TRABAJO PRÁCTICO 7

ANÁLISIS DE VIABILIDAD POBLACIONAL

La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) llegó a un total de 22.784 especies en el año 2015 (IUCN 2015). En un mundo ideal, las organizaciones de conservación buscarían conservar cada sitio que contenga una especie rara, amenazada o en peligro. Pero en el mundo real, los costos monetarios asociados a los planes de conservación hacen que esta estrategia sea imposible, especialmente teniendo en cuenta el número de especies que se encuentran comprometidas. Por lo tanto, es necesario concentrar los esfuerzos en aquellas poblaciones que se encuentren más amenazadas, pero que además todavía tengan posibilidades de recuperarse (Morris et al. 1999). Para llevar a cabo esta elección debemos poder estimar de la manera más precisa posible cuál es la probabilidad de que una población dada de una especie amenazada persista durante un tiempo determinado. Para ello es necesario contar con métodos prácticos que brinden una respuesta a esta pregunta, especialmente considerando que generalmente no se cuenta con información muy detallada acerca las especies raras, las cuales suelen ser las más amenazadas. El uso de este tipo de métodos se conoce como Análisis de Viabilidad Poblacional (AVP), también llamados PVA por sus siglas en inglés (*Population Viability Analysis*).

Los análisis de viabilidad poblacional usan modelos cuantitativos de dinámica poblacional para predecir el estado futuro de una población (en particular, una predicción del riesgo de extinción) y evaluar el resultado de distintos escenarios de riesgo o de manejo (Morris & Doak 2002). El riesgo de extinción de una población puede ser estimado de diferentes maneras. Una de las estimaciones más usadas es la probabilidad de extinción acumulativa o de cuasi-extinción. El umbral de cuasi-extinción refleja el hecho de que una población puede estar condenada a la extinción aunque todavía existan individuos vivos. Por ejemplo, para las especies que se reproducen sexualmente, el número mínimo de individuos necesarios para persistir es una pareja reproductiva. Sin embargo, dado que existe una probabilidad de mortalidad asociada a cada individuo, el umbral de cuasi-extinción es generalmente mayor. Otras medidas incluyen el tiempo medio para alcanzar algún umbral relevante (e.g., el tiempo necesario para que la población se reduzca en un 50%) o la probabilidad de llegar a ese umbral en un tiempo determinado.

Los métodos usados para llevar a cabo los/un análisis de viabilidad poblacional son muy variados, y dependen principalmente del tipo de dato con el que se cuente. Pueden hacerse a partir de conteos (censos del tamaño poblacional a lo largo de varios años), de datos demográficos (las tasas de supervivencia y fertilidad de cada estadio o clase de edad en una población) o de datos de presencia/ausencia de una especie en múltiples sitios. De ellos, los más usados son los basados en series temporales de censos, ya que suele ser el tipo de dato más frecuentemente disponible.

Los análisis de viabilidad poblacional pueden generarse partiendo de diferentes modelos de dinámica poblacional. El modelo más simple para describir como varía el tamaño de una población a lo largo del tiempo es: $N_{(t+1)} = \lambda\, N_{(t)}$ donde $N_{(t)}$ y $N_{(t+1)}$ son el número de individuos en la población en el tiempo t y t+1, respectivamente, y λ es la tasa de crecimiento poblacional. Si el ambiente no varía a lo largo del tiempo, entonces la tasa de crecimiento poblacional λ se comporta como una constante. Cuando λ es mayor a 1, la población crece geométricamente, cuando λ es menor a uno, la población declina geométricamente hasta la extinción, y cuando λ es igual a 1, la población no crece ni decrece, manteniendo siempre el mismo tamaño a lo largo del tiempo.

Sin embargo, las condiciones del ambiente (temperatura, disponibilidad de alimento, etc.) pueden variar año a año, afectando a las tasas de reproducción y supervivencia y, en consecuencia, a la tasa de crecimiento poblacional. Por lo tanto, debemos tener en cuenta que para cualquier población real la tasa de crecimiento no es constante, sino que varía dentro de un cierto rango de valores. Esto hace que ya no sea posible predecir un único valor de tamaño poblacional en el futuro, sino que obtendremos un valor diferente de $N_{(t+1)}$ para cada valor posible de λ.

El conjunto de valores posibles que puede tomar $N_{(t+1)}$ se distribuye siguiendo la forma de una distribución log-normal (o, lo que es equivalente, que el logaritmo natural de los tamaños poblacionales tiene distribución normal). Esto significa que podemos usar la distribución normal (cuyas propiedades son bien conocidas) para calcular medidas de la viabilidad de esa población. Para ello necesitaremos primero conocer los dos parámetros que describen como cambia esa distribución de valores en el tiempo. Estos son: μ, que representa el cambio en la media de la distribución y σ^2, que representa cuán rápido crecerá la varianza de la distribución normal. Los parámetros μ y σ^2 de una población pueden estimarse fácilmente a partir de datos de censos, ya sea aplicando regresiones o con métodos analíticos (ver en Morris et al. 1999 una descripción detallada de los cálculos). Una vez estimados los parámetros μ y σ^2, podemos usarlos para calcular varias medidas de la viabilidad de la población de la cual provienen, como por ejemplo, la función de distribución acumulativa (que estima el riesgo de extinción de esa población) y la tasa promedio de crecimiento poblacional (λ_G). La tasa promedio de crecimiento poblacional describe la tendencia general de esa población, teniendo en cuenta las variaciones temporales asociadas a la tasa de crecimiento (λ). Cuando $\lambda_G>1$ la población tiende a crecer, cuando $\lambda_G<1$, tiende a decrecer y cuando $\lambda_G=1$ tiende a mantener un tamaño constante.

Este trabajo práctico tiene como **objetivos** principales (1) comprender el efecto de la estocasticidad ambiental sobre la dinámica de las poblaciones y (2) ejercitar la aplicación de un Análisis de Viabilidad Poblacional a partir de una serie temporal de censos de una población amenazada.

A. El crecimiento de las poblaciones y la variabilidad ambiental

(1) La función *Modelo* permite hacer simulaciones de trayectorias de crecimiento poblacional. Para correrla deberá especificar la tasa de crecimiento poblacional (lambda) y su grado de variabilidad (s2). Corra el modelo de crecimiento poblacional para una población en la que la tasa de crecimiento se mantenga constante, con valor λ =1,01. Para ello ingrese:

```
>Modelo(lambda=1.01,s2=0)
```

Observe el gráfico resultante de la simulación. ¿Qué ocurre con el tamaño poblacional al cabo de 50 generaciones? Observe qué sucede si cambiamos el valor de λ. (Aquí le damos los códigos para correr el modelo con λ=1,05 y λ=0,95. ¿Se anima a programar, además, para otros valores de λ?)

```
>Modelo(lambda=1.05,s2=0)
>Modelo(lambda=0.95,s2=0)
```

¿Cómo cambia el destino de la población en función del valor de la tasa de crecimiento λ? Si corre dos veces el mismo modelo, ¿cambian los resultados? ¿Qué tipo de modelo de crecimiento poblacional es este (densodependiente/densoindependiente, determinístico/estocástico)?

(2) Vuelva a correr el modelo, pero ahora considerando que la tasa de crecimiento es variable (s2 > 0). Es decir, el modelo simulará para cada año un valor diferente de la tasa de crecimiento de manera que esta varíe aleatoriamente alrededor de un valor promedio. Por ejemplo, para una población con tasa de crecimiento media =1,01 y varianza s2=0,05, escribimos:

```
>Modelo(lambda=1.05,s2=0.05)
```

> Nota: por defecto, la función *modelo* hará 20 simulaciones de la trayectoria de la población, teniendo en cuenta siempre los mismos parámetros. En caso de que desee ver de a una sola simulación por vez deberá agregar sim=1 a los parámetros del modelo.

Si bien las 20 simulaciones de cada corrida fueron hechas usando los mismos parámetros lambda y s2, todas ellas muestran una trayectoria diferente. ¿Por qué cree que pasa eso? ¿Qué tipo de modelo de crecimiento poblacional es este?

(3) Pruebe cambiar el valor de s2 (la variabilidad asociada a la tasa de crecimiento) y compare con el anterior. Use, por ejemplo, un valor de s2=0,09 ¿Qué diferencias nota? ¿Cómo cambia la forma del gráfico cuando aumenta el valor de s2? ¿A qué cree que se debe?

B. Estimación de la viabilidad de una población

El Cóndor de California o Cóndor Californiano (*Gymnogyps californianus*) es el ave terrestre más grande de América del Norte. Es una especie de la familia Cathartidae emparentada con el Cóndor Andino (*Vultur gryphus*). Su distribución original abarcaba toda la franja oeste de EEUU. A lo largo del siglo XX, el número de cóndores disminuyó dramáticamente debido a la caza furtiva, el envenenamiento por plomo y la destrucción de su hábitat. Actualmente solo se lo encuentra en algunas regiones de Arizona y el sur de California. El archivo “condor.txt” contiene una base de datos obtenida a partir de censos anuales del número de individuos de Cóndor Californiano durante 16 años.

(1) Copie el archivo en el escritorio y cargue la base de datos a R, otorgándole un nombre (por ejemplo, “condor”)

```
>condor <-read.table("C:/Documents and Settings/Escritorio/condor.txt",
header=TRUE)
>attach(condor)
```

La función *mus2* estima los parámetros μ y σ^2 a partir de series temporales. Requiere un archivo de datos con dos columnas: "year" y "Nt" (año y tamaño poblacional), como el que acaba de cargar al programa. Para aplicar la función *mus2* al conjunto de datos de la población de cóndores debe escribir:

```
>mus2(condor)
```

(2) Corra la función *mus2* y, a partir de los valores de μ y σ^2 que obtenga, calcule la tasa de crecimiento promedio para esta población (λ_G), sabiendo que $\lambda_G = \exp(\mu + (\sigma^2/2))$. ¿Qué puede decir acerca de la tendencia poblacional del cóndor de California? ¿Tiende a aumentar, disminuir o mantenerse constante a lo largo del tiempo?

(3) La Función de Distribución Acumulativa (CDF por sus siglas en inglés: *Cumulative Distribution Function*) estima el riesgo de extinción de una población denso-independiente mediante simulaciones. Requiere ingresar los valores de: mu (μ), sigma2 (σ^2), Nc (tamaño poblacional actual), Nx (tamaño poblacional de cuasi-extinción) y tiempo (número de años o generaciones simuladas en el futuro). Por ejemplo, si quisiera estimar la CDF de los próximos 50 años para una población de 100 individuos, con un tamaño de cuasi-extinción = 10, con valores de μ = -0,1 y σ^2 = 0,15, debería escribir:

```
>CDF(mu=-0.1,s2=0.15,Nc=100,Nx=10,tiempo=50)
```

Estime la Función de Distribución Acumulativa para el Cóndor de California, incorporando los parámetros estimados para la especies y teniendo en cuenta que para que esa población sea viable debe tener al menos 2 individuos, y conteste las siguientes preguntas:

(a) ¿En cuántos años la probabilidad de extinción de esa población llegará al 50%?
(b) ¿Cuál es la probabilidad de que esa población se extinga en 15 años?
(c) ¿Cómo cambiará la probabilidad de extinción de esa población en 15 años si se realiza una reintroducción de 10 individuos?
(d) ¿Qué supuestos debe tener en cuenta para hacer estas estimaciones?
(e) Teniendo en cuenta los resultados obtenidos: ¿Le parece que esta población tiene posibilidades de recuperarse por si sola? ¿Qué decisión de manejo tomaría?

BIBLIOGRAFÍA

IUCN (2015) *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2*. URL: http://www.iucnredlist.org/

MORRIS WF & DOAK DF (2002) *Quantitative conservation biology: theory and practice of population viability analysis*. Sinauer Associates, Sunderland

MORRIS W, DOAK D, GROOM M, KAREIVA P, FIEBERG J, GERBER L, MURPHY P & THOMSON D (1999) *A practical handbook for population viability analysis*. The Nature Conservancy, Washington DC