

## De la tranquilidad de la piscina, al ruido del mar abierto

Ángel Garduño-Sánchez\* y Eduardo M. Sánchez O.

09 de mayo de 2019

De niños, al salir de vacaciones a la playa era mucho más probable que los padres prefirieran ver a los niños nadar en la piscina que en el mar. ¿La razón? La información disponible. Podían conocer perfectamente la profundidad de la piscina, la cantidad de personas dentro y lo más importante, que estarías siempre dentro de ella y no terminarías apareciendo en otro lugar pues el espacio tiene límites.

En cambio, en el mar quedaban muchas variables sin respuesta. No podían saber si aumentaría el oleaje o cómo cambiaría la profundidad en distintas partes de la bahía, la posibilidad de que apareciera un aguamala u otro animal o hacia dónde podría llevarte la marea. Los casos de la piscina y el mar son ejemplos de lo que se conoce como sistemas cerrados y sistemas abiertos, respectivamente.

El pasado 21 de marzo, como parte del ciclo de conferencias *Tópicos en ecología de la complejidad* Pablo A. Marquet, profesor de la Pontificia Universidad Católica de Chile, investigador del Santa Fe Institute y profesor visitante del C3, propuso un modelo que puede pronosticar de forma más cercana a la realidad las interacciones entre los seres vivos y su ambiente. Estas interacciones han sido el objeto de estudio de incontables modelos ecológicos. Sin embargo, siempre se han estudiado desde una perspectiva de sistema cerrado.

En su ponencia, Complejidad Ecológica IV: Sistemas abiertos y estocasticidad en ecología, Marquet, especialista en ecología teórica mencionó: “al considerar sistemas abiertos debemos de añadir al estudio la forma en que el medio ambiente afecta a la dinámica [de interacción]”.

Un sistema cerrado es un espacio que se encuentra limitado por una “frontera” y dentro de ella hay elementos que interactúan entre sí y describen diferentes comportamientos, conocidos como dinámicas. Todo lo que sucede al exterior le es ajeno al sistema. Caso contrario, un sistema abierto no tiene “frontera”, por lo que más elementos se ven involucrados en la dinámica, resultando en interacciones más complejas. Por tal motivo es importante estudiar sistemas ecológicos como sistemas abiertos. “Al querer entender la naturaleza, probablemente los modelos matemáticos sean más acertados que los modelos propios de sistemas cerrados”, agregó Marquet.

### Matemáticas para entender el mundo

En la ecología, con la finalidad de estudiar el comportamiento actual y futuro de las poblaciones, se construyen [modelos matemáticos](#) para analizar la tasa de nacimiento y muerte, esto es, los cambios en el número de nacimientos y muertes a lo largo del tiempo. A estos modelos matemáticos de nacimiento y muerte Marquet los llama “ecuaciones maestras”.



Una de las primeras propuestas para estudiar los cambios que sufren las poblaciones, fenómeno también conocido como dinámica de poblaciones, fue la [teoría insular](#). Propone que la probabilidad de encontrar un cierto número de especies en una isla está en función del tamaño de la isla y la distancia a la que se encuentra de otras. Esta teoría matemáticamente obedece a un proceso conocido como [cadenas de Markov](#), el proceso estipula que la probabilidad de que un sistema pase de un estado A a un estado B, es decir que haya una transición, depende únicamente del estado actual del sistema.

La teoría insular funciona perfectamente para modelar el número de especies, sin embargo no da respuesta a como se establece la cantidad de individuos por especie dentro de una comunidad. Partiendo de las bases del modelo insular se propuso entonces una nueva teoría, la teoría neutral, llamada así porque asume que todos los individuos son iguales y por tanto las tasas de nacimiento y muerte son las mismas. También propone que la abundancia de una especie está determinada por el número de individuos de dicha especie en una comunidad.

Con ambas teorías sobre la mesa ahora surge un problema: matemáticamente son incompatibles. Es decir, la ecuación maestra para el número de especies de la teoría insular y la ecuación maestra para el número de individuos de la teoría neutral, no pueden ser verdad al mismo tiempo. El argumento es que las transiciones en el estado del número de especies dejan de obedecer a procesos de Markov ya que ahora se presentan muchas maneras de tener una misma especie presente, pues al considerar a un individuo de una cierta especie con un individuo de otra, se pueden tener millones de transiciones, es decir millones de pasos de un estado A a un estado B, para obtener un mismo resultado.

La solución propuesta por Market es estudiar las dinámicas como sistemas abiertos y trabajar con proporciones (relaciones entre diferentes magnitudes mensurables) de individuos.

### Naturaleza y estocasticidad

Al hacer la aproximación a un sistema abierto, los modelos que involucran las tasas de nacimiento y muerte en poblaciones se ven afectadas por interacciones provenientes del medio, "¿qué tipo de interacciones pueden ser? Pueden considerarse interacciones como la temperatura, la humedad, migración, distribución de recursos, cambio climático [...] interacciones que no sé si están ocurriendo y de qué manera", explicó Marquet.

Se desconoce la forma exacta de las interacciones y la manera en que éstas afectan a la dinámica, por tanto el modelo añade a sus tasas de nacimiento y muerte un factor al que se le llama "ruido". Mientras mayor sea el impacto del medio en la dinámica del sistema, mayor será el impacto del ruido dentro del modelo y esto se ve reflejado en las ecuaciones. Ahora las tasas de nacimiento y muerte tienen la forma "nacimiento+ruido" y "muerte+ruido". Se le llama ruido por que no se puede descifrar claramente lo que es, entonces se coloca como un parámetro dentro de la ecuación: todo aquello que se desconoce y que afecta la dinámica.

"Podemos decir que la estocasticidad es algo inherente a los sistemas en tanto que son abiertos, interactúan con su medio y siempre desconocemos en detalle todas las interacciones que los perturban", agregó Marquet durante la ponencia.

El modelo encuentra respaldo en el hecho de que expresa una distribución de probabilidad de tipo invariante, es decir aquella que no cambia con el tiempo. Dicha distribución invariante como resultado del modelo de dinámica de poblaciones, es el mismo tipo de distribución que se ha obtenido anteriormente en estudios sobre dinámica



de genes (la forma en que se mueven los genes en la población). Con lo anterior, un [estudio](#) publicado por Marquet y colaboradores, sugiere que la distribución de probabilidad para la dinámica de individuos en poblaciones se relaciona con la distribución de probabilidad para la dinámica de genes.

Con estos resultados, apunta Marquet: “se puede proponer que los niveles de organización están engarzados entre sí y comparten características de un modelo de distribución”.

En [otro estudio](#), Marquet y colaboradores muestran algunas aplicaciones del modelo en sistemas ecológicos. “El modelo se ajusta tanto o mejor que el propuesto por la teoría neutral. Nuevamente es el resultado de trabajar con proporciones”, añadió durante la ponencia.

### **Modelos hacia el futuro**

La aproximación de sistemas abiertos y el factor “ruido” en los modelos, cambia la visión de la realidad a veces en forma dramática. Pero esta visión sirve para generar modelos con pronósticos más cercanos a la realidad.

Con esto último, Marquet precisó durante la ponencia: “Al considerar la apertura a sistema abierto, se genera un comportamiento en la dinámica que puede ser radicalmente distinto, el sistema abierto nos lleva por una senda que es más variada y rica en el comportamiento del sistema”.

Finalmente, el académico añadió que este tipo de herramientas se volverán cada vez más populares ya que están demostrando ser útiles para modelar sistemas cada vez más complejos.

\*Becario/a del Programa  
UNAM-DGAPA-PAPIME PE308217