

## Los programas de investigación en ecología de paisajes: todo lo que un planificador de aeropuertos tiene que tener en cuenta sobre humedales

*Leonardo Datri<sup>1</sup>, Luciano Boyero<sup>1</sup>, Hernán López<sup>1</sup>, Micaela López<sup>1</sup>, Mario Robertazzi<sup>1</sup>, Juan Lecuona<sup>1</sup>, Eliana Miranda<sup>1</sup>, Analía Gatica<sup>2</sup>, Juan Valle Robles<sup>1</sup>, Ana María Faggi<sup>3</sup>, Guillermo Blasetti<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Taller de Investigación y Proyectos de Paisajes (TIPP) Universidad de Flores. Mengele 8 (8324) Cipolletti, Argentina. Contacto: leodatri@gmail.com

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud (FACIAS) Universidad Nacional del Comahue. Neuquén, Argentina.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería. Universidad de Flores. CABA, Argentina.

<sup>4</sup>Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC). Cipolletti, Argentina.

Mail de contacto: [leodatri@gmail.com](mailto:leodatri@gmail.com)

### RESUMEN

La urbanización de los valles de la Confluencia configuran un sistema complejo en el que estructuras del paisaje imbricadas se interconectan en distintas dimensiones. Por esta razón las funciones y los servicios ecosistémicos de sus variables se conectan entre dimensiones y escalas multiplicando sus funciones, pero también sus formas de ser abordadas y medidas. Se estudia la relación existente entre la investigación de humedales ribereños, el riesgo aviar en el aeropuerto de Neuquén y la dinámica de desarrollo de las ciudades de la Región Metropolitana de la Confluencia, a través de un programa de investigación que conecta variables comunes a cada dimensión. Los procesos que en cada dimensión se estudian poseen una dinámica claramente delimitada e independiente, pero el programa reconceptualiza las funciones y ajusta las explicaciones de acuerdo a cómo y en qué contexto se dan las funciones y los servicios ecosistémicos. De esta manera se busca construir un concepto operativo de paisaje que permita explicar un sistema complejo como el de la región metropolitana de la Confluencia en Patagonia.

**Palabras claves:** programa de investigación, sistema complejo, riesgo ambiental

### ABSTRACT

The urbanization of the valleys of the Confluence form a complex system in which imbricated landscape structures are interconnected in different dimensions. For this reason, the functions and ecosystem services of its variables are connected between dimensions and scales multiplying their functions, but also the ways to be approached and measured. The relationship between the investigation of riparian wetlands, the avian risk at the Neuquén Airport and the dynamics of development of the cities of the Metropolitan Region of the Confluence is studied, through a scientific research program that connects common variables to each dimension. The processes studied in each dimension have a clearly defined and independent dynamic, but the program reconceptualizes the functions and adjusts the explanations according to how and in what context the ecosystem functions and services are given. In this way, we build an operational landscape concept that explains a complex system like that of the metropolitan region of the Confluence in Patagonia.

**Keywords:** scientific research program, complex system, environmental risk

## Introducción

A la luz de la historia y la filosofía de la ciencia, las teorías son abordadas como estructuras aunque sus historias suelen ser ricas en relaciones y cambios. Sus enfoques se centran en relaciones entre teorías y observaciones aisladas. Particularmente los programas de investigación científica (PIC) de Lakatos (Klimovsky, 1995) configuran una estructura, pero en este caso, de relaciones, por las cuales una secuencia de teorías científicas con continuidad espacio-temporal se relacionan y establecen versiones modificadas de una versión inicial.

Los enunciados observacionales necesariamente se formulan en el marco y el lenguaje de una teoría. En consecuencia, la razón del significado relativamente preciso de los enunciados observacionales se debe al hecho de que los marcos teóricos configuran justamente su estructura. Pero el desarrollo conceptual de una teoría y la red de relaciones que esta entraña convierten a la estructura teórica y metodológica en compleja (Chalmers, 2000). Para ciencias como la ecología, la geomorfología o la teoría del paisaje, donde la historia y la flecha del tiempo configuran relaciones dialécticas que van reconstruyendo los conceptos, este problema se manifiesta en su dimensión epistemológica, pero también metodológica. Existe consenso de que la misión de una teoría es hacer explicaciones y predicciones (Marone, 1998). Por eso al auxilio de esta dificultad nos asiste la epistemología genética y el enfoque de sistemas ambientales complejos de García (2006).

Las escalas espaciales y temporales en ecología han experimentado un gran avance gracias a la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG). Esto plantea más un enfoque de patrones estadísticos y procesos emergentes en contexto geográfico que experimental (Mateucci, 2006). Una teoría del paisaje configura un nuevo paradigma basado en los sistemas complejos para los cuales el objeto de estudio no está dado (García 2006). Sus estructuras o

subsistemas son interdefinibles y su abordaje implica una construcción de marcos epistémicos y metodológicos provenientes de varias disciplinas.

A partir del estudio de caso del problema del riesgo aviar para la aeronavegación en la Región Metropolitana de la Confluencia (RMC) se estudian las estructuras y las funciones de un mosaico de paisaje que rápidamente cambia de humedales y chacras a uso urbano. A partir de este problema – caso, se plantea evaluar y desarrollar un abordaje metodológico del paisaje del aeropuerto como un sistema ambiental complejo con múltiples funciones que configuran estructuras imbricadas y en conflicto.

Nuestra hipótesis de trabajo plantea que el problema requiere de un concepto de paisaje operativo que nos permita trascender las dificultades y limitaciones epistemológicas y metodológicas de una teoría en sentido estructuralista. En este sentido, solo un PIC basado en la teoría de sistemas complejos (aunque en muchos casos rivales en perspectiva de filosofía de la ciencia) pueden construir conceptos operativos simultáneamente a la formulación de hipótesis de las variables que configuran el paisaje de la RMC. Por eso se analizan los datos a la luz de la reflexión epistemológica y las posibilidades de articular un PIC, como modelo dialéctico de investigación y construcción de teoría.

## Materiales y Métodos

### *Área de estudio*

El área de estudio comprende las ciudades de Neuquén y Plottier sobre el valle del río Limay, incluidas sus áreas periurbanas y ribereñas (Fig. 1).

### *Procesamiento de datos*

Los datos empleados para la implementación de un programa de investigación (PIC) provienen de los proyectos de investigación científica:

- Estructura metapoblacional de *Salix humboldtiana* Willd. (Salicaceae) en Patagonia Norte.

- Climas urbanos: influencia de la arquitectura y el factor verde en las ciudades de la Patagonia árida.
- Manejo de paisajes multifuncionales y riesgo aviar en el área periurbana de Neuquén y Plottier.

El PIC se compone principalmente de una base de datos espaciales abierta que se vuelcan a un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los datos seleccionados de cada proyecto se obtienen de una serie de variables representativas de los procesos a distintas escalas pero que configuran la estructura del paisaje de la RMC. El entrecruzamiento de datos que permite definir el problema y las hipótesis a escala del paisaje y el conflicto ambiental surge de la demanda de cada proyecto para poder fundamentar sus propias hipótesis, pero también de la propia necesidad de conceptualizar nuestro modelo de paisaje regional.

Se analizaron imágenes SPOT 5 del año 2013 (RGB: 342), de una serie temporal de las estaciones de invierno-verano, correspondientes a fluctuaciones de inundación del río Limay e índices de vegetación SAVI. Por medio de clasificación no supervisada (SOPI, algoritmo k-means), se identificaron zonas de uso del suelo y de inundación por el índice NDWI. La zona de trabajo fue establecida por el radio de vuelo que afecta operaciones de aeronavegación diario de *Milvago chimango* desde la colonia, situada en un humedal próximo al aeropuerto (Laguna de San Lorenzo), según un muestreo ad hoc de corredores y especies en torno a la pista de aterrizaje. Por medio de análisis de componentes principales (ACP) se relacionó la observación de un grupo de aves frecuentes en el aeropuerto, con los parches del entorno de cada sitio de muestreo.

Complementariamente se emplearon mapas de isla térmica urbana (ITU) obtenidos de series de imágenes Landsat 8 OLI/TIRS de los veranos de 2017 y 2018, e invierno 2017. Se hizo un muestreo de

campo con el fin de validar los mapas (n=37).

## Resultados y discusión

### *Perspectiva del paisaje*

El caso de estudio que aquí se propone implica una matriz de paisaje heterogénea y en transformación debido a procesos de urbanización de áreas rurales y humedales del valle del río Limay. Como resultado de esto se identificaron usos del suelo y parches relacionados a la presencia y actividad de aves que representan riesgo aviar. Las clases identificadas en relación al riesgo son humedales, pastizales (palustres), monte xerofilo, pastizales (ruderales y arvenses en chacras abandonadas), monte frutal, cercos verdes y campos de deportes. A partir del censo de aves realizado en el perímetro del aeropuerto se contabilizaron 45 especies que frecuentan el sitio. Una de las cuatro especies más frecuentes es *Milvago chimango*, cuyas rutas de vuelo al amanecer y al atardecer establecieron el área de estudio (Fig.1).

Esto permitió localizar una colonia que se sitúa en un humedal perteneciente a un paleocauce que fue cantera de ripio, en el extremo noreste de la pista de aterrizaje y establecer rutas de vuelo circadianos. Las rutas más frecuentes son utilizadas por grupos que vuelan desde la laguna hacia zonas de humedales ribereños y artificiales y pastizales, entre los que se encuentra el aeropuerto (Fig. 2).

Aunque el aeropuerto configura un pastizal, en su entorno existe diversidad de usos del suelo y ambientes favorables a la nidificación y percheo de aves rapaces (Fig 3). A esto se suma la elevada amplitud térmica de la zona en verano (19,8° C a 34,4° C) e invierno (1,89° C a 11,4° C), que varía entre distintos ambientes entre humedales más frescos y zonas urbanas y de monte. Se identificaron las temperaturas más cálidas en campos abiertos (Fig. 4) y las más bajas de invierno próximo al río (Fig. 5). En todos los casos las zonas urbanas y la vegetación arbórea se asocian a temperaturas

intermedias, como suele ser la ITU de zonas áridas.

Ambos componentes del ACP explicaron el 85,3% de la varianza y mostraron una asociación de aves generalistas como *Milvago chimango* y *Vanellus chilensis* a parches en contacto, de cercos verdes, humedales y pastizales (Fig. 6).

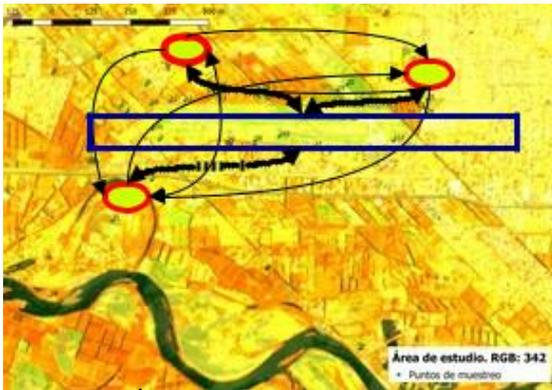


Fig. 1. Área de estudio diseñada sobre grafo de las rutas de vuelo más empleadas por *Milvago chimango* y puntos de muestreo (SPOT 5. RGB:342).

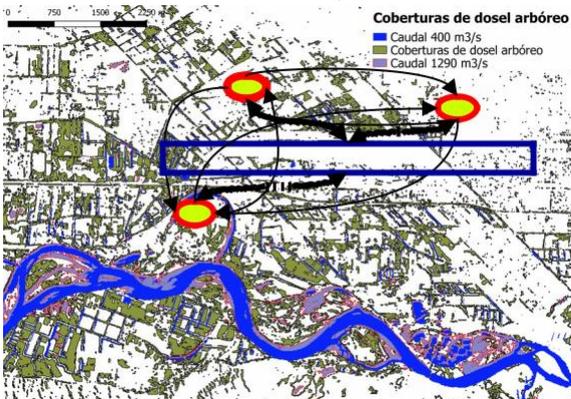


Fig. 2. Relación del movimiento de *Milvago chimango* con la distribución de humedales en estiaje e inundación y cobertura de dosel arbóreo.

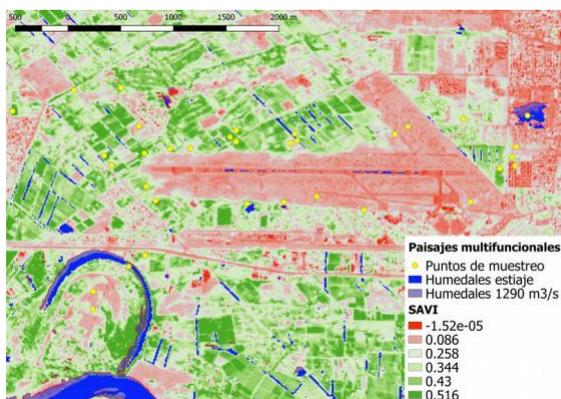


Fig. 3. Paisajes multifuncionales sobre la base de índices NDWI y SAVI.

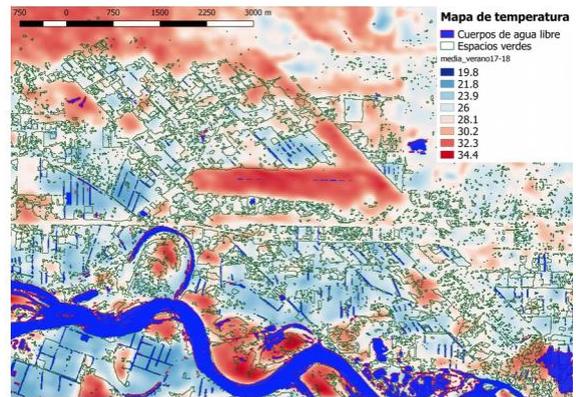


Fig. 4. Mapa de las temperaturas diurnas de verano más altas con campos abiertos y meseta.

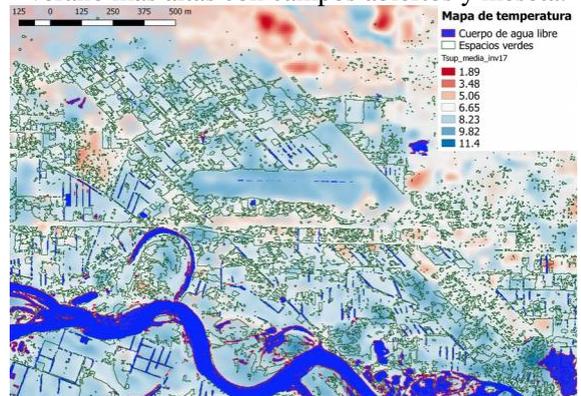


Fig. 5. Relación de las temperaturas diurnas más bajas de invierno con los humedales y valle.

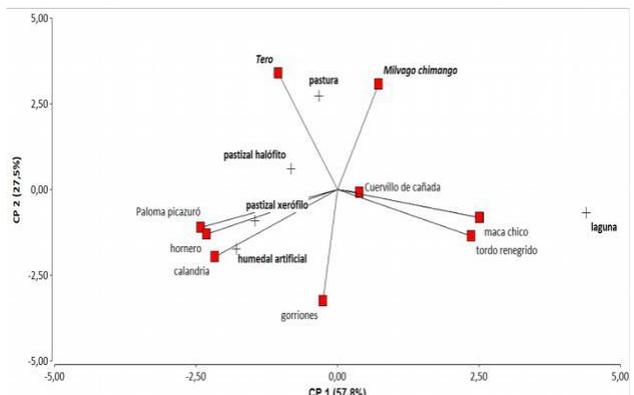


Fig. 6. Relación de especies con paisajes.

Riqueza total: 53 especies (45 en aeropuerto)

*Perspectiva epistemológica y metodológica*

Los procesos que enfrenta el estudio de este caso configuran una oportunidad para la construcción de un PIC en ecología de paisajes dada la velocidad a la que ocurren los cambios y la posibilidad de contrastar con las teorías de paisaje. Las condiciones iniciales de las que solo queda evidencia indirecta y los procesos que se producen en el devenir histórico, son importantes para determinar patrones actuales en ecología. Por

eso la flecha del tiempo ha sido fuente de controversias en ecología. De acuerdo con Peters (1993) ello implica no pretender que las explicaciones históricas sean generalizables y a partir de esto explicar cada hecho ecológico significativo. El recurso entonces es emplear explicaciones que permanezcan latentes *ad hoc* cuando sean justificables por los datos disponibles. De esta manera la historia no comprende una dificultad sino parte de la estructura del proceso de conceptualización como en geología o astrofísica (Marone y Bunge, 1998).

Los estudios de las relaciones patrón-procesos cuantifican la heterogeneidad espacial, los organismos, su comportamiento y el flujo de materiales con sus relaciones dialécticas (Mateucci, 2006). Los conceptos resultantes también derivan en una relación dialéctica de análisis de patrón y proceso y de función y estructura. En esta matriz heterogénea, existe un patrón que se desprende de la historia del paisaje: el humedal ribereño. Aunque hoy fragmentado por el proceso urbano, su naturaleza intrínseca es discreta. Entonces, es de esperar que su fauna y la dispersión de la vegetación estén adaptadas a esta condición impuesta por islas biogeográficas de humedales en una matriz de estepa árida. En la actualidad los flujos de aves son emergentes, que no solo se relacionan al incremento de generalistas en un medio urbano. También se relacionan al patrón de distribución evidente en la forma de lagunas, canales de drenaje, depresiones del suelo, pastizales palustres y el propio río.

Una comunidad científica de ecólogos de paisajes que acuerde los términos teóricos de un programa de investigación enfrenta necesariamente un problema metodológico: que los objetos de estudio no están dados (García, 2006). En esencia, se construye compartiendo marcos epistémicos y metodológicos entre diversas disciplinas. Aunque las teorías comúnmente son abordadas como estructuras, se construyen de relaciones y cambios a lo largo de la historia. Parte de este problema se debe a la

rígida visión propuesta por el inductivismo y el falsacionismo. Los PIC configuran una estructura, pero puestas en un continuo espacio-temporal breve, habilitan una relación dialéctica entre datos e hipótesis que permiten construir conceptualizaciones más operativas. En perspectiva de sistemas complejos los marcos teóricos se construyen por la naturaleza de sus variables y en consecuencia, emergen las heurísticas, que establecen reglas metodológicas que apuntan a dirigir la investigación para evitar en forma lógica la desprotección del núcleo teórico (heurística negativa), y para desarrollar las versiones refutables y los cambios del cinturón protector (heurística positiva) que todo PIC requiere.

## Conclusiones

Se propone el empleo de PIC y enfoques de sistemas complejos, en estudios de ecología de paisajes, basado en explicaciones y predicciones, sin perjuicio de incorporar la historia de los paisajes que se abordan. Los SIG comprenden herramientas de organización de datos que permiten no solo administrar y generar información, sino también abordar hipótesis a modo de heurísticas positivas y negativas para un modelo de paisaje dado.

## Agradecimientos

Este proyecto es financiado con fondos del subsidio de investigación de la Universidad de Flores 2019 – 2021.

## Referencias

- Chalmers, A. (2000). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? *Editorial Siglo XXI*. Madrid.
- Peters R. 1993. A critique for ecology. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- García, R. (2006). Sistemas complejos. Barcelona: Gedisa, 202.
- Matteucci, S. D. (2006). Ecología de Paisajes. Filosofía, conceptos y métodos. Ed. Orientación Gráfica. Buenos Aires, 1-12.
- Marone, L., Bunge, M. (1998). La explicación en ecología. *Bol. Asoc. Arg. de Ecología*, 7(2),35-7.
- Klimovsky G. (1995). Las desventuras del conocimiento científico. AZ Ed. Buenos Aires