

# LA EXPERIMENTACIÓN Y SU ROL EPISTÉMICO EN LA ECOLOGÍA: EL CASO DE LA ECOLOGÍA DEL PAISAJE<sup>1</sup>

## EXPERIMENTATION AND ITS EPISTEMIC ROLE IN ECOLOGY: THE CASE OF LANDSCAPE ECOLOGY<sup>2</sup>

Federico di Pasquo<sup>3</sup>  
Guillermo Folguera<sup>4</sup>

### RESUMEN

Durante el siglo XX, el experimento ha sido presentado como una vía indispensable para todas las disciplinas dedicadas al estudio de la naturaleza. En el presente trabajo analizamos la caracterización que se ha dado durante el siglo XX de la experimentación así como sus efectos sobre una subdisciplina de la ecología: la ecología del paisaje. Entre las décadas de 1930 y 1980, mediante una fuerte influencia del empirismo lógico, se incorporó el experimento como una herramienta metodológica fundamental en las investigaciones de la ecología. Sin embargo, durante la década de 1980 se reconocen cambios significativos tanto en la caracterización como en la aplicación de los experimentos. Estos cambios parecen estar relacionados con las grandes extensiones geográficas de los problemas ambientales, que han obligado al reemplazo de los experimentos manipulativos por los mensurativos.

**Palabra clave:** empirismo lógico, experimento, historia de la ecología, ecología del paisaje, problemática ambiental.

### ABSTRACT

In the XX century, the experiment has been presented as a fundamental way to study of nature since disciplines and sub-disciplines. The aim of this work is to study characterization of the experiment and its epistemic effects over an area of knowledge of Ecology: Landscape Ecology. Between 1930's and 1950's decades, experiment was considered as a fundamental methodological tool in studies of Ecology. However, in 1980's decade it is recognized significant changes in characterization and application of the experiments. One of the causes of this change may be the wide geographic scales of the ambient problems producing the replacement of manipulative experiments by mensurative experiments in Landscape Ecology.

**Keywords:** Logical empiricism, experiment, History of Ecology, Landscape Ecology, Ambiental problematic.

1. Esta investigación fue financiada por los proyectos de investigación UBACyT X029 y UBACyT Cód. 20020100100285.
2. Recibido: 31 de mayo de 2012. Aceptado: 15 de noviembre de 2012.
3. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: dipasquof@yahoo.com.ar.
4. CONICET, Argentina. Correo electrónico: guillefolguera@yahoo.com.ar.

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre las corrientes de pensamiento que pueden reconocerse en la conformación de la biología contemporánea, sin dudas una de las más significativas ha sido el empirismo lógico. Desde esta perspectiva, se reconoce una fuerte escisión entre “lo empírico” y “lo metafísico” (denostando al segundo y promoviendo al primero), que tuvo su correlato científico en la necesidad de manipular y controlar, de algún modo, “lo empírico”. Así, continuando esta tradición, los “hechos del mundo” debían ser detectados, registrados y regularizados. Es en este contexto, que el experimento se presentó como una herramienta indispensable para todas las disciplinas y subdisciplinas dedicadas al estudio de la naturaleza. De este modo, la experimentación era implementada bajo el objetivo de la búsqueda de la “verdad”, logrando ajustarse así a algunos de los lineamientos del empirismo lógico.

Esta presencia tan marcada del empirismo lógico dentro de la actividad académica fue objeto de numerosas y diversas críticas al seno de la propia filosofía, pero sus influencias continuaron de un modo notorio en las ciencias naturales y, en particular, en la biología. Entre los aspectos que pueden considerarse como provenientes de dicha influencia aparece, entre otros, el elogio del experimento como vía metodológica preferencial. Numerosos ejemplos pueden señalarse al respecto. Por ejemplo, cabe la mención de uno de los que ha ocupado mayor cantidad de páginas tanto desde la biología como desde la filosofía de la ciencia: la injerencia de lo metodológico en la relación entre microevolución y macroevolución. Al respecto, fue señalada durante la segunda mitad del siglo XX la “imposibilidad” de la paleontología de presentar mecanismos evolutivos en contraposición a otras subdisciplinas tales como la genética de poblaciones (*cf.*, *e.g.*, Bock 1970; Futuyma 1998). Según esta perspectiva, los estudios que no cumplan dicho requisito metodológico serían insuficientes para reconocer los mecanismos que den cuenta de los fenómenos asociados a la vida en diacronía. De este modo, el experimento ofrecía características anheladas como la repetibilidad, imposible de realizar en sistemas de cierta complejidad o en disciplinas como la paleontología. Más aún, dicha característica fue esgrimida como uno de los requisitos indispensables para la obtención de los mecanismos evolutivos, pieza teórica fundamental a los fines de obtener el carácter de científicidad tanpreciado para los partidarios de la síntesis biológica. Dentro del ámbito evolutivo, algunos de estos elementos comenzaron a ser revisados de manera parcial y fragmentada a partir de la década de 1970 (para profundizar en estos aspectos, *cf.* Mellender de Araújo 2006).

Si bien el área evolutiva ha sido una de las más analizadas respecto al rol epistémico que ha cumplido el experimento, una situación similar puede rastrearse en diferentes disciplinas asociadas al estudio de lo viviente. Sin duda una de las áreas en las que lo experimental ha cumplido roles epistémico sumamente significativos ha sido la ecología<sup>5</sup>. Durante el siglo XX, esta área del saber se ha centrado *grosso modo* en la indagación de las interacciones entre los organismos y su ambiente (Begon et ál. 1999, 4). A su vez, en las últimas décadas, ha sufrido un fuerte desarrollo teórico y metodológico, acompañado de una notable proliferación de diferentes subáreas.

En el presente trabajo analizaremos la caracterización de la experimentación y su rol epistémico dentro de la ecología y en particular, en una de sus áreas, la denominada ecología del paisaje. Dicho análisis transitará el periodo comprendido entre la década de 1930 hasta la actualidad. Nuestra hipótesis principal es que durante la década de 1980 se reconoce una fuerte discontinuidad tanto en la caracterización de la metodología experimental como en sus implicaciones epistémicas. En relación a ello, se señala desde entonces un desplazamiento del experimento controlado (o manipulativo), en el ámbito de las investigaciones ecológicas conducidas sobre grandes dimensiones físicas; siendo reemplazado por el denominado experimento observacional (o mensurativo), el cual ocupó un “rol” central en estas investigaciones. A su vez, entre las implicaciones epistémicas, este desplazamiento tuvo asociado la dificultad de dar cuenta de las causas de los fenómenos indagados<sup>6</sup>.

Con el fin de analizar la problemática mencionada, el trabajo está subdividido en diferentes secciones. En la siguiente sección, es presentado el modo en que es caracterizada la experimentación en la propuesta del empirismo lógico. En la tercera sección se hace mención sobre el modo en que es incorporado el experimento a la ecología a partir de la década de 1930. En la cuarta, son distinguidos dos enfoques experimentales dentro de la ecología: el experimento controlado y el experimento observacional. La quinta sección presenta dos aspectos de relevancia para la argumentación general del trabajo: por un lado, es señalado brevemente un aspecto central de la denominada “crisis

---

5. Por ecología, ecología científica o ecología disciplinar nos referimos a una de las áreas de la biología.

6. Por simplicidad, utilizamos la expresión “causa” en un sentido amplio. No se pretende indagar acerca de la distinción entre “causa” y “leyes causales”, como tampoco indagar sobre las distintas leyes conocidas (*e.g.* leyes estadísticas, de desarrollo, etc.). Por el contrario, se pretende solo vincular el experimento controlado y la posibilidad que ofrece acerca del control de los eventos y el establecimiento de causas. En este sentido, resulta interesante destacar que el experimento puede ser empleado como un modo de acceder (a través de una sucesión de ensayos) a las causas de los fenómenos estudiados. A la vez, puede tener un “carácter de tanteo”, en la medida que deja decidir sobre un conjunto de hipótesis alternativas (Boido, 1998, 310; Martínez 1995, 14-15).

ambiental” y la influencia que tuvo en la ecología disciplinar; y por otro, es analizado críticamente la aplicabilidad del experimento controlado en un área de la ecología (la ecología del paisaje). Finalmente, son ofrecidas algunas reflexiones y perspectivas generales.

## 2. EL MÉTODO EXPERIMENTAL Y EL EMPIRISMO LÓGICO

Tal como se ha adelantado, en una primera aproximación puede señalarse que gran parte de los supuestos que han guiado las prácticas de las disciplinas correspondientes a las ciencias naturales durante el siglo XX tienen un origen embebido en la tradición del empirismo lógico. Para analizar la relación entre la experimentación y el empirismo lógico nos limitaremos al análisis del manifiesto que se presentó en 1929, titulado: “Wissenschaftliche Weltauffassung, Der Wiener Kreis” (El punto de vista científico del Círculo de Viena), escrito por Rudolf Carnap, Otto Neurath y Hans Hahn. En este manifiesto se señalaban los “principales” problemas filosóficos de la matemática, la física, la biología, la psicología y las ciencias sociales (Ayer [1959] 1993, 10).

Una de las características más salientes de este movimiento fue el de sostener un pensamiento fuertemente empirista, el cual era caracterizado como opuesto al “metafísico”. Una ciencia sería propiamente empírica en la medida en que pudiera fundamentar el conocimiento obtenido mediante la experiencia, es decir, reconociendo que “en la base del conocimiento” se encuentran los datos empíricos (Klimovsky [1994] 2001, 125). De aquí que las operaciones prácticas como registrar, medir, describir, clasificar, inventariar o experimentar, permitirían operativizar al empirismo, en la medida que capturan, detectan o registran los fenómenos. En particular, tal como fue adelantado, uno de los elementos metodológicos asociados a la constitución de la cientificidad es el experimento. Al respecto, en el manifiesto de la década de 1929 se puede leer: “. . . la concepción científica . . . ésta presente en la investigación de todos los campos de la ciencia experimental” (Neurath et ál. [1929] 1995, 2). O bien: “Sólo la continua investigación de la ciencia experimental puede enseñarnos en qué grado el mundo es regular” (Neurath et ál. [1929] 1995, 9). Este “rol” central del experimento controlado se debió (en parte) a que agrega, a la detección de los fenómenos, el control de las variables bajo estudio: “Experimental research is commonly held up as the paradigm of «good» science. Although experiment plays many roles in science, its classical role is testing hypotheses in controlled laboratory settings” (Cleland 2002, 474).

Hasta aquí hemos podido reconocer la relevancia de la aproximación experimental dentro del empirismo lógico. En la siguiente sección analizaremos cómo incidió el elogio de lo experimental en la ecología (en tanto disciplina científica) durante el siglo XX.

### **3. EL MÉTODO EXPERIMENTAL EN LA ECOLOGÍA DISCIPLINAR: ENTRE 1930 Y 1980**

Iniciado el siglo XX la ecología, como ámbito disciplinar de la biología, comenzó a incorporar dentro de su metodología a los experimentos a partir de las influencias dadas por el empirismo lógico (Lodge et ál. 1998, 218). Desde entonces, es posible reconocer a grandes rasgos tres etapas diferentes en cuanto a la caracterización de la metodología.

En el primer período, comprendido entre 1930 y 1950, tienen lugar una serie de experimentos considerados por algunos autores como los primeros de la disciplina (Hairston 1989, 56; Krebs 1988, 143). Generalmente se reconoce que estos primeros ensayos fueron realizados por el soviético Georgii Frantsevich Gause, quien supo formular la ley de exclusión competitiva basándose en los resultados de dichos experimentos (Lawton 1995, 328). Los mismos fueron posibles a partir de la cría de dos especies de paramecios en el contexto del laboratorio (*Paramecium aurelia* y *Paramecium caudatum*). A grandes rasgos, eran tres las metas de estos primeros ensayos: determinar el crecimiento poblacional de una especie según la disponibilidad de alimento, detectar los efectos de la competencia entre dos especies, y estudiar la relación entre su predador y su presa en el tiempo (Dajoz 2002, 175; Mcintosh [1985] 1995, 174-175).

La segunda etapa la podemos datar entre las décadas de 1950 y 1980. Es aquí cuando la ecología comenzó a integrarse al proyecto del empirismo lógico, en la medida en que incorporaba el experimento como una herramienta metodológica fundamental en las investigaciones de la disciplina a la vez, se aproximaba al modelo de ciencia “dura” heredado de la física (Núñez et ál. 2008, 15-16; Núñez 2008, 42-43; De Laplante 2004, 11). Algunos autores sugieren que esta implementación del experimento es lo que permitió la “maduración” de la ecología. Por ejemplo, según Kingsland, “The origins of ecology as a science began with the application of experimental and mathematical methods to the analysis of organism-environment relations, community structure and succession, and population dynamics” (1991, 1). A su vez, Rosenzweig en 1976 mencionaba: “. . . as sciences mature they develop a hypothetico-deductive philosophy. They progress by generating hypotheses and disproving them

in controlled experiments. It is my opinion that such a maturation is now underway in ecology” (citado en McIntosh 1982, 3). A la vez que se reconocía el rol general de la experimentación en la ecología, fueron presentados los primeros diseños experimentales conducidos a campo (Hairston 1989, 56; Krebs 1988, 143). En dichos experimentos se consideraban (en general) dos sitios de muestreo (*e.g.*, dos lagos) (*cf.* Hasler et ál. 1951). Mientras uno de los sitios era considerado como “control”, al otro se le aplicaba algún tratamiento. Posteriormente, se comparaban ambos sitios en busca de alguna diferencia significativa. En caso de que efectivamente se la registrara, el investigador se encontraba en condiciones de asociar el cambio detectado con el tratamiento implementado. Siguiendo esta tendencia, George Edward Pelham Box y George C. Tiao, en 1965 y en 1975, desarrollaron otro diseño experimental denominado “Before-After”, donde se registraban los datos de un solo sitio, antes y después de un impacto ambiental o de una perturbación no controlada. En estos casos se comparaban los datos que habían sido tomados antes de la perturbación contra los datos recogidos después de la misma. Sin embargo, cabe señalar que en estos diseños no se contemplaba ningún control. Fue Roger Harrison Green, alrededor de 1980, quien intento resolver dicho inconveniente con un nuevo diseño, conocido como: “Before-After-Control-Impact”. En este caso se consideraban muestras de dos sitios diferentes (uno de los cuales era el control) antes y después del impacto (o de la perturbación) (Miao et ál. 2009, 6). Este último diseño contemplaba no solo el seguimiento de un sitio antes y después de una perturbación, sino que permitió también su comparación con un sitio control. Finalmente, la tercera y última etapa puede reconocerse desde la década de 1980 hasta la actualidad. En ésta se alertaba sobre las diferencias de dos enfoques experimentales: el experimento manipulativo (o controlado) y el experimento mensurativo (u observacional)<sup>7</sup>. En la próxima sección, desarrollamos ambos enfoques destacando en qué se complementan, en qué difieren y cuáles son algunas de las implicaciones epistemológicas que sobrevienen de su aplicación.

---

7. En el presente trabajo nos limitaremos a analizar la primera gran división (manipulativo-mensurativo). Sin embargo, para una profundización del tema, *cf.* Eberhardt & Thomas (1991). Aquí los autores reconocen ocho diseños experimentales distintos. Por un lado, aquellos donde interviene el investigador: experimento con replicas; sin replicas y “modelización” y por otro, aquellos donde el investigador no interviene: análisis de intervención; estudios observacionales; estudios analíticos; estudios descriptivos y por último, análisis de patrones.

## **4. LA RUPTURA DE LA DÉCADA DE 1980: EL EXPERIMENTO MANIPULATIVO Y EL EXPERIMENTO MENSURATIVO EN LA ECOLOGÍA**

### **4.1. Diferencias entre el enfoque manipulativo y mensurativo**

El experimento en ecología contiene una serie de características “deseables” las cuales fueron detalladas en un artículo de gran importancia para la disciplina: “Pseudoreplication and the design of ecological field experiments”, presentado por Stuart Hurlbert en 1984. En este trabajo se señala:

A full description of the objectives of an experiment should specify the nature of the experimental units to be employed, the number and kinds of treatments (including “control” treatments) to be imposed, and the properties or responses (of the experimental units) that will be measured. Once these have been decided upon, the design of an experiment specifies the manner in which treatments are assigned to the available experimental units, the number of experimental units (replicates) receiving each treatment, the physical arrangement of the experimental units, and often, the temporal sequence in which treatments are applied to and measurements made on the different experimental units (Hurlbert 1984, 188).

Según Hurlbert, con el fin de realizar un experimento controlado, entre otros requisitos se debe poder definir la unidad experimental, determinar el número necesario de éstas (las réplicas), decidir el número de tratamientos (entre ellos el control), decidir la/s variable/s explicativa/s y la variable explicada. Así, a la vez que se presentaban las condiciones necesarias que un experimento controlado debería cumplir, eran excluidos los diseños experimentales que no contemplaban esos elementos. Por ejemplo, Hurlbert critica los diseños “Before–After–Control–Impact”, los cuales carecían de réplicas independientes (Miao et ál. 2009 6). Fue a partir del artículo de Hurlbert que se distinguiría, muy a grandes rasgos, las diferencias entre dos enfoques experimentales usualmente utilizados en la ecología: los experimentos mensurativos (u observacionales) de los experimentos manipulativos (o experimentos controlados):

Two classes of experiments may be distinguished: mensurative and manipulative. Mensurative experiments involve only the making of measurements at one or more points in space or time; space or time is the only “experimental” variable or “treatment.” Tests of significance may or may not be called for. Mensurative experiments usually do not involve the imposition by the experimenter of some external factor(s) on experimental units. If they do involve such an imposition, . . . all experimental units are “treated” “identically”. (Hurlbert 1984, 189)

En cuanto al experimento manipulativo Hurlbert agregaba:

Whereas a mensurative experiment may consist of a single treatment, a manipulative experiment always involves two or more treatments, and has as its goal the making of one or more comparisons. The defining feature of a manipulative experiment is that the different experimental units receive different treatments and that the assignment of treatments to experimental units is or can be randomized (Hurlbert 1984, 190).

Así, las diferencias señaladas entre el experimento manipulativo y el mensurativo en la ecología, descansaba sobre la idea de que el primero permitía controlar un fenómeno (o un evento), mientras que el segundo permitía, más bien, controlar los procesos de observación (Eberhardt & Thomas 1991, 54).

## 4.2. Implicaciones epistemológicas de los enfoques experimentales

Resulta interesante analizar algunas de las implicaciones epistémicas de las dos aproximaciones presentadas. Para ello, veamos previamente en qué sentido se suelen entender los conceptos de “patrón”, “proceso” y “mecanismo” desde la ecología:

- **Patrón:** eventos repetidos, entidades recurrentes, relaciones replicadas o trayectorias regulares e irregulares registradas en espacio y tiempo (adaptado de Pickett et ál. 2007, 69; Marone & Bunge 1998, 35).
- **Proceso**<sup>8</sup>: conjunto de fenómenos en donde los acontecimientos se suceden en el espacio y en el tiempo. Estos fenómenos pueden estar o no relacionados causalmente (por fenómeno entendemos: cualquier evento, suceso, entidad o relación de interés para el ecólogo) (adaptado de Pickett et ál. 2007, 69; Marone & Bunge 1998, 35).
- **Mecanismo:** tipo especial de proceso en donde un conjunto de causas que refieren a una interacción directa se traduce en un fenómeno (adaptado de Pickett et ál. 2007, 69; Marone & Bunge 1998, 35).

En las caracterizaciones anteriores se puede notar que es el mecanismo (y no el proceso) el que remite propiamente a las causas que darían cuenta de los fenómenos ecológicos indagados. Ahora bien, si consideramos las definiciones mencionadas en relación con los dos enfoques presentados (manipulativo y

---

8. La distinción entre patrón y proceso no está siempre del todo clarificada. En principio, aquello que se considera como proceso a un nivel dado (ej. el proceso de extinción de la sp.1) puede resultar en un patrón a otro nivel (ej. un cambio de abundancia en la sp.1 de n a 0) (cf. Wiens 1989, 20).

mensurativo), resulta claro que el experimento controlado permite “fijar” relaciones entre dos fenómenos distintos en tanto y en cuanto, logra reproducir un fenómeno (o un evento) de interés para obtener otro (Nagel [1961] 2006, 111). Es decir, el experimento controlado “ofrece” la posibilidad de reproducir un presunto mecanismo, manipularlo y de ahí, estudiarlo. Tal manipulación permite establecer relaciones causales entre las unidades tratadas y los tratamientos, es decir, admite la “detección” de forma inequívoca del efecto que tienen los tratamientos sobre las unidades experimentales (Peters 1993, 137). En cambio, en el caso del experimento mensurativo no hay una manipulación de los fenómenos y mucho menos una reproducción de los mismos. Más aún, el investigador no interviene “imponiendo” tratamientos (Peters 1993, 140). Es por ello que en el experimento mensurativo resulta imposible analizar, descomponer o sondear un mecanismo para conocerlo. Y aun cuando en algunos diseños (generalmente conducidos a campo) se incluye algún tipo de tratamiento que implica alguna manipulación (*e.g.*, experimento comparativos mensurativos), 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 (o de un evento):

We can call this a comparative mensurative experiment. Though we use two isobaths (or “treatments”) and a significance test, we still have not performed a true or manipulative experiment. We are simply measuring a property of the system at two points within it and asking whether there is a real difference (“treatment effect”) between them” (Hurlbert 1984, 189).

De este modo, desde la postura dominante dentro de la ecología, por medio del experimento mensurativo se intenta, en general, registrar patrones fenoménicos desde los cuales podría inferirse (y no reproducirse) el/los mecanismos o procesos actuantes. Ahora bien, es importante reconocer que la imposibilidad de manipular un mecanismo no inhabilita su postulación hipotética y posterior corroboración mediante la observación. Es decir, nada impide que se postulen hipótesis referidas a mecanismos (o procesos) ecológicos que luego son puestos a prueba por medio de un experimento mensurativo (u observación controlada).

En este punto, se debe reconocer que desde una perspectiva epistemológica, hay una diferencia cualitativa entre los enfoques señalados. Mientras el experimento manipulativo permitiría elegir entre hipótesis alternativas y profundizar sobre las causas (reproduciendo, estabilizando y manipulando presuntos mecanismos), el experimento mensurativo sólo admitiría la elección

entre hipótesis competidoras (se traten estas de hipótesis referidas a mecanismos, procesos o patrones). Es decir, la continua aplicación del experimento mensurativo, en el proceso de descubrimiento, no aseguraría el establecimiento de las causas, en la medida en que no permite manipular un fenómeno para obtener otro. De aquí que, al comparar ambos enfoques (manipulativos y mensurativos), Eberhardt & Thomas mencionan: “In many respects, the same formal mathematical procedures might be employed, but the two approaches differ markedly in the relative strengths of inferences as to cause and effect” (1991, 54). Por lo demás, el reemplazo del experimento manipulativo por un enfoque mensurativo (tema que justamente abordaremos en la quinta sección), implicaría por los motivos recién expuestos, la dificultad de “profundizar” en las causas de los fenómenos indagados.

### **4.3. Los enfoques manipulativo y mensurativo como complementarios**

Acabamos de señalar cómo, desde la posición hegemónica de la ecología, las propias características del experimento manipulativo dan lugar al sondeo de mecanismos, al garantizar la reproducción de un fenómeno o un evento en condiciones controladas. O dicho de otra manera, el experimento controlado da lugar al análisis de las causas que se traducen en un fenómeno. Con todo, el experimento manipulativo llevado a cabo en el campo (y no en el laboratorio) encontró importantes dificultades en su aplicación:

Aunque es cierto que la experimentación es una de las avenidas más efectivas para establecer relaciones de causalidad, no está del todo exenta de problemas en su aplicación del mundo real. Las interacciones indirectas y el mutualismo competitivo dificultan el esclarecimiento de relaciones causales (Jaksic & Marone 2007, 246).

Una diferencia que se supone entre la experimentación controlada en el laboratorio y en el campo, es que en el primero “todas” las variables pueden ser controladas<sup>9</sup>, mientras que en los experimentos manipulativos a campo se señala su imposibilidad:

Field experiments show the manipulate factor may have its presumed effect in a more natural setting, despite the uncontrolled variations of other factors, but these results are suspect because uncontrolled variations may induce chance

---

9. En relación al control de las variables en el laboratorio Peters (1993, 137) señala la posibilidad de identificar hasta un solo factor entre un conjunto de variables que permanece constante. De aquí que dichos experimentos sea especialmente útiles en la detección de diversas vías causales.

colinearities and erroneous attribution of the significance. Since there is an infinite number of factors and variables in field experiments, such experiments always risk confounding the manipulation with some correlate (Peters 1993, 138).

Según esta posición, el experimento controlado en el campo encuentra dificultades adicionales (en comparación con su aplicación en el laboratorio) respecto del esclarecimiento de relaciones causales. A ello, se le agregó que la constatación de cierto mecanismo detectado en el contexto del laboratorio no implica, por sí solo, que él mismo actúe efectivamente en la naturaleza (Jaksic & Marone 2007, 255). Por lo mencionado es que se acepta cierta relación de complementariedad entre ambos enfoques (Lodge et ál. 1998, 219). Es decir, se puede considerar un experimento mensurativo a campo donde, por ejemplo, se busca establecer una correlación entre dos variables. Posteriormente, se ensayan experimentos manipulativos en el laboratorio (o en el campo) para intentar “acceder” a los posibles mecanismos involucrados (en caso de que los hubiera) (Smith & Smith 2001, 7-8; Peters 1993, 140).

Revisado brevemente los dos enfoques que han caracterizado a la experimentación en la ecología a partir de la década de 1980, en la siguiente sección indagaremos el modo en que irrumpió la problemática ambiental en el seno de esta disciplina.

## **5. LA CRISIS AMBIENTAL, LA ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y EL EXPERIMENTO MANIPULATIVO**

### **5.1. La ecología disciplinar y el aspecto “global” de la crisis ambiental**

En un periodo de tiempo relativamente corto (que comprende desde 1960 a 1980, aproximadamente) el “mensaje ecologista” que alertó acerca de la degradación ambiental, alcanzó distintos sectores de las sociedades industrializadas (científicos, académicos, empresariales, Estados, etc.). Esta toma de conciencia “setentista”, a pesar de la diversidad en sus diferentes vertientes, confluiría en la idea de que las acciones humanas devastan el planeta en toda su globalidad: “. . . existe una jerarquía de problemas ambientales que ejercen influencia a nivel planetario, regional y local” (Cornejo et ál. 2001, 111). Así, un aspecto común de las sociedades industrializadas será su capacidad de degradar la naturaleza a escalas espaciales nunca antes concebidas (di Pasquo et ál. 2011, 28-29; Parry et ál. 2007, 8-9; Bramwell 1992 [1989], 4).

Ahora bien, ¿de qué modo la problemática ambiental pudo afectar la aplicabilidad del experimento controlado en la ecología disciplinar? Aceptada la idea de que los problemas ambientales pueden descansar sobre grandes extensiones geográficas, es relativamente sencillo entender dicha conexión. Es decir, a la ecología se le “introduce” el inconveniente de atender fenómenos que “actúan” sobre amplias escalas espaciales. En efecto, mucho autores del ámbito de la ecología disciplinar coinciden en que la atención sobre dichos fenómenos se debe principalmente, a la relevancia que han tomado los problemas ambientales (Odum y Barrett 2008 9; Smith et ál. 2008 116; Neilson 2005 167-168; Turner 2005 1968; Burel y Baudry 2004[1999] 12; Naveh y Liberman, 2001[1984] 33-34; Turner et ál. 2001 7). De este modo, a la ecología se le presentó un nuevo desafío que se sumaba a la mencionada dificultad de la implementación del experimento manipulativo en el campo: los problemas de la implementación del experimento manipulativo sobre grandes regiones geográficas<sup>10</sup>. Dicho obstáculo se ha puesto en evidencia, sobre todo, en aquellas áreas de la ecología que se caracterizan por abordar investigaciones en escalas espaciales amplias. Este es el caso de la ecología del paisaje (Ver: Andersen 2008 o Mcgarigal y Cushman 2002). A continuación, indagamos el eje central de la tesis propuesta: la insuficiencia del experimento manipulativo en el contexto de esta subdisciplina de la ecología.

## 5.2. El experimento manipulativo y la ecología del paisaje

Tal como mencionamos en las secciones anteriores, a pesar de las dificultades señaladas, el experimento manipulativo adquirió cierto “privilegio” en comparación al mensurativo, en la medida en que permitía “profundizar” sobre las causas que se “traducen” en los fenómeno indagados. Sin embargo, con la consolidación disciplinar de la ecología del paisaje<sup>11</sup> entre 1970 y 1980, y de las investigaciones conducidas sobre grandes extensiones geográficas (di Pasquo et ál. 2011, 24), el experimento manipulativo se mostró insuficiente y, en algunos casos, directamente inviable<sup>12</sup>.

10. La escala espacial es la dimensión física del área geográfica. En este sentido, entendemos que un área geográfica “amplia” se corresponde con una escala espacial “amplia”.

11. En general, el paisaje fue entendido como: “A mix of local ecosystem or land use types is repeated over the land forming a landscape, which is the basic element in a region at the next broader scale . . .” (Forman 1995, 134). Otras definiciones agregaron que el paisaje se caracterizó fundamentalmente por la heterogeneidad espacial. Ello se debió, principalmente, a que el paisaje se representó como un conjunto de elementos, más o menos fragmentados. Véase Burel & Baudry ([1999] 2004, 43).

12. Resulta interesante destacar que la extensión de un paisaje puede variar entre 10 y 100 Km<sup>2</sup> aproximadamente, mientras que una región está formada por una combinación de paisajes. Véase Bailey (2009, 27) y Matteucci (1998, 228).

En un trabajo titulado “Research in the journal *Landscape Ecology*, 1987–2005” (2008), Barbara Andersen realizó una revisión de los artículos publicados en la revista *Landscape ecology* (que comprende desde el 1° volumen publicado en 1987 hasta la publicación del volumen número 20 en el 2005). La autora analizó el porcentaje de investigaciones que descansaron sobre escalas amplias (más de 100km<sup>2</sup>) y el uso del experimento manipulativo en esos trabajos. En términos generales, sus resultados indicaron que en el período que comprende entre 1987 y 1997, el 40% de las investigaciones fueron realizadas sobre escalas amplias, mientras que menos del 1% realizó experimentos controlados (o manipulativos). A su vez, en los trabajos publicados entre 1998 y 2005, se observó que más del 65% de las investigaciones se condujeron sobre escalas gruesas mientras que en menos del 10% de éstas se realizaron estudios experimentales. En palabras de la autora:

There was a modest increase in papers addressing sociological subjects, a more spread out distribution of study scales, more use of descriptive, methodological and GIS approaches, and more employment of mathematical and statistical approaches. The lack of experimental studies continued through Volume 20 (Andersen 2008, 129).

En otro trabajo titulado “Comparative evaluation of experimental approaches to the Study of habitat fragmentation effects”, los autores Kevin McGarigal y Samuel Cushman mencionan:

Our task was to review recent fragmentation literature to provide feedback to researchers on the effectiveness of recent fragmentation field research, and to provide suggestions to strengthen it. We reviewed a total of 134 papers on habitat fragmentation published in the journals *Conservation Biology*, *Landscape Ecology*, and *Ecological Applications* from January 1995 through January 2000. . . . Furthermore, >75% of the experiments were mensurative in design; only 13 studies used manipulative treatments. . . . These results indicate that many researchers are using experimental approaches to study fragmentation, but few are using manipulative designs that lead to the strongest inferences, highlighting the difficulties of conducting manipulative experiments as described earlier (McGarigal & Cushman 2002, 339).

A su vez, destacan:

In addition to difficulties related to control and replication, there are other important limitations related to issues of scale. There are practical limits to the area that can be manipulated in field experiments. This disqualifies many important large-scale phenomena from manipulative experiments. Also, at

large scales there is a decided limit to the range of manipulations and controls that can be utilized. (McGarigal & Cushman 2002, 338).

Según esta posición, a la dificultad de controlar y replicar un evento se le agrega la limitación práctica de poder manipularlo, cuando este descansa sobre un área grande (es decir, sobre una dimensiones físicas amplias). Otros autores se han referido al experimento manipulativo (en el contexto de la ecología del paisaje) para señalar su insuficiencia. Por ejemplo:

We question whether classical experimentation is adequate for real progress in landscape or regional ecology. One cannot do classical experimentation unless one can replicate the treatment. There is conflict between the need to replicate and the need to study processes at appropriately large scales. Because of the difficulties in doing controlled field experiments at regional scales, we propose that landscape ecologists take greater advantage of natural field experiments [or mensurative experiments] (Hargrove & Pickering 1992, 251).

Contrariamente, el experimento mensurativo se ha visto “favorecido” en el contexto de la ecología del paisaje. De aquí, que puede reconocerse claramente lo mencionado: el experimento mensurativo ocupó un “rol” central en aquellas investigaciones conducidas sobre dimensiones físicas amplias:

Mensurative experiments offer a means of overcoming some of the important limitations that we have discussed for manipulative experiments. Most importantly, the practical and logistical difficulties of implementing large-scale treatments are avoided altogether. . . . Mensurative experiments have the highest realism and generality, because they are applied to unmanipulated, real-world systems. For many fragmentation questions, due to issues of scale and scope, mensurative experiments are the only feasible approach (Mcgarigal & Cushman 2002, 338-339).

En una primera aproximación a las referencias citadas, se puede reconocer la siguiente posición: la imposibilidad de manipular la naturaleza crece en la medida en que aumenta la escala espacial analizada (Odum & Barrett 2008, 488). En relación con ello, entendemos que la evidencia presentada permite sostener el abandono del experimento controlado en el contexto de las investigaciones conducidas sobre amplias escalas espaciales, tal como en el caso de la ecología del paisaje. A la vez, el experimento mensurativo ha sido (al menos en parte) una solución metodológica “realista” para aquellas áreas de la ecología que involucran un amplio espectro de escalas espaciales, entre estas, las correspondientes con dimensiones físicas grandes. Asimismo, el reemplazo del experimento manipulativo por el mensurativo conllevó a la idea de una

dificultad en cuanto a la sondeo de las causas de los fenómenos ecológicos indagados.

## 6. DISCUSIÓN

Luego del recorrido trazado, resulta oportuno volver a la hipótesis sugerida en la primera sección, en la cual se reconocía una “fractura” durante la década de 1980 en cuanto a la conceptualización del experimento en la ecología y de la caracterización de sus implicaciones epistémicas. Ahora bien, volvamos sobre dicha discontinuidad y analicemos más cuidadosamente tanto su naturaleza como algunas de sus consecuencias en la actualidad. Recordemos que entre las décadas de 1930 y 1980, el experimento fue un elemento metodológico fuertemente “anhelado” y la “intención” por parte de aquellos científicos fue incorporarlo, en el ámbito disciplinar de la ecología. Posteriormente, para mediados de 1980, fueron reconocidas las diferencias entre dos enfoques experimentales, desarrollados dentro de la disciplina: el enfoque manipulativo (o experimento controlado) y el enfoque mensurativo. Éste último ocuparía un “rol” secundario hasta finales de la misma década, cuando comenzaba a reconocerse que un experimento, entendido en un sentido estricto (el cual supone el control y la manipulación de un fenómeno) resultaba impracticable en aquellas investigaciones realizadas sobre regiones geográficas grandes.

Las transformaciones que hemos señalado durante la década de 1980 no implicaron alteraciones únicamente al seno de la ecología disciplinar. Por el contrario, el quiebre sugerido se opone, confronta y objeta fuertemente con aquella tendencia iniciada a comienzos del siglo XX, dada por el empirismo lógico<sup>13</sup>, en la cual el experimento (entendido en un sentido estricto) permitía operativizar dicha filosofía, constituyéndose como una herramienta esencial para toda disciplina que fuese considerada empírica. En este sentido, en el ámbito de la ecología, la aproximación experimental había “acercado” a la disciplina a los estándares de “cientificidad” impuestos para las ciencias denominadas “duras”. Sin embargo, a partir del quiebre mencionado, la ecología del paisaje (una importante área del conocimiento de la ecología) se alejó de aquellos estándares de “cientificidad” al reconocer que el experimento controlado resultaba insuficiente e impracticable en aquellas investigaciones

---

13. En relación con la ruptura de otros aspectos epistemológicos de la ecología con el empirismo lógico ver Quenette & Gerard (1993, 361).

conducidas sobre escalas espaciales amplias<sup>14</sup>. A su vez, este recorrido subdisciplinar la diferenció fuertemente de las clásicas áreas de la ecología (*e.g.*, ecología del comportamiento, ecología de poblaciones, ecología de comunidades y ecología de ecosistemas) las cuales descansaron (y aún lo hacen) sobre el experimento manipulativo o bien, sobre la posición que propugna por una complementariedad de ambos enfoques “ubicando” el enfoque mensurativo en un lugar secundario. Contrariamente, en el caso de la ecología del paisaje, el experimento mensurativo ocupó un lugar central. Y ello se realizó a pesar de la adjudicación de dos elementos negativos, señalados por la corriente de pensamiento dominante dentro de la ecología. El primero, es que el experimento mensurativo pareció vincularse más con un muestreo o una observación sistemática de la naturaleza, que con un experimento en un sentido estricto (Eberhardt & Thomas 1991, 54), tal como habría sido concebido por el empirismo lógico. El segundo, es que el reemplazo del experimento manipulativo por el mensurativo, estuvo acompañado de consecuencias epistémicamente negativas. De este modo, se señaló que los experimentos mensurativos no podían sondear o bien profundizar en los mecanismos ecológicos actuantes. En tanto y en cuanto no permiten su reproducción y su “desintegración”, en condiciones controladas. De aquí, que el enfoque mensurativo no logre dar lugar al análisis de las causas que se traducen en los fenómenos indagados.

Ahora bien, ¿cómo se comprende que una disciplina del ámbito de las ciencias “duras” concediera (en algunas de sus áreas<sup>15</sup>) el desplazamiento del experimento controlado? Al respecto, dos motivos no excluyentes que dan cuenta de este singular proceso pueden ser sugeridos. El primero, se encuentra vinculado a la dinámica “interna” de la propia disciplina. Las transformaciones sugeridas sobre la dimensión metodológica parecen haber estado íntimamente relacionadas con la propia dimensión teórica de la ecología disciplinar. Así, puede reconocerse al seno de la disciplina que desde fines de 1970 y comienzos de 1980 emergen tanto la noción de escala (espacial y temporal) como la denominada teoría jerárquica (Schneider 2001, 552). A partir de la incorporación de estas estrategias teóricas, se establece la idea de que los fenómenos ecológicos operan dentro de un rango de escalas espacio-temporales (Burel & Baudry [1999] 2004, 81-82; Turner et ál. 2001, 36-37). De aquí en adelante, los fenómenos ecológicos deberán ser indagados en la dimen-

---

14. La ecología del paisaje trabaja sobre una multiplicidad de escalas espaciales. En este sentido, el abandono del enfoque manipulativo se vincula únicamente con las investigaciones conducidas sobre grandes dimensiones físicas.

15. La macroecología es otra de las áreas de la ecología en las cuales pareciera que también se ha optado por el experimento mensurativo (Brown 2003 [1995]).

siones físicas sobre las cuales actúan con mayor preponderancia (sean escalas pequeñas o amplias) (Delcourt et ál. 1988, 25). Es en este contexto, que puede comprenderse el lugar central de los experimentos mensurativos. Mientras los experimentos manipulativos permanecieron vinculados a las dimensiones físicas más pequeñas (dado que el control experimental es factible), los experimentos mensurativos se afianzaron sobre las dimensiones físicas más grandes. El segundo motivo, más bien “externo” a la disciplina, parece relacionarse con la propia crisis ambiental. Muchas veces los impactos ambientales tienen lugar sobre amplias regiones geográficas, por lo que se le planteó a la ecología el nuevo desafío de “atender” a fenómenos que descansan sobre escalas espaciales amplias (Odum & Barrett 2008, 9; Smith et ál. 2008, 116; Neilson 2005, 167-168; Turner 2005, 1968; Burel & Baudry [1999] 2004, 12). Es decir, la crisis ambiental, demandó en la ecología soluciones teórico-metodológicas que pudieran aplicarse sobre grandes extensiones geográficas. En este sentido, la ruptura señalada no sólo es relevante a la comprensión del devenir de la propia disciplina (así como en los distintos enfoques experimentales ensayados, adoptados y descartados por la misma) sino también, en el propio discernimiento de que dicha ruptura “encontró su momento” durante la crisis ambiental. De ahí que una línea de investigación que resulta significativa para ser abordada en próximos trabajos, es la de indagar los modos en que la problemática ambiental se ha relacionado con la disciplina a través de la historia; más allá de un primer reconocimiento trivial de las posibles soluciones (técnicas) desarrolladas en el seno de la ecología y transferidas posteriormente al ámbito de lo ambiental.

## TRABAJOS CITADOS

- Andersen, Barbara J. “Research in the journal *Landscape Ecology*, 1987–2005”. *Landscape Ecol.* 23 (2008): 129-134.
- Ayer, Alfred J. *El Positivismo Lógico*. Madrid: Fondo de Cultura Económica, [1959] 1993.
- Bailey, Robert G. *Ecosystem Geography. From Ecoregions to Sites*. London: Springer New York, 2009.
- Bock, Walter J. “Microevolutionary sequences as a fundamental concept in macroevolution”. *Evolution* 24 (1970): 704-722.
- Boido, Guillermo. *Noticias del planeta Tierra. Galileo Galilei y la revolución científica*. Buenos Aires: AZ editorial, 1998.

- Box, George E. P. & Tiao, George C. "A change in level of a nonstationary time series". *Biometrika* 52 (1965): 181-192.
- Box, George E. P. & Tiao, George C. "Intervention analysis with applications to economic and environmental problems". *Journal of the American Statistical Association* 70 (1975): 70-79.
- Bramwell, Anna. *Ecology in the twentieth century: a history*. New Haven & London: Yale University Press, [1989] 1992.
- Brown, James H. *Macroecología*. México: Fondo de Cultura Económica, [1995] 2003.
- Burel, Françoise & Baudry, Jacques. *Landscape Ecology Concepts, Methods and Applications*. United States of America: Science Publishers, [1999] 2004.
- Cleland, Carol E. "Methodological and Epistemic Differences between Historical Science and Experimental Science". *Philosophy of Science* 69 (2002): 474-496.
- Cornejo, R.; De Viana, Marta L. & Quintana, M. "Cambio global: perspectiva ético-epistemológica". *Epistemología e Historia de la Ciencia* 7 (2001): 111-116. Eds. Ricardo Caracciolo & Diego Letzen. Córdoba (Arg.): Universidad Nacional de Córdoba.
- Dajoz, Roger. *Tratado de ecología*. Madrid: Mundi-Prensa, 2002.
- Delcourt, Hazel R. & Delcourt, Paul A. "Quaternary landscape ecology: Relevant scales in space and time". *Landscape Ecology* 2.1 (1988): 23-44.
- De Laplante, Kevin. "Toward a more expansive conception of ecological science". *Biology and Philosophy*, 19.2 (2004): 263-281.
- Di Pasquo, Federico M.; Folguera, Guillermo & Onna, Alberto. "La ecología disciplinar y la intrusión de la problemática ambiental: hacia la «percepción de fenómenos globales»". *Observatorio Medioambiental* 14 (2011): 21-39.
- Eberhardt, L. L. & Thomas, J. M. "Designing Environmental Field Studies". *Ecological Monographs*, 61.1 (1991): 53-73.
- Farina, Almo. *Principles and methods in Landscape Ecology*. London: Cambridge University Press, 1998.
- Forman, Richard T. T. "Some general principles of landscape and regional ecology". *Landscape Ecology*, 10.3 (1995): 133-142.
- Futuyma, Douglas J. *Evolutionary Biology*. Sunderland M. A.: Sinauer Associates, 1998.

- Hairston, Nelson G. Sr. *Ecological experiments. Purpose, design and execution*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- Hargrove, William W. & Pickering, John. "Pseudoreplication: a sine qua non for regional ecology". *Landscape Ecology* 6.4 (1992): 251-258.
- Hasler, Arthur D.; Brynildson, O. M. & Helm, William T. "Improving conditions for fish in brown-water bog lakes by alkalization". *Journal of Wildlife Management* 15 (1951): 347-352.
- Hurlbert, Stuart H. "Pseudoreplication and the design of ecological field experiments". *Ecological Monographs* 54.2 (1984): 187-211.
- Jaksic, Fabian & Marone, Luis. *Ecología de comunidades*. Santiago: Universidad Católica de Chile, 2007.
- Kingsland, Sharon E. "Defining Ecology as a Science". *Foundations of Ecology. Classic Papers with Commentaries*. Eds.: Real, Leslie; Brown, James. Chicago: University of Chicago Press, 1991. 1-13.
- Klimovsky, Gregorio. *Las desventuras del conocimiento científico*. Buenos Aires: AZ Editorial, [1994] 2001.
- Krebs, Charles J. "The experimental approach to rodent population dynamics". *Oikos* 52 (1998): 143-149.
- Lawton, John H. "Ecological experiments with model systems". *Science* 269 (1995): 328-331.
- Lodge, David M.; Blumenshine, Steven C. & Vadeboncoeur, Yvonne. "Insights and application of large-scale, long-term ecological observations and experiments". *Experimental ecology. Issues and perspectives*. Eds. Reserits, William J. Jr. y Bernardo, Joseph. Oxford: Oxford University Press, 1998. 202-235.
- Marone, Luis & Bunge, Mario. "La explicación en ecología". *Boletín de la Asociación Argentina de Ecología* 7.2 (1998): 35-37.
- Martinez, Sergio F. "La autonomía de las tradiciones experimentales como problema epistemológico". *Crítica* 27.80 (1995): 3-48.
- Matteucci, Silvia D. "El análisis regional desde la ecología". *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*. Eds.: Matteucci, Silvia D. y Buzai, Gustavo D. Buenos Aires: Eudeba, 1998. 117-150.

- Mcgarigal, Kevin & Cushman, Samuel A. "Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects". *Ecological Applications* 12.2 (2002): 335-345.
- Mcintosh, Robert P. "The background and some current problems of theoretical ecology". *Conceptual issues in ecology*. Eds.: Saarinen, ESA. Holanda: D. Reídle Publishing Company, Dordrecht, 1982: 1-61.
- Mcintosh, Robert P. *The background of ecology. Concept and theory*. Cambridge (MA): Cambridge University Press, [1985] 1995.
- Mellender de Araújo, Aldo. "Estará em curso o desenvolvimento de um novo paradigma teórico para a evolução?" *Ciencias da Vida: Estudos Filosóficos e Históricos*. Eds. Pereira, Martins, L. A.; Regner Anna C. & Lorenzano, Pablo. São Paulo (Brasil): AFHIC, 2006. 1-27.
- Miao, ShiLi; Carstenn, Susan & Nungesser, Martha. "Introduction – Unprecedented Challenges in Ecological Research: Past and Present". *Real World Ecology. Large-Scale and Long-Term Case Studies and Methods*. Eds.: Miao, ShiLi; Carstenn, Susan & Nungesser, Martha. New York: Springer Science, 2009. 1-18.
- Nagel, Ernest. *La estructura de la ciencia*. Barcelona: Paidós, [1961] 2006.
- Naveh, Zev & Liberman, Arthur S. *Ecología de Paisajes. Teoría y Aplicación*. Buenos aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de agronomía, [1984] 2001.
- Neilson, Ronald P. "Landscape ecology and global change". *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. Eds.: Wiens, John A. & Moss, Michael R. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 167-178.
- Neurath, Otto; Carnap, Rudolf & Hahn, Hans. "El punto de vista científico del Círculo de Viena". *Wissenschaftliche Weltauffassung Sozialismus and Logischer Empirismus*. Eds.: Hegselmann, R.; Francfort del Meno y Suhrkamp. Viena: Wolf, [1929] 1995. 81-101.
- Núñez, Paula G.; Núñez, Cecilia I. & Núñez, Martín A. "La ecología en tensión. Una indagación histórica del presente de la disciplina". *Observatorio Medioambiental* 11 (2008): 13-24.
- Núñez, Paula G. *Ecología y praxis ambiental. Una revisión de presupuestos*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata: Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, 2008.

- Odum, Eugene & Barrett, Gary W. *Fundamentos de Ecología*. México: Cengage Learning Editores, S.A, 2008.
- Parry, Martin; Canziani, Osvaldo; Palutikof, Jean; Van der Linden, Paul & Hanson, Clair. *Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- Peters, Robert H. *A critique for ecology*. Cambridge (GBR): Cambridge University Press, 1993.
- Pickett, Steward T. A.; Kolasa, Jurek & Jones, Clive G. *Ecological understanding*. Burlington (MA): Elsevier, 2007.
- Quenette, Pierre Y. & Gerard, Jean F. "Why biologists do not think like Newtonian physicists". *Oikos* 68 (1993): 361-363.
- Smith, Roberto L. & Smith, Thomas M. *Ecología*. Madrid: Pearson Educación, S.A., 2001.
- Smith, Felisa A.; Lyons, Kathleen S.; Ernest, Morgan S. K. & Brown, James H. "Macroecology: more than the division of food and space among species on continents". *Progress in Physical Geography* 32.2 (2008): 115-138.
- Turner, Monica G. "Landscape Ecology in North America: Past, Present, and Future". *Ecology* 86.8 (2005): 1967-1974.
- Turner, Monica G.; Gardner, Robert H. & O'Neill, Robert V. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. New York: Springer-Verlag, 2001.
- Wiens, John A. "Determining pattern and process: the logical structure of community ecology". *The Ecology of Bird Communities*. Cambridge (MA): Cambridge University Press, 1989. 18-37.

