

## CAPÍTULO 8

### Modelos, aporte a la ecología de poblaciones

*Alejandra Rumi*

Si elegimos el modelo que será utilizado  
para la interpretación de los datos,  
recolectaremos el tipo y cantidad de datos requeridos  
como entrada en el modelo y tendremos entonces  
un programa de investigación eficiente

—Kennet Edmund Ferguson Watt (1929)

#### Introducción

Un sistema biológico es una red compleja de entidades, que abarca varias escalas y se determina en función de las estructuras según el sistema. Por ejemplo, un sistema biológico a escala macro son las poblaciones de organismos. Los modelos científicos son recursos explicativos fundamentales en la ciencia, y particularmente en aquella que cuentan con leyes científicas, como es el caso de la biología. Hay muchos tipos de modelos, por tanto, pueden proporcionar diversas explicaciones de los fenómenos en cuestión. Si se puede señalar un rasgo común a todos estos modos diferentes de explicar, es el hecho de que los modelos nos ofrecen una mejor comprensión de los fenómenos, que muchas veces es subjetiva.

Gonzáles Chacon (2014), indica que la *“teoría general de los sistemas”* proviene del biólogo alemán Ludwig Von Bertalanffy (entre 1950 y 1968) y que su formulación deriva de los principios válidos para los sistemas en general, o sea que es una disciplina que desarrolla, prueba y demuestra las leyes aplicables a diferentes campos.

Bertalanffy, 1976, p.33: *“La física se ocupa de sistemas de diferentes niveles de generalidad. Se dilata desde un sistema bastante especial – como los que aplica el ingeniero a la construcción de un puente o una máquina – hasta leyes especiales de disciplinas físicas como la mecánica o la óptica, y hasta leyes de gran generalidad, como los principios de la termodinámica, aplicables a sistemas de naturaleza intrínsecamente diferentes – mecánicos, calóricos, químicos o lo que sean”.*

Es importante señalar que los avances en el conocimiento de un sistema condicionan y contribuye a los avances conseguidos en otro campo disciplinar. Descubrimientos independientes pueden permitir encontrar soluciones no previstas de mayor calibre que la suma de partes. Según Bertalanffy (1976), Un sistema puede definirse matemáticamente mediante un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas, de tal forma que un cambio de valor dentro del sistema este en función de los demás valores y a la inversa, un cambio del valor origina cambios en todos los valores restantes y en la totalidad del sistema. Así, Jay Forrester en la década de los '50 desarrolla un lenguaje sistémico que denominó “Dinámica de sistemas”, basado en las ecuaciones de Bertalanffy ya mencionadas. Entre otras producciones, Forrester publica “*World Dynamics*” (1971) que se dirige a problemas como el crecimiento demográfico y la contaminación a escala global. La dinámica de sistemas es una metodología que genera herramientas muy poderosas de modelado y simulación informática para problemas complejos. El mismo autor fue también uno de los pioneros en el Desarrollo de computadoras digitales.

Desde los años '60, se desarrollaron y propusieron numerosas metodologías numéricas (cuali-cuantitativas) que revolucionaron y permitieron generar nuevos enfoques, hipótesis y teorías en el campo del conocimiento y acercamiento a la generación de respuestas más realista de los procesos bio-ecológicos. Estos acercamientos numéricos permitieron también -no sin largas y profundas discusiones epistemológicas- abordar sistemas jerárquicos de forma más objetiva, o en el campo de las similitudes relativas o absolutas que se desprenden de la comparación de inventarios o de estimar homogeneidad en cada nivel jerárquico, entre otras tantas cuestiones.

Así, La intención o idea central de este capítulo, basado en el interesante capítulo sobre modelos propuesto por Rodríguez en su libro *Ecología* (1999), es organizar conceptual y operativamente diferentes ofertas de modelos que se utilizan en ecología de poblaciones. Desde los más simples a los más complejos, pueden transformarse en herramientas de trabajo potentes, sólidas y eficaces para interpretar procesos y ponderar roles e interacciones de las poblaciones sujetas de estudio. La idea es que esta propuesta ayude a elegir el “*paquete*” de modelos (herramientas) que ayuden a resolver las cuestiones que proponemos sobre la base de los datos obtenidos. Teniendo en cuenta que el planteo teórico y operativo, del diseño y ejecución de un proyecto de investigación científica, así como el análisis de diversos datos y ordenamientos que permitan entender dinámicas de cambio de las poblaciones, constituyen ejes centrales en esta asignatura (Ecología de Poblaciones).

## Aspectos teóricos y epistemológicos

Uno de las tantas definiciones de *modelo* es que corresponde a una presentación formal y parte o recorte de la realidad que se pretende describir, analizar y comprender. Dado que intentamos interpretar qué sucede en el recorte de la realidad efectuado, y que además debe ser posible de reproducir -si enmarcamos la generación de esta herramienta de análisis en el para-

digma hipotético-deductivo-, se deben tomar decisiones claras que dejen expuestas algunas condiciones de ese recorte, como por ejemplo son: los límites del sistema; qué se incluye y qué se elimina (selección de variables); los criterios de agregación; variables de estado; interacciones o flujos, entre otros. Desde este “recorte” debemos comenzar a tomar otras decisiones vinculadas a cómo vamos a analizarlo. Existe una gran variedad de tipos de modelos de análisis: conceptuales -identifican componentes y algunas interacciones entre ellos-, gráficos, abiertos o cerrados, formales o matemáticos, hasta los más complejos simuladores. A menudo, es necesario combinar diferentes tipos de modelos para tipificar o alcanzar los resultados esperados.

Es importante señalar que la tipificación de modelos cerrados o abiertos son simples y a menudo pasaron a conformar parte de los supuestos a tener en cuenta al momento de analizar los datos biológicos. Por ejemplo, en este curso y al abordar los estudios de cambio numérico poblacional exponencial (modelo también determinista) señalamos que los cambios numéricos de la población solo estaban afectados por el número inicial de individuos y su tasa instantánea de crecimiento (diferencia numérica de individuos entre la natalidad y la mortalidad). No considerando las entradas y/o salidas de individuos de la población (inmigración y emigración) o considerándolas equilibradas (o sea que la diferencia entre ambas es igual a cero). La condición de “cerrado” o “abierto”, también puede estar fuertemente condicionado por la escala.

Ahora bien, y siguiendo a Inche et al. (2003), desde las ciencias sociales considera que: *“la búsqueda del conocimiento de la realidad, se enmarca en un enfoque positivista (empírico) empleando métodos y estrategias cuantitativas que pretenden alcanzar desde respuestas o explicaciones generales hasta el enunciado de leyes”*. Asimismo, el empleo de los métodos cualitativos permite comprender el desarrollo de procesos.

Villamar (2015): *“el positivismo es una estructura o sistema de carácter filosófico que considera que no existe otro conocimiento que el que proviene de hechos reales que han sido verificados por la experiencia, por lo tanto, niega la posibilidad de que la teoría pueda ser una fuente del conocimiento y además niega la posibilidad que la filosofía pueda contribuir al conocimiento científico. Así, medir el problema es la única solución y no se acepta la veracidad de lo que no ha sido cuantificado. El positivismo es una epistemología híbrida que combina el racionalismo con el empirismo y la lógica deductiva con la lógica inductiva, también denominado hipotético-deductivo, cuantitativo, empírico-analista y racionalista”*.

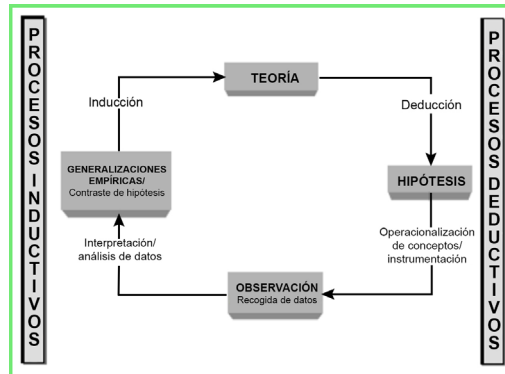
## Paradigma Cuantitativo. Un enfoque Empírico-Analítico

*El paradigma cuantitativo posee una concepción global positivista, hipotético-deductiva, particularista, objetiva, orientada a los resultados y propia de las ciencias naturales. (2:28) Filstead (1986).*

Acompañamos lo expuesto anteriormente, con una serie de cuadros que tratan de sintetizar en forma taxativa cuáles son las bases epistemológicas, los componentes y etapas que deben considerar al generar una investigación científica (Figuras 1, 2 y 3 tomadas de Inche et al., 2003).

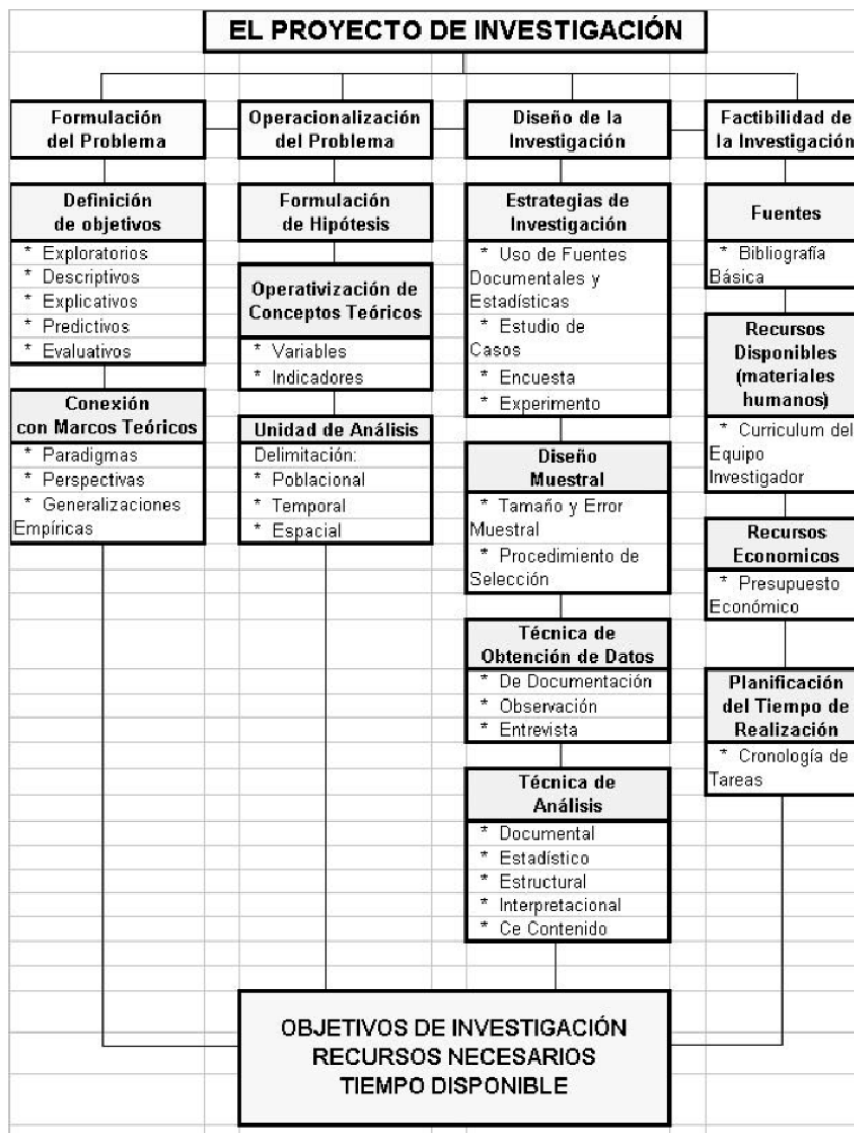
**Figura 8.1**

*Componentes involucrados en la generación de un paradigma empírico- analítico*



**Figura 8.2**

*Propuesta de una Investigación científica y componentes que deben tenerse en cuenta*



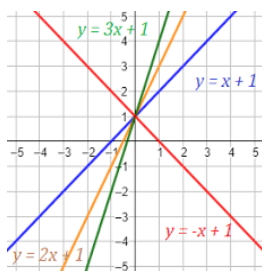
## Modelos de Procesos

### Empíricos

Fundamentalmente descriptivos, constituyen una herramienta de extracción de información de las variables, muchas veces predictivas. Por ejemplo, funciones lineales.

**Figura 8.3**

*Modelo empírico de funciones lineales*

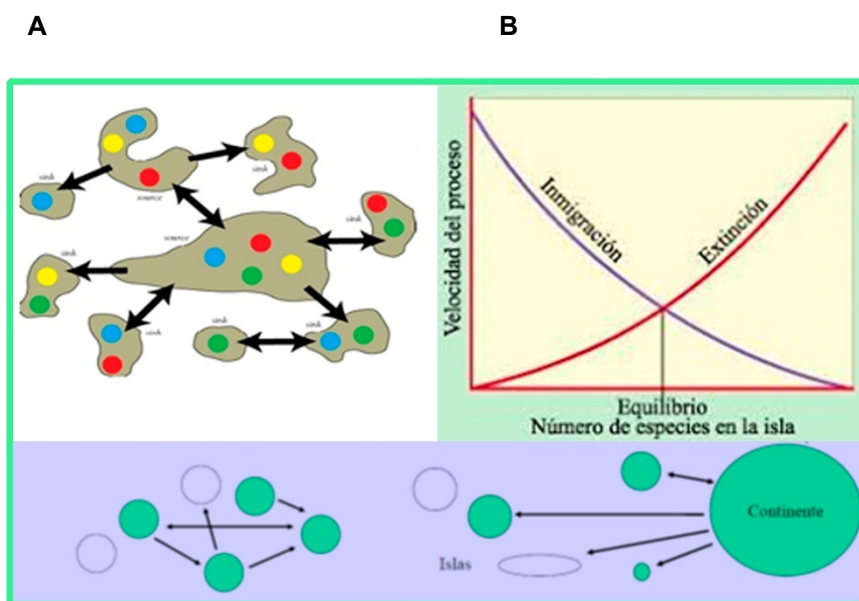


### Racionales o Teóricos

Modelos que derivan de planteos estrictamente teóricos. El conjunto de asunciones y en definitiva el modelo constituye la hipótesis del investigador. Por ejemplo, el de metapoblaciones de Levins (1969) y el de Mc Arthur & Wilson (1967), sobre la distribución de las especies en las islas.

**Figura 8.4**

**A** Modelo de metapoblaciones. **B.** de biogeografía de islas

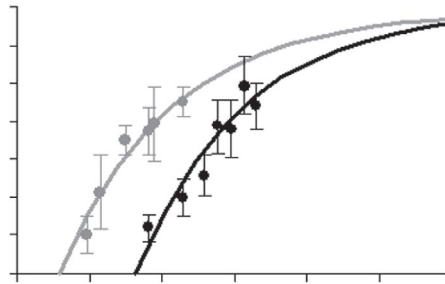


## Intermedios o Semiempíricos

Son los más utilizados. El investigador *levanta información, examina variables y selecciona modelo*, cuya estructura y parámetros tengan sentido y ofrezcan información. Por ejemplo, el modelo de crecimiento individual de L. von Bertalanffy.

**Figura 8.5.**

*Curvas de crecimiento de Drepanotrema lucidum (caracoles) obtenidas con el modelo de von Bertalanffy (Rumi et al. 2007)*



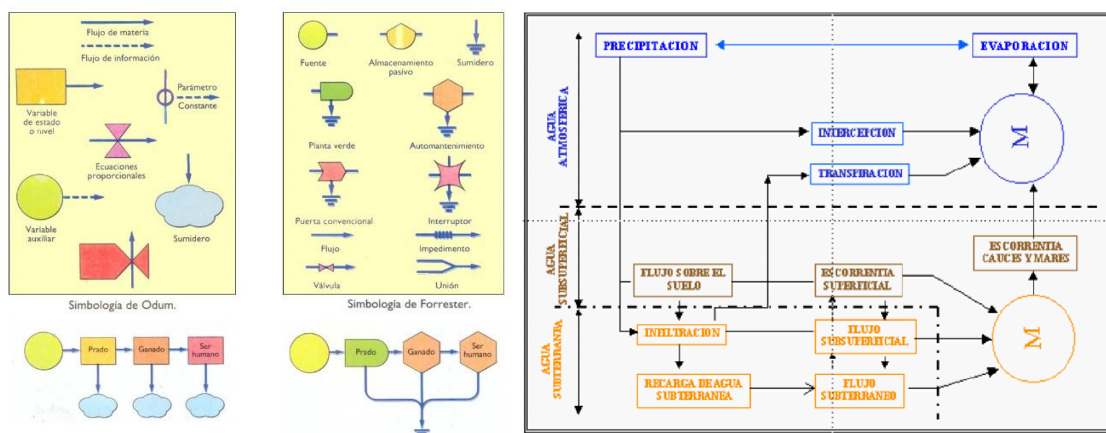
## Modelos de Compartimentos

En Estado Estacionario

Asume que las variables de estado (compartimentos) son constantes y los flujos presentan un valor numérico. La suma de los flujos de entrada tiene que estar equilibrados con los flujos de salida. Por este tipo de modelos utiliza el lenguaje del flujo energético, que tanto Odum como Forrester llevaron a modelización de ciclos ecológicos. Por ejemplo, el del agua, donde es posible hacer un balance a determinada escala espacio- temporal.

**Figura 8.6**

*Modelos de compartimentos*



## Dinámicos y simulaciones de sistemas

Tiene como objetivo el estudio del cambio temporal de las variables que describen un sistema (ecosistema). Modelos dinámicos que alcanzan altísima complejidad.

Presentan dos enfoques:

Reduccionista: acoplar procesos y componentes de un modo mecanicista generalmente se expresan por ecuaciones deterministas que llevan a expresar “el todo como suma de partes”.

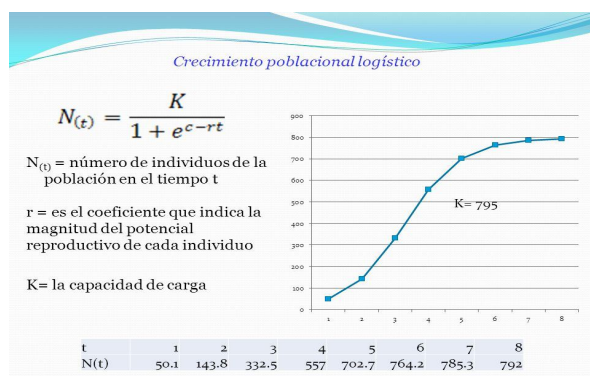
Holístico: la dinámica del sistema se identifica como paradigma en su conjunto, que es el objeto de estudio.

## Modelos deterministas

Es aquel que para un valor de variable independiente predice un valor para la variable dependiente. Pero puede introducir la estocasticidad (cambio aleatorio) en algún parámetro. Por ejemplo, en  $r$  (tasa intrínseca de crecimiento instantánea) para el modelo logístico.

**Figura 8.7.**

*Modelo determinista como el ya visto de crecimiento logístico*



## Modelos probabilísticos

El cálculo matricial o su formalización en modelos matriciales, es una herramienta muy utilizada en simulaciones dinámicas. Donde los elementos de la matriz son probabilidades decididas de los flujos de compartimentos. También calificados como modelos probabilísticos. Por iteración de vectores llega un momento que el vector de estado no cambia y viene determinado por la matriz inicial.

## Modelos estadísticos en lenguaje R

Según Garibaldi et al. (2019), el principio fundamental de **R** es que todo es un *objeto*. Los vectores y matrices son *objetos* que pueden ser procesados por funciones, que en sí mismas y sus características son *objetos*. Esta condición del lenguaje simplifica la programación.

*“R es un lenguaje y un ambiente para análisis de datos y gráficos. Desarrollado inicialmente en los laboratorios Bell en 1970. El proyecto R fue iniciado por R. Gentleman y R. Lhaka en la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda, en los 90. Los archivos de comandos de R, conocidos como scripts y cuya extensión es «R», se pueden leer con cualquier editor de texto.”* Garibaldi, 2019

Una de las ventajas de este programa es que se puede bajar el manual de aplicaciones y el programa de sus productos libremente. Este paquete alberga *objetos* que podemos crear y más de mil en su función «*objetos*». Una de las aplicaciones más conocidas de este programa es que ha sido utilizado por la Organización de las Naciones Unidas, para la Agricultura y Alimentación. Este lenguaje **R**, permite trabajar con *objetos* desde funciones lineales a modelos multivariados mucho más complejos de análisis e incluye los gráficos correspondientes. Por ejemplo: existen tablas de tipos de *objetos*, una para tipos de datos, otra para modelos lineales, otra lista para tipos de matrices. En definitiva, es posible realizar desde pruebas, intervalos y supuestos del modelo de regresión lineal simple; análisis de la varianza (anova); inferencia multimodelo por criterio de información Akaike; anova y comparaciones múltiples. Diseños de experimentos (muestreo), en bloques completos aleatorizados o multifactorial. Regresión múltiple o con variables categóricas; multicolinealidad, bondad de ajuste y potencia; Modelos polinómicos y logarítmicos o lineales generales con heterogeneidad de varianza (en función de variable independiente categórica o independiente cuantitativa) hasta modelos de análisis multivariados.

Respecto a la aplicación y utilización de los métodos de análisis multivariados, empleando las estrategias del lenguaje **R** y específicamente referidos a su aplicación en estudios biológicos (ecológicos, taxonómicos, filogenéticos, genéticos que implican una variabilidad disciplinar muy extensa de aplicaciones), se recomienda la lectura del libro realizado por Palacio et al. (2020).

## Un ejemplo de análisis multivariados de Ordenación

CANOCO (Análisis Canónico de Correspondencia).

Según Escudero et al. (1994), en este tipo de modelos se agrupan varias técnicas multivariadas que como denominador común presentan la característica de disminuir la dimensión de una



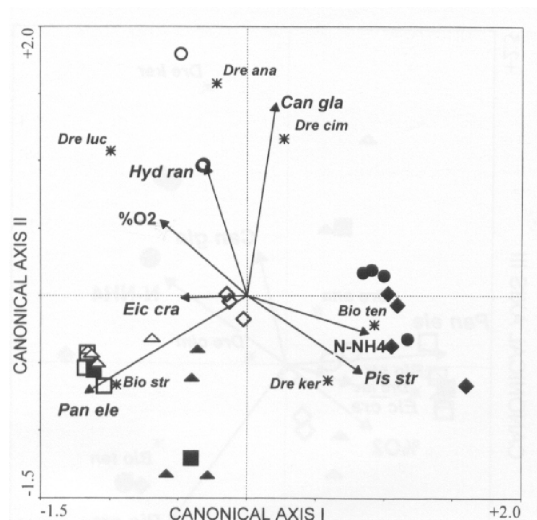
matriz de datos, por medio de la extracción de ejes y sin que intervengan las variables ambientales. En una segunda fase se realiza la interpretación de los ejes en términos ecológicos, denominado *análisis de gradiente indirecto* (WHITTAKER, 1967).

En el ejemplo aquí presentado (Rumi et al. 2002), los datos sobre la abundancia de Gasterópodos y de las variables limnológicas fueron transformadas a Log10 ( $\log(x+1)$ ) para linealizar las relaciones entre las variables. Las técnicas multivariadas permiten explorar las relaciones entre variables ambientales (variables independientes) y las taxocenosis de caracoles (variables dependientes), tal el caso del análisis canónico de corespondencia (CCA) (ter Braak, 1986, ter Braak & Prentice, 1988). El programa CANOCO4 (ter Braak & Smilauer, 1988) fue empleado para realizar el análisis, incluyendo el ajuste de los parámetros del modelo, test de bondad de ajuste y ploteo de resultados. La técnica del ordenamiento canónico es una combinación de ordenamiento en un espacio reducido y una regresión múltiple. Este método emplea la representación de las muestras y especies restringidas a un espacio reducido de ejes ortogonales, los cuales son en cambio combinaciones lineales de la abundancia relativa de las especies y gradientes ambientales. Este método (CANOCO) asume que ambos tipos de variables (especies y de ambiente) son unimodales (Gaussianas) o que las relaciones entre las especies y las variables ambientales son lineales, tanto para largos o cortos gradientes ambientales, respectivamente. Mostrando la mayor o más importante tendencia de la variabilidad de los datos multidimensionales dentro de un espacio de ejes canónicos linealmente independientes reducido. Este modelo constituye una herramienta muy útil para comprender la distribución de la o las especies y/o la composición de una comunidad a lo largo de diferentes gradientes ambientales. Entonces, dado que las propiedades unimodales las brinda el CANOCO, no requiere relaciones lineales entre las variables ambientales y las especies en cuestión, como en la mayoría de otras técnicas de análisis canónico. Las propiedades unimodales del modelo yacen en la estimación de óptimo y de la tolerancia de la especie, ambos indicadores de los atributos del *nicho*. El *óptimo* puede ser aproximado por el output del CANOCO 4 denominado “specie-by-environmental table” (tabla de espacio por entorno), que son promedios ponderados de especies con respecto a variables ambientales estandarizadas. Los resultados se representan en un espacio reducido de ejes ortogonales. Que muestran la distribución de las especies, muestras y/o gradientes ambientales en el mismo espacio bidimensional (biplots y triplots).

Por ejemplo, en Rumi et al. (2002), algunas de las especies de caracoles de agua dulce del género *Biomphalaria* que viven en el Chaco, como *B. straminea* y *B. tenagophila* son naturales transmisoras de la esquistosomiasis en Brasil, mientras que las del género *Drepanotrema*, también Planorbidae, no son hospedadores intermediarios de la parasitosis mencionada. El propósito de este trabajo ha sido analizar el grado e importancia de un set de variables ambientales y explicar los patrones de distribución y abundancia relativa de los ensambles de los gasterópodos de agua dulce (Planorbidae). Se emplearon 31 muestras de caracoles y 26 variables ambientales provenientes de cuatro ambientes: Río Negro y lagunas Paikín, Sociedad Rural y Golf Club, Resistencia, Chaco.

**Figura 8.8**

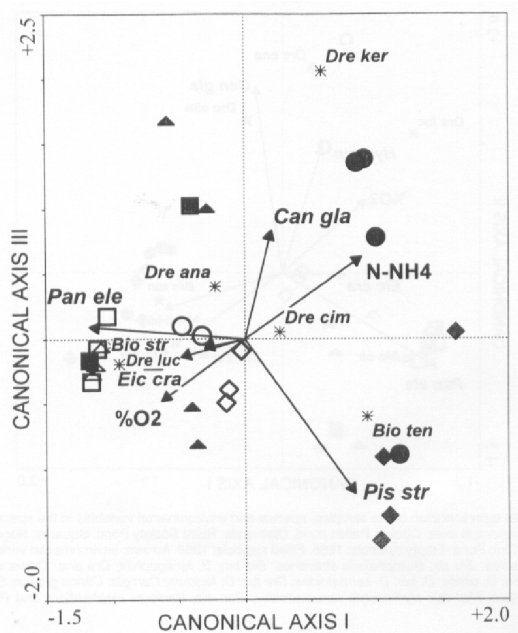
Representación espacial de muestras, especies de planorbídeos y variables ambientales definida por los dos primeros ejes canónicos



*Nota.* Representación espacial de muestras, especies y variables ambientales en un espacio definido por los dos primeros ejes canónicos. Círculos: laguna Paikín. Variables ambientales Rombos: laguna de la Sociedad Rural. Cuadrados: Río Negro. Estrellas: laguna del Golf Club. Símbolos vacíos: 1988. Símbolos llenos: 1989. Flechas: Variables ambientales.

**Figura 8.9**

Representación espacial de las muestras, especies y variables ambientales en un espacio definido por los ejes canónicos I y III



*Nota.* Círculos: Meandros de Paikín. Rombos: Laguna de la Sociedad Rural. Cuadros: Río Negro. Triángulos: Laguna del Golf Club. Símbolos vacíos: 1988. Símbolos llenos: 1989. Flechas: Variables Ambientales. Estrellas: Especies de planorbídeos. *Biomphalaria straminea*; *B. tenagophila*; *Drepanotrema anatinum*; *D. cimex*; *D. kermatoides*; *D. lucidum* y vegetación: *Canna glauca*, *Eichhornia crassipes*, *Panicum elephantipes* y *Pistia stratiotes*.

## Conclusiones

Como se menciona en capítulos anteriores (capítulo 4), el advenimiento de la informática y su desarrollo exponencial en capacidad de almacenaje y procesamiento de información, permite buscar resultados de procesos e identificación de fuerzas de cambio en las poblaciones, abordadas a partir de la aplicación de varias herramientas de análisis al mismo tiempo. Podríamos decir o remarcar que lo esencial para la utilización de tipos de modelajes cada vez más complejos y potentes, es fundamental ser muy cuidadoso en la recolección de datos o muestras y si es posible, congeniar esa búsqueda de los datos de “campo” con la mayor precisión posible. Teniendo en cuenta los alcances y limitaciones y asunciones de los modelos a testear, a efectos de que la investigación sea eficazmente científica. Es decir, que más allá de que muchas veces se encarga el “procesador” de los cálculos algebraicos, geométricos, transformaciones de unidades, etc. la elección de datos y su interpretación final es función del investigador.

## Referencias

- Alstad, D. (2001). *Basic Populus Models of Ecology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Bertalanffy, L. K. von. (1976). *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, Desarrollo y Aplicaciones*. (2ª Ed. español). Universidad de Guadalajara, México D.F.: 312pp.
- Blanco, J. A. (2013). Modelos ecológicos: descripción, explicación y predicción. *Asociación Española de Ecología Terrestre Ecosistemas*, 22 (3): 1-5. Open Access, Doi:10.7818/ECOS.2013.22-3.01
- Escudero, A. Gavilán R. & Rubio, A. (1994). Una breve revisión multivariantes aplicables en Fitosociología. *Botánica Complutensis*, 19: 9-38.
- Estrela, T, (1992). *Metodología y Recomendaciones para la Evaluación de Recursos Hídricos*. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete.
- Filstead, W. J. (1986). *Métodos cualitativos*. En: Cook, T. D. y Reichardt CH. S, Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa. Ed. Morata, España.
- Forrester, J. W. (1971 -1973). *World Dynamics*. (2ªEd.) Wright-Allen Press, Inc.:82pp.
- Garibaldi, L. A., Oddi, F. J., Aristimuño, F. J. y Behnisch A. N. (2019). *Modelos estadísticos en lenguaje R*. Edit. de la URN. La Imprenta Ya S.A., Buenos Aires, Argentina: 1-216.
- Inche M., J., Andía C., Y., Huamanchumo V., H., López O., M., Vizcarra M., J. y Flores C., G. (2003). Paradigma cuantitativo: Un enfoque empírico y analítico. *Industrial data. Producción y Gestión*, 6 (1): 23-37.
- Levins R. (1969). Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15(3):237-240 Doi: 10.1093/besa/15.3.237

- Mc Arthur, R.H. & E. O. Wilson. (1967). *The theory of Island Biogeography*. Ed. Princeton University Press: 1-203.
- Palacio, F.X., Apodaca, H.J. y Crisci, J.V. (2020). *Análisis Multivariado para datos Biológicos. Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R*. Eds. Vázquez Mazzini. CABA. Fundación de Historia Natural Félix de Azara: 268pp.
- Pérez Villamar, J. (2015). *El Positivismo y la Investigación Científica*. Revista Empresarial, ICE-FEE-UCSG, 5(3): 29-34.
- Pidwirny, M. (2006). *The Hydrologic Cycle. Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. Date Viewed. de Formación y Documentación, Madrid, España. 52 p.  
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>
- Rodríguez, J. (1999). *Ecología*. Ediciones Pirámide, Madrid, España: 1-411.
- Rumi, A., Gutiérrez Gregoric, D. E. & Roche, M. A. (2007). Growth rate fitting using the von Bertalanffy model: analysis of natural populations of *Drepanotrema spp.* Snails (Gastropoda: Planorbidae). *Revista Biología Tropical (International Journal of Tropical Biology)*, 55(2): 559 – 567.
- Rumi, A. Bechara, J. A., Hamann, M.I. & Ostrowski de Núñez, M. (2002). Ecology of potential hosts of schistosomiasis in urban environments of Chaco, Argentina. *MALACOLOGIA*, 44(2): 273-288.
- WHITTAKER, R. H. (1967=). Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* (London), 49: 207-264.
- González Chacón, M. E. (2014). *Diseño y evaluación de intervenciones en organizaciones empresariales desde la dinámica de sistemas – revisión teórica*. Trabajo de grado. Facultad de Administración. Universidad del Rosario, Colombia: 87pp.
- Forrester J.W. (2019) Biografía de Jay Wright Forrester. Recuperado de <http://dinamicadesistemasudo.blogspot.com/2012/07/biografia-de-jay-wright-forrester.html>