. Si graficamos $\frac{dN(t)}{dt}$ en función de $N(t)$ obtenemos los gráficos de la Ilustración 7 donde se puede observar que un estrategia r tiene crecimiento permanente, a no ser que ocurra un cambio estacional importante u otro factor ambiental que detenga dicho crecimiento. En cambio, el estrategia K comienza con un crecimiento bajo que se va incrementando hasta llegar a mitad de la capacidad de carga para luego comenzar a reducirse nuevamente. Esto ocurre porque al principio hay pocos individuos que aporten nuevas generaciones mientras que cuando la población se va aproximando a la capacidad de carga, la competencia entre individuos de la misma especie (competencia intraespecífica) se incrementa dificultando así el sostenimiento del crecimiento.

Ilustración 7: Comparación entre el crecimiento poblacional de un estrategia r y uno K



Por último, la solución analítica a la ecuación diferencial del modelo logístico se expresa de la siguiente forma:

$$N(t) = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - N_0}{N_0}\right) \cdot e^{-r_0 \cdot t}}$$

Bibliografía

Margalef, R. (2005). *Ecología*. Madrid: Omega.

Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología*. Pearson.