

La importancia epistémica de la experimentación en ecología

Carolina Inés GARCÍA^{1,2,3} & Bernardo Daniel TAVERNA^{4,5,6}

(¹) Instituto De Investigación En Producción, Sanidad Y Ambiente (Iiprosam), Facultad De Ciencias Exactas Y Naturales, Universidad Nacional De Mar Del Plata. (²) Filosofía De La Ciencia, Facultad De Humanidades, Universidad Nacional De Mar Del Plata. (³) Conicet. (⁴) Instituto De Geología De Costas Y Del Cuaternario (Igcyc), Facultad De Ciencias Exactas Y Naturales, Universidad Nacional De Mar Del Plata, Comisión De Investigaciones Científicas De La Prov. De Buenos Aires (Cic-Pba). (⁵) Cic-Pba.

E-mail: carolinagarcia49@gmail.com

bdtaverna@hotmail.com

Abstract: This work aims to analyze epistemologically the different methods from which the ecology obtains knowledge, evidencing the advantages and disadvantages of each one and visualizing a proposal from which the ecology can obtain greater scientific solidity. If the ecologist focuses on the search for patterns, the method that supports it is inductivism, since part of the observation from which it obtains data that it uses to discover regularities in nature. The search for patterns based on a problem and a hypothesis that guides the investigation corresponds to the non-experimental studies, since no treatments are imposed, nor are the variables manipulated under study. This makes it difficult to discover the mechanisms, causes and emergent properties and therefore of the processes that are causing the observed pattern. On the other hand, if the ecologist focuses on the search for processes the method that supports it is the hypothetical deductive as proposed by Mario Bunge, since it seeks to explain the phenomena observed from a mechanistic hypothesis that investigates the causes, why and the how of the pattern observed. To test the mechanistic hypothesis, experiments must be carried out, that is, to manipulate the system in order to discover its operation. Macroecology and landscape ecology have serious difficulties in performing manipulative experiments, and therefore inquiring into the causes of the observed pattern. Faced with this problem, this work proposes a complementarity between the manipulative and non-manipulative studies, which would consist of the realization of natural experiments and the subsequent testing of the results obtained from experiments in the laboratory. Both procedures ensure the discovery of processes in nature and are more realistic, more explanatory and more representational.

Key words: Ecology, Epistemology, Experiments, Inductivism, Mario Bunge, Patterns, Processes.

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo analizar epistemológicamente los distintos

métodos a partir de los cuales la ecología obtiene conocimiento, evidenciando las ventajas y desventajas de cada uno y visualizando una propuesta a partir de la cual la ecología puede

obtener mayor solidez científica. Si el ecólogo se centra en la búsqueda de patrones, el método que lo sustenta es el inductivismo, ya que parte de la observación a partir de la cual obtiene datos que utiliza para descubrir regularidades en la naturaleza. La búsqueda de patrones a partir de un problema y una hipótesis que guían la investigación corresponde a los estudios no experimentales, ya que no se imponen tratamientos, ni se manipulan las variables bajo estudio. Esto dificulta el descubrimiento de los mecanismos, las causas y las propiedades emergentes y por ende de los procesos que están causando el patrón observado. Por otra parte, si el ecólogo se centra en la búsqueda de procesos el método que lo sustenta es el hipotético deductivo tal como propone Mario Bunge, ya que busca explicar los fenómenos observados a partir de una hipótesis mecanísmica que indague sobre las causas, los porqués y el cómo del patrón observado. Para testear la hipótesis mecanísmica hay que realizar experimentos, es decir manipular el sistema a fin de descubrir su funcionamiento. La macroecología y la ecología de paisajes tienen serias dificultades para realizar experimentos manipulativos, y por lo tanto para indagar sobre las causas del patrón observado. Ante este problema este trabajo propone una complementariedad entre los estudios manipulativos y no manipulativos, que consistiría en la realización de experimentos naturales y en el posterior testeo de los resultados obtenidos a partir de experimentos en el laboratorio. Ambos procedimientos aseguran el descubrimiento de procesos en la naturaleza y resultan más realistas, más explicativos y más representacionales.

Palabras claves: Ecología, Epistemología, Experimentos, Inductivismo, Mario Bunge, Patrones, Procesos.

Introducción:

En ciencias biológicas y en ecología, la mayor parte de las investigaciones son cuantitativas, con observaciones de hechos numéricos llamados datos. Las entidades biológicas son contadas o medidas y existen diferentes métodos para tomar, presentar y analizar estos datos. En ecología la obtención de datos empíricos utilizados para testear la hipótesis de partida implica la realización de muestreos de campo o experimentos de laboratorio o naturales. Una distinción importante es la que se puede hacer entre estudios

observacionales o experimentales (Underwood, 1997; Brower *et al.*, 1998). Mediante la observación dirigida por una hipótesis previa se obtienen datos sin haber manipulado el sistema y son utilizados para describir regularidades u ordenamientos biológicos que se denominan patrones. Por otro lado, a través de la realización de experimentos se obtienen datos a partir de la manipulación de las variables que se piensa pueden estar determinando cierto patrón, a estos últimos se los llama procesos. A través del análisis de los procesos se explican los patrones. El ecólogo utiliza experimentos para intentar determinar los mecanismos, es decir los procesos, las causas, los porqués que producen el patrón observado y analizarlo estadísticamente (Pickett *et al.*, 2007; Marone & Bunge 1998).

Los procesos ecológicos se definen como un conjunto de fenómenos que surgen de las relaciones causales entre diferentes organismos y su medio ambiente (Pickett *et al.*, 2007; Marone & Bunge 1998). Los procesos que determinan los patrones biológicos sólo pueden ser explicados mediante un experimento bien diseñado (Underwood, 1997; Brower *et al.*, 1998). Sin embargo, los procesos ecológicos también pueden ser detectados bajo estudios no manipulativos denominados experimentos naturales o de la naturaleza. El investigador puede no manipular las variables sino que éstas se encuentran modificadas o alteradas por un evento natural como sucede en un incendio o por los cambios que produce el hombre en los ecosistemas como la introducción de una especie exógena (Pickett *et al.*, 2007; Marone & Bunge 1998). Debido a las grandes escalas temporales y espaciales, los ecólogos no siempre pueden realizar experimentos manipulativos para determinar los procesos, sin embargo los experimentos no manipulativos constituyen un medio eficaz para determinar los mecanismos, las causas y las consecuencias de los cambios producidos en los ecosistemas a través de estudios comparativos y correlacionales. De hecho, los experimentos no manipulativos en ecología resultan más realistas que los experimentos manipulativos realizados en un laboratorio, ya que se realizan bajo las condiciones naturales que presenta el fenómeno. Los experimentos manipulativos de laboratorio presentan el inconveniente de que se hacen en condiciones artificiales, no contemplando todas las variables que involucran a un fenómeno en condiciones naturales, por lo que sus resultados pueden ser falsos o presentar inconvenientes al ser aplicados o al utilizarlos para realizar predicciones.

Este trabajo tiene por objetivo mostrar que el inductivismo se encuentra presente en ecología en los estudios de patrones observacionales, que utilizan el método de muestreo que consiste en la toma de datos y en el posterior análisis estadístico. Por otra parte, otro de los objetivos de este trabajo consiste en mostrar que la epistemología mecanística propuesta por Mario Bunge se encuentra presente en los estudios de procesos ecológicos que involucra experimentos manipulativos y no manipulativos. Para poder demostrar estos dos objetivos se analizarán las distintas técnicas de muestreo y los diferentes tipos de experimentos utilizados en ecología. La tesis que se sostendrá será la siguiente: los estudios observacionales de búsqueda de patrones corresponden a los principios metodológicos planteados por el empirismo lógico y por el modelo de explicación propuesto por Hempel (1966), mientras que el análisis de los procesos causales del patrón observado corresponde a los principios metodológicos planteados por la epistemología mecanística de Mario Bunge (1979, 1983, 1985, 1997a, 1997b, 1998, 2004; Mahner & Bunge, 1997; Marone & Bunge, 1998). Se tratará de mostrar que si bien la ecología ha comenzado a construir sus bases cognitivas a partir del reconocimiento de regularidades en la naturaleza, un conocimiento más profundo sólo puede ser brindado por los estudios que determinen sus causas. Es decir el método experimental sirve para testear los patrones observados y para explicar las relaciones entre las diferentes variables y el funcionamiento interno del sistema lo que de otra forma resultaría inobservable. De esta forma se explican los porqués construyendo un tipo de conocimiento más completo y realista, y proporcionando la posibilidad de aplicarlo con menor error y de manera más precisa.

1. Principios filosóficos del positivismo lógico

Una de las corrientes filosóficas más importantes e influyentes en biología y en ecología es el positivismo lógico. Los defensores de esta filosofía proponen como tesis fundamental el hecho de que todo conocimiento debe justificarse en la experiencia, señalando que los enunciados de las ciencias fácticas son sintéticos a posteriori, lo que significa que provienen y se justifican en la experiencia (Klimovsky, 2001).

Según el positivismo lógico o neopositivismo (Carnap, 1969; Klimovsky, 2001; Lorenzano, 2010), las ciencias fácticas son un sistema lingüístico, un conjunto de proposiciones en el que se distinguen dos tipos:

1. Enunciados de Nivel I que hablan de un individuo o un conjunto de individuos, caracterizándose por la observación directa del fenómeno descrito, también llamados en la jerga filosófica la base empírica, que es el conjunto de hechos en los que se apoya todo el edificio de la ciencia.
2. Enunciados de Nivel II que hablan acerca de una población global y se obtienen generalizando, haciendo válidos para todos, en todo tiempo y lugar, las observaciones efectuadas y expresadas en el Nivel I. Por ejemplo, “todos los ecosistemas poseen redes tróficas”.

Los enunciados de nivel II corresponden a las leyes científicas y a partir de ellos se deducen predicciones y explicaciones.

2. El problema de la inducción

El problema de la inducción consiste en que nuestros conocimientos incluido el científico son conocimientos para los cuales no es posible obtener pruebas concluyentes (utilizando el enfoque epistemológico que se tome, no es posible garantizar la verdad en las ciencias fácticas), pruebas que garanticen su verdad que sean incompatibles con su falsedad. Aun suponiendo un principio de inducción no se puede justificar a la inducción, ya que el mismo es injustificado. Es por esto que los razonamientos inductivos son inválidos en el sentido de que, aunque estén bien hechos, pueden llevarnos de premisas verdaderas a conclusiones falsas. Esto significa que carecen de una justificación que pueda demostrar la verdad de la conclusión (Lorenzano, 2010).

A pesar de los problemas que presenta, los razonamientos inductivos tienen carácter ampliatorio, ya que la conclusión dice más que sus premisas y necesitamos de razonamientos ampliatorios tanto en la ciencia como en la vida diaria. Por el contrario, los razonamientos deductivos no son ampliatorios, no agregan nada nuevo a lo ya contenido en sus premisas. El problema de la inducción surge porque razonamos inductivamente y este

tipo de razonamiento es ampliatorio pero inválido, de lo contrario el problema de la inducción no habría surgido (Haack, 1991; Gamut, 2010; Copi, 2010).

Nuestro conocimiento es falible, nunca disponemos de pruebas concluyentes, y, por lo tanto, cualquiera de nuestro presunto conocimiento puede ser en realidad falso. Este problema epistemológico está en el corazón de las ciencias fácticas y permanece aún si tomamos el enfoque deductivo o el abductivo en lugar del inductivo.

3. La teoría hempeliana de la explicación

La teoría positivista de la explicación se atribuye generalmente a Carl G. Hempel (1966) por la importancia de sus contribuciones a dicha teoría. A esta teoría hempeliana de la explicación se la suele llamar también teoría de la explicación por subsunción bajo leyes abarcativas, o modelo de cobertura legal. Hay dos tipos o submodelos de explicación: las explicaciones nomológica-deductivas y las explicaciones estadísticas o probabilísticas.

La explicación nomológica-deductiva acerca de un hecho es un razonamiento cuyas premisas son las leyes universales y los enunciados singulares que son afirmaciones sobre hechos concretos denominados condiciones iniciales, y cuya conclusión es el enunciado E, que describe el fenómeno que se pretende explicar. Al conjunto de las premisas se las llama explanans (lo que explica) y a la conclusión, explanandum (lo que debe ser explicado).

A veces no disponemos de leyes universales sino sólo de leyes estadísticas o probabilísticas, que dan lugar a las explicaciones del mismo nombre. En este caso el explanandum no se deduce del explanans sino que se sigue de él con un alto grado de probabilidad, a diferencia de lo que ocurría en el esquema nomológico-deductivo presentado antes. Todas las explicaciones de hechos basados en leyes estadísticas son explicaciones estadísticas-inductivas; en ellas el explanandum no se deduce, sino que se induce del explanans. Pero esto no vale para las explicaciones de leyes, que son, o al menos pueden ser, estadístico-deductivas.

El modelo de explicación propuesto por Hempel (1966) es superficial ya que a través de casos particulares, regularidades presentes en la naturaleza, se postula una ley universal o estadística. El modelo nomológico-deductivo de explicación consiste en incluir casos particulares y transformarlos en universales. Pero la inclusión no explica por qué ocurre el

patrón general, indica cómo son las cosas sin decir por qué debe esperarse que sean así. Por ejemplo en el siguiente enunciado general: “todos los ecosistemas poseen redes tróficas”, al cual se ha arribado a través de la inclusión de casos particulares, no se explica lo más importante, que es por qué todos los ecosistemas poseen redes tróficas. Si deseamos comprender por qué ocurre un hecho, debemos vislumbrar su mecanismo, su funcionamiento interno, las causas que provocan el patrón observado (Marone & Bunge, 1998). De ahí que se concluya que este tipo de explicaciones se corresponden con modelos de caja negra que no pueden explicar lo inobservable, por las cuales se produce un patrón, lo que los hace más proclives a caer en concepciones falsas de la naturaleza, ya que su base cognitiva es superficial y no profunda.

Para explicar el porqué de un patrón hay que realizar un experimento, manipular las variables, conocer los mecanismos, el funcionamiento del interior del sistema, la conectividad de las partes componentes con el todo. De esta forma también la hipótesis planteada recibiría mayor apoyo confirmatorio, ya que el experimento brinda la posibilidad de analizar y determinar el comportamiento de cada variable selecciona en la realidad. A su vez, no alcanza con subsumir casos particulares y transformarlos en universales como señala Hempel, una hipótesis se testea de forma indirecta, se debe deducir de ella otras hipótesis auxiliares que generen una predicción y sus posteriores consecuencias observacionales a través de las cuales la hipótesis principal quedará corroborada o refutada. La hipótesis debe generar predicciones y consecuencias observacionales, medio que permite testearlas y no a través de la subsunción de particulares en universales. Si es que se tiene por objetivo que la ciencia traspase lo descriptivo y se involucre con la explicación y la comprensión del mundo.

4. La búsqueda de patrones ecológicos como una forma de inductivismo

El inductivismo parte de la observación de la naturaleza y de la obtención de datos de los que emerge algún tipo de patrón: una configuración particular de las características de un sistema (Wiens, 1989). Los patrones biológicos son eventos repetidos, entidades recurrentes, relaciones replicadas o trayectorias regulares e irregulares registradas en el espacio y el tiempo (Pickett *et al.* 2007; Marone & Bunge 1998). Así para determinar

patrones se utiliza el método de muestreo. En la mayoría de los casos, el muestreo se utiliza para estimar la abundancia de los organismos, también para determinar el tamaño de una población, como si se trata de comparar entre zonas de características ambientales distintas. Este método permite estimar por ejemplo parámetros poblacionales a partir de una fracción de la misma. Para llevar a cabo correctamente un muestreo se debe tener en cuenta el número de unidades, ya que para realizar inferencias estadísticas a partir de muestras, el grado de confianza aumenta al aumentar el número de réplicas. Por otro lado, se debe tener en cuenta el tamaño de las unidades de muestreo, cuando se están utilizando áreas muestrales, es importante conocer el tamaño de los organismos, tener una noción de su densidad y su distribución espacial. Dependiendo de la pregunta que se quiere responder, el objeto de estudio, el parámetro a estimar existen diferentes métodos de muestreo, entre ellos podemos enumerar: muestreo al azar simple, muestreo estratificado y muestreo sistemático.

En los estudios observacionales sólo analizamos unidades muestrales en diferentes condiciones preestablecidas y no podemos decidir qué tratamiento recibirá una unidad muestral. Los patrones son descripciones generales de los diferentes fenómenos observables, que se denominan leyes y se establece a partir de ellos modelos que permitan predecir, de forma más general, exacta, precisa y sencilla posible, el resultado de dichos fenómenos. El estudio de patrones se utiliza en el estudio de múltiples escalas espaciales (dependiendo de la hipótesis de partida), ya que la realización de experimentos se dificulta a escalas medias y altas, debido a la complejidad excesiva de la realidad. Este tipo de estudios dificulta la demostración y descubrimiento de relaciones causa-efecto y, sus hipótesis no refieren a relaciones de causalidad. El tipo de conocimiento es puramente descriptivo y superficial, no indaga, ni explica las relaciones entre los diferentes individuos, dice cómo pasan las cosas, pero no puede explicar por qué ocurren de ese modo.

Debido a que resulta imposible realizar un relevamiento completo de por ejemplo toda una población, lo que se hace es tomar una muestra representativa, es decir se realiza un muestreo. Sobre la base de esa muestra se testea la hipótesis con ayuda de los métodos estadísticos, que nos permiten cuantificar la probabilidad de cometer un error al extrapolar las conclusiones obtenidas sobre la muestra para el conjunto de una población. Es por ello que es fundamental elegir una muestra suficientemente representativa de la población,

compuesta por un número de réplicas adecuadas. Como se acaba de enunciar la búsqueda de patrones no puede evitar el problema de la inducción, es decir, la falta de pruebas concluyentes que pueden garantizar la transmisión de verdad de premisas a conclusión, esto quiere decir que de premisas verdaderas podemos arribar a una conclusión falsa. Es por esto que resulta necesario experimentar, que se indague más profundamente sobre la realidad y de esta forma se determinen las relaciones causales del patrón observado.

Actualmente la macroecología y la biogeografía estudian los patrones de composición y estructura de conjunto de especies a escala regional, continental y global (Brown & Maurer, 1989), y se utilizan para predecir y dar solución a los problemas de conservación y manejo de vida silvestre desde un enfoque epistemológico empirista (Peters 1991). La biogeografía y la macroecología son disciplinas básicamente observacionales y no experimentales. Los estudios de la biogeografía se basan en observaciones de los patrones naturales, rara vez se realizan experimentos manipulativos para poner a prueba sus hipótesis. Los modelos y reglas que propone la macroecología y la biogeografía son descriptivamente simples, esto quiere decir que se construyen sólo a través de la visualización de pocas variables (las que el investigador considera relevantes y útiles para responder su pregunta y poner a prueba su hipótesis). Esto puede conducir más fácilmente a concepciones falsas de la naturaleza, ya que al tener en cuenta sólo las variables que se consideran relevantes, se reduce la complejidad del sistema estudiado, dando como resultado la no explicación o múltiples explicaciones del patrón enunciado. A través de este tipo de estudio no podemos dar respuestas a problemas concretos como qué tipo de áreas y qué cantidad de áreas son necesarias para asegurar la protección y la continuidad de la biodiversidad de especies o cuáles son las consecuencias de la pérdida de una especie clave o ingeniera ecosistémica en un ecosistema.

5. El papel del experimento en ecología como requisito de buena ciencia

Tanto para el empirismo lógico como para el modelo hipotético deductivo, el experimento es considerado un requisito de científicidad y de buena ciencia (Di Pasquo, 2012, 2014, 2015). Para el empirismo lógico el experimento constituye un elemento que suministra la posibilidad de descomponer el fenómeno estudiado en sus partes más pequeñas requisito de

su tesis ontológica reduccionista, pero sin tener en cuenta las relaciones causales entre los elementos y las propiedades emergentes que surgen de dichas relaciones. Por otra parte, el testeo indirecto de hipótesis por vía experimental también constituye un requerimiento de cientificidad para el método hipotético deductivo propuesto por Mario Bunge (1979, 1983, 1985, 1997a, 1997b, 1998, 2004; Mahner & Bunge, 1997; Marone & Bunge, 1998) debido a que la hipótesis fundamental (ley científica) se testea a través de otras hipótesis auxiliares, las cuales involucran a la experimentación como elemento de contrastación empírica de la hipótesis principal. Además la hipótesis propuesta es explicativa e involucra relaciones causales, términos teóricos y propiedades emergentes. Para explicar un proceso es necesario introducir términos teóricos inobservables por ejemplo competencia, mutualismo, etc., los cuales son propiedades emergentes que surgen de las relaciones entre los distintos elementos que conforman a un fenómeno. La experimentación brinda la posibilidad de testear la hipótesis mecanísmica de manera más eficaz ya que descompone el sistema y le impone tratamientos que permiten realizar comparaciones entre las unidades manipuladas y las no manipuladas y de esta forma facilita el descubrimiento de procesos en la naturaleza.

En ecología existen experimentos con replicación, los cuales son diseñados en el laboratorio y tienen diferentes tratamientos con sus correspondientes réplicas. También existen experimentos sin replicación, estos se debe a que no siempre resulta posible replicar los tratamientos. Por otra parte, también se realizan análisis de intervención, los cuales consisten en estudiar el impacto ambiental luego de una perturbación no contralada. En este caso se suelen analizar datos obtenidos antes y después de ocurrir una perturbación. Cuando no se puede manipular el sistema se realizan estudios observacionales, con el objetivo de analizar la influencia de factores ambientales concretos. Son los “experimentos naturales”, en los que se seleccionan específicamente las poblaciones objeto de estudio.

Teniendo en cuenta el tipo de hipótesis que el científico desea testear, éste tiene que optar entre la realización de un experimento en el laboratorio, donde las condiciones ambientales pueden ser controladas de forma efectiva, o realizar un experimento en la naturaleza, lo que presenta a menudo mayor dificultad. Más frecuentemente, la investigación en la naturaleza se aborda mediante procedimientos de obtención de la información no manipulativos que reciben la denominación de muestreos. Esta característica de no-manipulación convierte al muestreo exclusivamente en un procedimiento de observación y medida. Por ello, a este

tipo de estudios se los conoce como estudios observacionales o experimentos mensurativos frente a los experimentos manipulativos (Hurlbert, 1984; Krebs, 1999). Además, dado que en un muestreo se aprovechan las variaciones naturales de los factores ambientales, en ocasiones se los denomina también experimentos naturales (James & McCulloch, 1985; Diamond, 1986).

La diferencia que existe entre los estudios experimentales y los estudios observacionales es que los primeros presentan mayor control y claridad en sus resultados, mientras que los segundos realizados en grandes escalas espaciales y temporales presentan mayor realismo (Hurlbert, 1984; Diamond, 1986). El diseño experimental utilizado en ecología presenta tres principios: uno es el control, el otro es la replicación (uso de varias unidades experimentales que reciben el mismo tratamiento) y el último es la aleatoriedad (asignación al azar de los tratamientos a distintas unidades experimentales).

Estos tres principios del diseño experimental son de fácil aplicación en el laboratorio pero, a menudo, presentan muchas dificultades para la experimentación en el campo a escalas medias o grandes, o para los estudios de impactos ambientales. En este caso, el diseño más apropiado (Di Pasquo, 2012, 2014, 2015) es el *before-after-control-impact*, diseño que compara las series temporales de la zona tratada y el control, antes y después de la intervención o tratamiento experimental. En éstos se buscaba muestrear dos sitios similares, uno de ellos era usado como control y al otro se le aplicaba algún tratamiento, alguna modificación en las variables bajo estudio a fin de testear la hipótesis planteada o poner a prueba un patrón descriptivo (Di Pasquo, 2012, 2014, 2015). De esta manera, el ecólogo compara ambos sitios en busca de diferencias entre la unidad tratada y la no tratada (el control), lo que le permite testear de forma más realista el patrón previamente observado y poder explicar sus causas. El segundo tipo de diseño experimental que se proponen en ecología consiste en el muestreo de un mismo sitio en dos momentos diferentes; antes y después de una perturbación no controlada (o de un impacto ambiental). Este tipo de experimento permite observar la resiliencia del sitio afectado y el proceso conocido como sucesión ecológica. En estos experimentos se consideraba no solo el seguimiento sobre un sitio antes y después de una perturbación, sino también, la comparación con una unidad control. El experimento queda establecido como una pieza fundamental en la constitución

de la cientificidad de la ecología, alejando a la disciplina de los enfoques meramente descriptivos y acercándola a los enfoques explicativos.

La importancia otorgada al experimento en las ciencias naturales se debió a cinco características notables que garantizaban la comprensión de los mecanismos de los fenómenos estudiados: A) el experimento permite el control y la manipulación de las variables; B) como también la reproducción de un fenómeno; C) posibilita el establecimiento de relaciones entre variables diferentes y entre fenómenos diversos; D) permite descomponer las variables y ver su funcionamiento; y E) permite comparar diferentes tipos de tratamientos sobre las variables del fenómeno bajo estudio. La realización de experimentos manipulativo brinda la posibilidad de conocer los mecanismos ecológicos, o sea las causas de los fenómenos estudiados. A su vez, el experimento manipulativo puede ser empleado para vislumbrar la forma en que se relacionan, se vinculan las distintas variables intervinientes y, el funcionamiento de un sistema. De aquí que ante un patrón descrito a través de estudios puramente observacionales, el experimento puede descubrir los procesos que de otra forma permanecerían ocultos.

Debido a la dimensión espacial y temporal los ecólogos que trabajan con grandes escala tiene dificultades para llevar a cabo experimentos controlados, esto sucede con la ecología de paisajes y con la macroecología a causa de la imposibilidad de controlar todas las variables intervinientes y tomar conocimientos de ellas. Otra de las dificultades son los costos involucrados en el estudio de grandes escalas (Odum & Barrett, 2008; Bernal, 1985). Sin embargo, y a pesar de las dificultades, si es posible realizar otro tipo de experimentos que se denominan naturales o de la naturaleza. Este tipo de experimentos consisten en la detención de un proceso mediante la observación controlada. La técnica que se utiliza es el muestreo y en la toma de datos no hay una intervención del ecólogo de modo que provoque un suceso de interés como si lo hay en un experimento controlado. Se trata más bien, de la detección de cierto fenómeno mediante una observación controlada. De aquí que ante un presunto mecanismo el experimento natural no permita profundizar sobre las causas del mismo, en la medida que no permite reproducirlo; sino inferirlo del registro realizado mediante la observación (Di Pasquo, 2015).

Por ejemplo un tipo de experimento natural es el siguiente: estudiar el gato montés (*Leopardus geoffroyi*) tanto en el hábitat natural, como en el hábitat modificada por el

hombre a fin de conocer los efectos que tiene el pastoreo de vacas sobre la distribución espacial y temporal de la población de *L. geoffroyi*. Este tipo de experimento natural puramente correlacional, comparativo, descriptivo y muestral permite determinar cómo afecta a esta especie las modificaciones directas de su hábitat, así como también, permite realizar cálculos respecto a si es posible que esta especie pueda adaptarse a cambios en el hábitat o se extinguirá. También permite estimar el área y las condiciones ambientales que necesita esta especie para mantener una población constante y estable que garantice su continuidad.

La diferencia más radical entre el experimento controlado y el experimento natural consiste en que el primero ofrece la posibilidad de reproducir, estabilizar y desarmar un fenómeno a la vez que, relacionar sucesos distintos estableciendo e indagando las causas. En el experimento natural únicamente se infiere un mecanismo a partir de la observación controlada. Sin embargo, es importante destacar que ambos enfoques dan lugar a la contrastación de hipótesis es decir, nada impide que una hipótesis referida a un mecanismo ecológico sea contrastada mediante una observación controlada o un experimento controlado.

Sin embargo, el experimento manipulativo en condiciones controladas encontró importantes dificultades a la hora de ser aplicado en el mundo real, ya que este difiere respecto a las condiciones ideales de un laboratorio, por lo que al ser aplicados los resultados estos pueden diferir de aquellos. En lo que respecta a las interacciones indirectas y al mutualismo competitivo el experimento dificulta el esclarecimiento de relaciones causales (Jaksic & Marone, 2007). Otra de las dificultades que presentan los experimentos manipulativo es el hecho de que el investigador impone tratamientos y selecciona. Si bien se tiene en cuenta la hipótesis de partida y las variables que el investigador considera relevantes, esto elementos le quitan objetividad a este tipo de metodología.

En cambio, en los experimento naturales (que si bien también presentan dificultades como la imposibilidad de analizar, descomponer o sondear un mecanismo para conocerlo) no hay una manipulación de los fenómenos y mucho menos una reproducción de los mismos. Más aún, el investigador no interviene imponiendo tratamientos (Peters, 1991). Este tipo de procedimiento resulta más realista al aplicarse directamente sobre las condiciones dadas por el mundo. Son más cercanos a la situación del mundo real que la mayoría de los

experimentos manipulativos altamente controlados dentro de la ecología reduccionista. Los experimentos naturales son probablemente la única manera en que se los puede realizar en las escalas temporales y espaciales de interés para los macroecólogos.

Así, mientras que es más difícil extraer conclusiones firmes a partir de los experimentos naturales, esas conclusiones que pueden extraerse son probablemente más relevantes para los sistemas naturales. Por el contrario, mientras que los experimentos manipulativos pueden dar pruebas muy precisas a preguntas específicas, lo hacen en sistemas que son generalmente muy simplificados en relación con el mundo real. Estos resultados pueden carecer de amplia generalidad. Los experimentos naturales presentan importantes ventajas para el estudio de sistemas complejos como es el caso de la ecología, ya que son más efectivos y por tanto, con resultados más fácilmente extrapolables a los sistemas naturales.

Los experimentos controlados de campos si bien incluyen tratamientos que implican la manipulación del sistema, se sostiene que estos diseños tampoco pueden ser considerados experimentos en sentido estricto. Dado que la simple aplicación de un tratamiento a una unidad experimental no supone la reproducción y estabilización de un fenómeno, debido a que se encuentra con dificultades en el control y en la manipulación de las variables intervinientes. En el mundo real pueden intervenir otras variables o fenómenos no tenidos en cuenta en el diseño original, por falta de conocimiento y de relevancia para la hipótesis, los cuales pueden impactar directamente sobre los resultados obtenidos. Los estudios experimentales de campo utilizan la cláusula *ceteris paribus* (“todo lo demás igual”), reflejando la asunción de que todas las condiciones de la investigación se mantienen constantes. Esto se debe al desconocimiento de todas las variables intervinientes o porque sólo se consideran aquellas que el investigador cree relevantes teniendo como parámetro la hipótesis planteada (Wiens, 1989). Los experimentos manipulativos llevados a cabo en el campo (y no en el laboratorio) encuentran importantes dificultades en su aplicación, ya que sólo se garantiza el conocimiento de los mecanismos, si estos pueden reproducirse en condiciones controladas.

Debido a la serie de problemas que presentan ambos tipos de experimentos es que se acepta cierta relación de complementariedad entre ambos enfoques (Lodge *et al.*, 1998). Es decir, se puede considerar un experimento manipulativo de campo donde, por ejemplo, se busca establecer una correlación entre dos variables. Posteriormente, se ensayan experimentos

manipulativos en el laboratorio para intentar acceder a los posibles mecanismos involucrados (Smith & Smith, 2001; Peters, 1991). Desde una complementariedad entre estos dos tipos de experimentos la ecología puede llegar a sortear las dificultades que posee su objeto de estudio debido a la complejidad que presenta el mundo real para llegar a establecer las causas, la dilucidación del funcionamiento del sistema bajo estudio, y las relaciones que involucran las distintas variables. Esto permite testear la hipótesis de forma más realista y obtener un conocimiento científico más sólido, ya que al existir dificultades en la ejecución controlada y manipulativa de los experimentos de campos y en su posterior aplicación en el mundo real, una combinación y complementariedad de ambos tipos de experimento puede constituir una propuesta superadora. A su vez, en las sub-áreas como la macroecología o la ecología de paisaje, la complementariedad de ambos tipos de experimentos resulta imprescindible para establecer los procesos que producen el patrón observado.

6. La importancia otorgada al experimento en la epistemología mecanística

Como se ha mostrado en este trabajo la búsqueda de patrones ecológicos corresponde a los principios epistemológicos del inductivismo, mientras que la búsqueda de procesos corresponde a los principios epistemológicos del método hipotético deductivo. La propuesta epistemológica mecanística de Mario Bunge (1979, 1983, 1985, 1997a, 1997b, 1998, 2004; Mahner & Bunge, 1997; Marone & Bunge, 1998), considera que hay una pizca de verdad tanto en el empirismo como en el racionalismo, y propone una tercera perspectiva que los incluya. Por esto su propuesta epistemológica se denomina racioempirista o empiriorracionalista tratando de superar los distintos tipos de problemas que tienen estos enfoques y combinando sus ventajas y virtudes.

Para el racioempirismo bungeano, las comunidades y ecosistemas son sistemas interactuantes que deben ser estudiados tanto en su micro-nivel como en su macro-nivel. El racionalismo se ve reflejado en la investigación ecológica cuando se realizan experimentos que analizan el funcionamiento de las partes componentes del sistema a través de la manipulación de las variables y de esta forma se puede determinar el papel que desempeña cuando está ausente y presente determinada población u organismo sobre la comunidad o

ecosistema en que habita. De esta forma se analiza el todo y la parte, todo junto (Mahner & Bunge, 1997). El racioempirismo admite la existencia de las comunidades y ecosistemas pero considera que es necesario analizarlos en términos de sus partes componentes, ambientes y estructuras (Mahner & Bunge, 1997). La asunción de una posición epistemológica racioempirista está vinculada con la necesidad de dar respuesta a los por qué y al cómo, ya que para conocer las causas se deben utilizar el método experimental que manipule las partes componentes del sistema para conocer por qué y cómo funciona el todo y la parte dentro del sistema.

El reduccionismo utiliza el análisis mecanicista, lo que lleva a una interpretación simplista de los resultados, desconociendo la importancia de las propiedades emergentes (Mayr, 1982; Looijen 2000). A través del análisis de las partes del todo es imposible recrear las propiedades emergentes de un sistema complejo e interactivo, más aun considerando que estas propiedades cambian en el espacio y el tiempo. Además el desmembramiento de los sistemas de estudio no garantiza la comprensión de la naturaleza (explicación) y la dinámica del conjunto para fines predictivos, luego de reensamblar sus partes. En todo sistema complejo existen ciertas propiedades que emergen de las interacciones de sus componentes, afectando su dinámica, además estas propiedades son imposibles de comprender o siquiera percibir analizando sólo los componentes de modo aislado. Las propiedades emergentes y el modo en que se relacionan los individuos de iguales y diferentes especies y el medio ambiente sólo pueden ser develados a través de la combinación de ambos tipos de experimentos mensurativos y manipulativos. Como la ecología estudia sistemas complejos una combinación de experimentos manipulativos que garanticen control y precisión y de experimentos mensurativos que garanticen realismo será lo que asegurará solidez al conocimiento.

El ecólogo postula hipótesis causales para explicar los patrones presentes en la naturaleza que deben ser sometidas a prueba a través de la observación y la experimentación controlada y rigurosa. Sólo cuando estas hipótesis son corroboradas, se las usa para formular predicciones y en la medida en que las explicaciones dadas por las hipótesis se vuelven generales, adquieren estatus de leyes científicas y se van incorporando a teorías. Una ecología planteada desde el enfoque mecanísmico puede resolver los problemas ambientales de mejor manera y con mayor eficacia por poseer mayor solidez científica. La

búsqueda de patrones provoca que la ecología se evapore como ciencia, cuando se ignora los mecanismos, las causas y la explicación. Las teorías ecológicas no pueden estar destinadas solamente a predecir y a describir, porque se ignora el papel de la explicación que debe ser su base, y la explicación sólo puede lograrse mediante la realización de experimentos.

Desde el enfoque epistemológico de Mario Bunge (1997a, 1998) las teorías representacionales son sistemas hipotéticos deductivos sofisticados que representan y explican las entidades no observables, los eventos o las propiedades que causan las regularidades y patrones en la naturaleza. Además, las teorías representacionales, tienen todas las ventajas de las teorías no representacionales, con el agregado de hipótesis que relacionan causalmente los valores de las variables externas. La epistemología racioempirista favorece la construcción de teorías representacionales de caja traslúcida, es decir sistema cuya estructura interna resulta visible, como lo es el funcionamiento del sistema y las interacciones de las partes componentes. Las teorías representacionales tienen mayor amplitud, mayor poder explicativo y mayor especificidad, por lo que no sólo son más completas a la hora de analizar el fenómeno, sino que son más adecuadas para la ciencia. Es por todo esto que la realización de experimentos tiene gran importancia epistémica en ecología, ya que garantiza la construcción de teorías realistas y representacionales.

Conclusiones

En este trabajo se pretendió analizar la forma en que obtiene conocimiento la ecología. Partiendo del dualismo gnoseológico planteado por la modernidad entre sujeto y objeto, esta disciplina implementa el método propio del inductivismo, según el cual se parte de las características del objeto denominada “la empiria” o base empírica y a partir de ella se formulan leyes, regularidades en la naturaleza, lo que los ecólogos denominan patrones, la formulación de enunciados sintéticos a posteriori. Ante la explicación de las causas de los patrones observados, el investigador utiliza el método hipotético deductivo que parte del

sujeto quien formula un enunciado sintético a priori, la hipótesis, la cual testea a través de experimentos manipulativos o naturales y a grandes escalas se vale de ambos tipos de experimentos para garantizar el descubrimiento de mecanismos y propiedades emergentes. Ambos tipos de estudio se fundamentan en la obtención de datos (información que permite contestar las preguntas planteadas) y confrontación de los datos con las hipótesis (para lo que se recurre a pruebas estadísticas). De esta manera, aceptar o rechazar hipótesis que hacen referencia a patrones o a procesos, se convierte en una actividad fundamental de la investigación científica. No obstante, como hemos mostrado en este trabajo en ecología no existe una clara separación entre el método inductivo y el deductivo, ya que pueden complementarse mediante estudios que describan patrones y luego evalúen sus causas, es decir los procesos (Mentis, 1988; Smith, 1996). Por ejemplo, consideremos el hecho de que los individuos de dos especies presenten una distribución segregada en la naturaleza; esta circunstancia observable constituye un patrón, que podría estar causado, hipotéticamente, por un proceso de competencia interespecífica. De esta forma, mediante el estudio de los procesos ecológicos se introducen hipótesis teóricas causales que explican las propiedades emergentes que surgen de las interrelaciones entre los individuos que componen a una comunidad.

Si bien la macroecología y ecología de paisajes no pueden realizar experimentos manipulativos, la utilización de experimentos no manipulativos en búsqueda de las causas constituye una herramienta de suma importancia para explicar los patrones y construir un conocimiento más sólido y más profundo debido a su mayor contenido y al develamiento del funcionamiento del sistema.

El enfoque epistemológico racioempirista o empiriorracionalista combina las ventajas del método inductivo y método del hipotético deductivo, ya que implementa hipótesis mecanicistas con contenido teórico explicativo de los distintos patrones ecológicos, tal como propone el racionalismo, y sumando a esto la prueba empírica de las hipótesis planteadas, tal como propone el empirismo. La implementación de la epistemología racioempirista de Bunge en ecología permite develar los mecanismos ocultos que causan el patrón observado, asegurar mayor contenido teórico explicativo de los patrones ecológicos y corroborar sus supuestos a través de experimentos que manipulen las variables involucradas en el fenómeno estudiado. A través de la epistemología racioempirista la

ecología podrá cumplir con mayor eficacia los objetivos de la ciencia: explicar, describir y predecir (Marone & Bunge, 1998).

De esta forma si un ecólogo utiliza la metodología inductiva que consiste sólo en la búsqueda de patrones obtendrá un conocimiento superficial y acotado de su objeto de estudio, favoreciendo el empobrecimiento de la ciencia y de sus objetivos. En cambio si un ecólogo utiliza la experimentación obtendrá otro tipo de conocimiento más completo y más complejo que le permitirá obtener una teoría realista que contenga explicaciones satisfactorias y mejorables.

Como el inductivismo construye teorías de caja negra no sabe cómo funciona el interior del sistema, dejando ocultos los mecanismos a través de los cuales se producen los fenómenos ecológicos, no pudiendo aprovechar todo el potencial de una teoría representacional. Si queremos predecir y explicar es necesario indagar en las causas, para ello necesitamos una teoría realista que intente captar a través de la explicación el funcionamiento efectivo del mundo.

El propósito de explicar la realidad que poseen las teorías realistas y representacionales está vinculado con el hecho de perseguir la verdad como una meta de la ciencia. En este contexto, la capacidad descriptiva que posee la búsqueda de patrones aparece como una condición necesaria, pero no suficiente para la validación realista de una teoría.

En realidad la ecología comprometida con la sociedad debe aspirar a ser útil y aplicable para brindar solución concretas a los problemas ambientales, pero para lograr esta finalidad debe aspirar a la verdad y al realismo de sus supuestos, de otra manera se podría estar aplicando un conocimiento que es en realidad falso, yendo en contra de aquello que se pretendía solucionar.

Por todo lo expuesto en este trabajo consideramos que la implantación de la epistemología racioempirista o empiriorracionalista que involucra a la experimentación resulta mucho más adecuada y más completa que la epistemología inductivista, para resolver problemas tales como el entendimiento de áreas de distribución, la identificación de especies vulnerables a la extinción y la selección de áreas prioritarias para la conservación, entre otros.

Referencias

- Begon, M. Harper, J.L. & Townsend, C. R. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3th edition, Oxford: Blackwell Science Ltd, 2006.
- Bernal, J. D. *La ciencia en la historia*. México: Nueva Imagen, 1985.
- Blanckburn, T. M. Method in macroecology. *Basic and Applied Ecology*, 5(5), p. 401-12, 2004.
- Brower, J. E., Zar, J. H. & Von Ende, C. N. *Field and laboratory methods for general ecology*. Boston: Mc Graw- Hill, 1998.
- Brown, J. H. & Maurer, B. A. Macroecology: The division of food and space species on continents. *Science*, 24, p. 1145-1150, 1989.
- Bunge, M. *Ontology II. A world of systems*. Dordrecht: Reidel, 1979.
- _____. *Epistemology and Methodology II. Understanding the world*. Dordrecht: Reidel, 1983.
- _____. *Teoría y realidad*. Barcelona: Ariel, 1985.
- _____. Mechanism and explication. *Philosophy and social sciences*, 27, p. 410-465, 1997a.
- _____. *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Editorial Sudamérica, 1997b.
- _____. *La investigación científica*. México: Siglo veintiuno, 2000.
- _____. *Emergencia y convergencia. Novedad Cualitativa y unidad del conocimiento*. Barcelona: Gedisa, 2004.
- Carnap, R. *Fundamentación lógica de la física*. Buenos Aires: Sudamericana, 1969.
- Copi, I. M. *Introducción a la lógica*. Buenos Aires: EUDEBA, 2010.
- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A. & Massarini, A. *Curtis Biología*, Buenos aires: Médica Panamericano, 2008.
- Di Pasquo, F. M. *La norma global y la fractura ecológica. Una tesis de historia sincrónica*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 2014.
- _____. La norma global y la fractura ecológica. *Universidad El Bosque*, Bogotá, Colombia, vol. 15, núm. 30, p. 173-195, 2015.
- Di Pasquo, F. M., & Folguera, G. Sobre la experimentación y su rol epistémico en la ecología: el caso de la ecología del paisaje. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 25, p. 99-120, 2012.

Diamond, J. M. Overview: Laboratory experiments, field experiments, and natural experiments. In: Diamond, J. M. & Case, T. J. (Ed.). *Community ecology*. Nueva York: Harper and Row Press, 1986, p. 3-22.

Gamut, L. T. F. *Lógica, lenguaje y significado*. Buenos Aires: EUDEBA. Volumen 1, 2010.

Haak, S. *Filosofía de las lógicas*. Madrid: Cátedra, 1991.

Hempel, C. *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, New Jersey Printice-Hall, 1966.

Hulbert, S. H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological monographs*, 54, p. 187-211, 1984.

_____. On misinterpretations of pseudoreplication and related matters: A reply to oksanen. *Oikos*, 104, p. 591-597, 2004.

Hume, D. *Investigación sobre el conocimiento humano*. Madrid: Alianza, 1984.

Jaksic, F. & Marone, L. *Ecología de comunidades*. Santiago: Universidad Católica de Chile, 2007.

James, F.C. & McCulloch, C.E. Data analysis and the design of experiments in ornithology. In: Johnston, R.F. (Ed.). *Current Ornithology*. Volume 2. New York: Plenum Press, 1985, p. 1-63.

Klimovsky, G. *La desventura del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*. Buenos Aires: A-Z, 2001.

Krebs, C. *Ecological methodology*. Menlo Park: Benjaming/Cummings, 1999.

Lodge, D. M., Blumenshine, S. C. & Vadeboncoeur, Y. Insights and application of large-scale, long-term ecological observations and experiments. In Resetarits, W. J. & Bernardo, J. (Ed.). *Experimental ecology*. Oxford: Oxford University Press, 1998, pp. 202-235.

Looijen, R.C. *Holism and reductionism in biology and ecology. The mutual dependence of higher and lower level research programmes*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

Lorenzano, C. Concepción estructural del conocimiento científico, metodología de los programas investigativos y criterios para formular políticas de investigación. *Electroneurobiología* vol. 18 (1), p. 3-254, 2010.

Mahner M. & Bunge M. *Foundations of biophilosophy*. Berlin: Springer, 1997.

- Marone, L. & Bunge, M. La explicación en ecología. *Boletín Asociación Argentina de Ecología*, 7, p. 35-37, 1998.
- Mayr, D. *The growth of biological thought: diversity, evolution and inheritance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- Mentis, M. T. Hypothetic-deductive and inductive approaches in ecology. *Functional ecology*, 2, p. 5-14, 1988.
- Odum, E., & Barrett, G. W. *Fundamentos de Ecología*. México: Cengage Learning Editores, 2008.
- Peters, R. H. *A critique for ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- Pickett, S. T. A., Kolasa, J. & Jones, C. *Ecological understanding. The nature of theory and the theory of nature*. San Diego: Academic Press, 2007.
- Smith, R. L. & Smith, T. M. *Ecología*. Madrid: Pearson Educación, 2001.
- Smith, R. L. *Ecology and Field Biology*. 5a ed. Menlo Park: Addison-Wesley, 1996.
- Underwood, A. J. *Experiments in ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- Wiens, J. A. Determining pattern and process: the logical structure of community ecology. *The Ecology of Bird Communities*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 18-37, 1989.