

## **SIMPLIFICACIÓN EPISTEMOLÓGICA Y RIESGOS ASOCIADOS**

### **LA TECNOLOGÍA DE CONTROL BIOLÓGICO DE ESPECIES NO NATIVAS**

#### *EPISTEMOLOGICAL SIMPLIFICATIONS AND ASSOCIATED RISKS*

*The technology of biological control of non-native species*

#### *SIMPLIFICAÇÃO EPISTEMOLÓGICA E RISCOS ASSOCIADOS*

*A tecnologia de controle biológico de espécies não nativas*

***Nicolás José Lavagnino***

*(Universidad de Buenos Aires – CONICET, Argentina)*  
*nlavagnino@gmail.com*

***Christian Francese***

*(Universidad de Buenos Aires – CONICET, Argentina)*  
*francese.christian@gmail.com*

***Federico di Pasquo***

*(Universidad de Buenos Aires – CONICET, Argentina)*  
*dipasquof@yahoo.com.ar*

Recibido: 24/10/2022

Aprobado: 07/08/2023

### **RESUMEN**

El control biológico de especies no nativas que causan daños económicos y ambientales es la tecnología más importante de la Biología de las Invasiones. Si bien hay acuerdo que dicha tecnología es ambientalmente más amigable que el control químico, existen discusiones abiertas sobre los riesgos asociados a la misma. En el presente trabajo analizamos, utilizando como fuentes artículos científicos de revisión, las bases epistémicas subyacentes al desarrollo y la evaluación de riesgos asociados al control biológico. En particular, si sucede o no simplificación epistemológica y su vínculo con la subestimación de riesgos. El análisis muestra que suceden cuatro tipos interrelacionados de simplificación epistemológica: i) interacciones uno-a-uno de tipo fisiológicas, linealizadas y descontextualizadas entre agente de control y especies blanco o no-blanco; ii) predominancia de factores de niveles orgánico e infra-orgánico, en vinculación con teorías y conceptos de la Ecofisiología; lo que obvia interacciones, procesos y mecanismos que suceden a nivel de comunidad y ecosistemas, y los marcos teóricos de la Ecología asociados; iii) exclusión de mecanismos evolutivos relevantes como la adaptación y la plasticidad fenotípica post-introducción; y iv) restricción de temporalidades y espacialidades a aquellas de procesos fisiológicos y comportamentales del nivel orgánico o inferiores. Este escenario deriva en una subestimación, o directamente omisión, de riesgos ambientales como alteraciones potenciales que el evento de control biológico puede imponer sobre especies no-blanco y también sobre procesos y mecanismos comunitarios y ecosistémicos.

Palabras clave: biología de las invasiones. ecología. control biológico. bases epistémicas. simplificación epistemológica.

## ABSTRACT

Biological control of non-native species that cause economic and environmental damage is the most relevant technology in Invasion Biology. Although there is agreement that this technology is more environmentally friendly than chemical control, there are open discussions about associated risks. In this paper, we analyze, using scientific review articles as sources, the epistemic bases underlying the development and evaluation of risks associated with biological control, mainly if epistemological simplification occurs and its role in underestimating risks. The analysis shows that four interrelated types of epistemological simplification occur: i) interactions between the control agent and target or non-target species are mainly one-to-one, physiological, linearized and decontextualized; ii) the predominance of organismic and infra-organismic levels as relevant factors in connection with theories and concepts of Ecophysiology, which obviates interactions, processes and mechanisms that occur at the community and ecosystem level, and the associated theoretical frameworks of Ecology; iii) exclusion of relevant evolutionary mechanisms such as adaptation and post-introduction phenotypic plasticity; iv) restriction of temporalities and spatialities to those of physiological and behavioural processes of the organismic level or lower. This scenario results in an underestimation, or direct omission, of environmental risks, such as potential alterations that the biological control event can impose on non-target species; and community and ecosystem processes and mechanisms.

Keywords: invasion biology. ecology. biological control. epistemic bases. epistemological simplification.

## RESUMO

O controle biológico de espécies não nativas que causam danos econômicos e ambientais é a tecnologia mais importante em Biologia de Invasões. Embora haja consenso de que tal tecnologia seja mais ecologicamente correta do que o controle químico, há discussões abertas sobre os riscos associados a ela. Neste artigo analisamos, utilizando como fontes artigos de revisão científica, as bases epistêmicas subjacentes ao desenvolvimento e à avaliação dos riscos associados ao controle biológico. Em particular, se a simplificação epistemológica ocorre ou não, e sua relação com a subestimação dos riscos. A análise mostra que ocorrem quatro tipos inter-relacionados de simplificação epistemológica: i) interações um-a-um fisiológicas linearizadas e descontextualizadas entre o agente de controle e a espécie alvo ou não-alvo; ii) predominância de fatores de nível organísmico e infra-organismo; ligação com teorias e conceitos da Ecofisiologia; que evita interações, processos e mecanismos que ocorrem em nível de comunidade e ecossistema; e as estruturas teóricas associadas da Ecologia; iii) exclusão de mecanismos evolutivos relevantes, como adaptação e plasticidade fenotípica pós-introdução; e iv) restrição de temporalidades e espacialidades para os de processos fisiológicos e comportamentais do nível organísmico ou inferior. Esse cenário resulta em uma subestimação, ou omissão direta, de riscos ambientais como potenciais alterações que o evento de controle biológico pode impor a espécies não-alvo; e também em processos e mecanismos comunitários e ecossistêmicos.

Palavras-chave: biologia de invasões. ecologia. controle biológico. bases epistêmicas. simplificação epistemológica.

## 1. Introducción

La Biología de las Invasiones es un área de conocimiento de la órbita de las Ciencias Biológicas, que cobra fuerza en la última década del siglo XX. La misma, estudia e interviene sobre fenómenos donde una especie cualquiera expande su rango geográfico nativo y se establece en áreas en las que no se encontraba previamente. Si bien incluye tópicos de la Biología Evolutiva, la Fisiología y la Biología de la Conservación, se trata de un área fuertemente ligada a teorías y metodologías inherentes a la Ecología (Davis, 2009; Guiaşu y Tindale, 2018; Williamson, 1996)<sup>1</sup>. A su vez, la Biología de las Invasiones siempre incluyó como uno de sus objetivos más importantes, aportar a la resolución de los problemas económicos, sociales y ambientales que las especies no nativas pueden causar al expandir su rango geográfico (Binimelis et al., 2007; Ehrenfeld, 2010; Mazza et al., 2014; Suarez y Tsutsui, 2008). Actualmente dichas acciones se denominan “manejo de especies invasoras” e incluyen al control biológico de especies no nativas (Davis, 2009; Williamson, 1996). La relevancia que ha cobrado la tecnología de control biológico, tanto en ámbitos académicos como productivos, muestra la centralidad que en dicha área de conocimiento tiene el objetivo de intervenir en el mundo, mediante tecnologías dirigidas a contrarrestar los daños causados por especies no nativas (Davis, 2009; Tobin, 2018). Aunque se ha señalado que es posible reconocer en ciertas prácticas de fines del siglo XIX antecedentes de lo que hoy se conoce como control biológico clásico, es recién hacia finales de la década de 1980 que comenzó a realizarse más frecuentemente y basado en la teoría ecológica moderna (Simberloff, 2012). El control biológico clásico es una práctica científico-tecnológica que utiliza organismos biológicos para controlar poblaciones de especies no nativas. Las especies no nativas que son blanco de control suelen ser insectos, malezas o patógenos que generan problemas económicos y/o ambientales en las nuevas áreas a las que se expanden; mientras que las especies agentes de control son enemigos naturales de las especies no nativas (especies blanco) en el área nativa u original, pero que no están presentes en el área no nativa (McKimmie, 2000). Dentro de la comunidad de Biología de las Invasiones hay acuerdo en que, como parte del “manejo integrado de plagas”, el control biológico clásico es ambientalmente más “amigable” que el control químico. Sin embargo, en la misma comunidad se reconoce una discusión respecto a los riesgos asociados a la tecnología de control biológico, y también, sobre cuáles serían las formas más correctas y eficientes de realizar evaluaciones de dichos riesgos. De hecho, se encuentran, en los trabajos de revisión tempranos del área (McEvoy, 1996; Secord y Kareiva, 1996; Simberloff y Stiling, 1996), señalamientos sobre posibles riesgos para el ambiente de introducir organismos no-nativos para el control biológico. Se mencionan, por ejemplo: ataque a especies no-blanco, interrupción de ecosistemas y/o comunidades, y “escapes” hacia zonas geográficas no planificadas.

Teniendo en cuenta lo señalado, el presente trabajo no pretende desarrollar posiciones normativas sobre la controversia en torno a los riesgos asociados a la tecnología de control biológico, sino analizar aspectos del conocimiento biológico utilizado en el desarrollo de dicha tecnología y también, en las instancias de evaluación de riesgo. A partir de ello, se realiza una caracterización epistemológica que busca aportar a clarificar la controversia en torno a los riesgos asociados. En este respecto, nos propusimos indagar si sucede o no simplificación epistemológica respecto a la tecnología de control biológico. Con este fin, se realiza un recorrido argumental que incluye: una descripción general de la simplificación epistemológica y riesgos asociados en las tecnologías basadas en conocimiento biológico (segunda sección), luego un análisis de las bases epistémicas centrales del control biológico de especies no nativas que generan daños ambientales y/o económicos (tercera sección), y en una cuarta sección, una caracterización de los desarrollos de la Biología de las Invasiones mediante la categoría de simplificación epistemológica. Por último, se discuten las posibles consecuencias que dichas particularidades del control biológico acarrearán en cuanto a la evaluación de riesgos asociados a la tecnología.

---

<sup>1</sup> Si bien no es parte de lo que se aborda en el presente trabajo, cabe mencionar que existe una discusión en el ámbito académico, que incluye también a quienes practican la filosofía de la biología, respecto a la lógica y a la pertinencia de algunos conceptos centrales de la Biología de las Invasiones como la dicotomía “especie nativa / especie invasora”, la noción de “especie plaga” o la de “rango nativo”. Esto lleva a que se discuta el alcance y limitaciones del área de conocimiento como tal. Ver por ejemplo: Guiaşu y Tindale, 2018; Frank et al., 2019.

## 2. Simplificación epistemológica y riesgos asociados a tecnologías basadas en conocimiento biológico

Una de las características distintivas de las tecnologías es que emplean conocimiento científico en su elaboración<sup>2</sup>. Según han propuesto por ejemplo Bunge (1966) y Francese y Folguera (2018), al momento de configurar una tecnología particular, las teorías científicas no son tomadas o utilizadas tal cual son concebidas en el ámbito disciplinar, sino que presentan algún tipo de modificación en su contenido, en general de degradación. Al respecto, Mario Bunge en su artículo “Tecnología como ciencia aplicada” (1966) indaga sobre el vínculo entre las teorías científicas y las teorías tecnológicas derivadas –el conocimiento científico “aplicado”– y refiere:

En un sentido conceptual, las teorías de la tecnología son definitivamente más pobres que aquellas de la ciencia pura; son invariablemente *menos profundas*, y esto porque el hombre práctico, para quien están destinadas, está principalmente interesado en los efectos netos que ocurren y son controlables en la escala humana; quiere saber cómo las cosas pueden hacerse dentro de *su* alcance funcionar *para él*, más que cómo las cosas de cualquier tipo realmente son. (Bunge, 1966, p. 332-333. El resaltado es original)<sup>3</sup>.

Para dar cuenta de su posición, el autor propone el ejemplo de artefactos ópticos. En el diseño de unos anteojos, por ejemplo, la física aplicada es aquella de los rayos ópticos, física del siglo XVII. Teorías más actuales (como la conceptualización de la luz como onda) no serían necesarias, en tanto que con la versión anterior alcanzaría para poder diseñar anteojos funcionales. Así se evitarían complejos cálculos que, según Bunge (1966), serían “...mayormente de interés académico...” (p. 333). De esta manera describe como, en el pasaje del conocimiento científico al tecnológico, se pueden ignorar determinados conocimientos. Entre las características que Bunge (1996) adjudica al conocimiento tecnológico, destaca:

(...) siempre que sea posible, el investigador aplicado intentará esquematizar su sistema como una caja negra; se ocupará preferentemente de variables externas (entrada y salida), considerará a todas las demás en el mejor de los casos como variables intermedias manipulables sin importancia ontológica e ignorará los niveles adyacentes (...). (p. 333)<sup>4</sup>.

Por su parte, Hugh Lacey (1999; 2012) también indaga sobre la relación entre la ciencia y el conocimiento asociado a las tecnologías. Sin embargo, a diferencia de Bunge, el autor se centra en ejemplos en los cuales la distinción entre ciencia y tecnología es difusa, por lo que decide emplear el término “tecnociencia” para tales casos (en consonancia con otros autores como Echeverría, 2003; Pestre, 2005; Linares, 2008). Según su perspectiva, la ciencia presenta una pluralidad de visiones y estrategias de investigación, pero de manera creciente una versión en particular —la tecnocientífica— ocupa mayor espacio en las agendas científicas. En sus palabras:

(...) esta imagen de la investigación científica proyecta que la ciencia de avanzada es aquella que explota la contribución tecnológica a la investigación y en la que, directa o indirectamente se promueve el poder humano para intervenir y controlar el mundo. Esto es lo que yo llamo tecnociencia. (Lacey, 2012, p. 104)<sup>5</sup>.

La distinción que le interesa a Lacey, más que entre ciencia y tecnología, es entre ciencia y tecnociencia (Lacey, 2012). A nuestros fines, es importante observar que la caracterización de la tecnociencia también significa un deterioro conceptual respecto del resto de la ciencia, dado que la investigación

<sup>2</sup> Empleemos el término “tecnología” para referirnos específicamente a la técnica moderna que implica para su realización, algún tipo de conocimiento científico. Al respecto, tomamos la distinción clásica que diferencia “tecnología” del término “técnica”, que en general refiere a la actividad humana de transformación de la naturaleza sin implicar conocimiento científico. (Quintanilla, 1999; Linares, 2008).

<sup>3</sup> In a conceptual sense, the theories of technology are definitely poorer than those of pure science; they are invariably *less deep*, and this because the practical man, for whom they are intended, is chiefly interested in net effects that occur and are controllable on the human scale; he wants to know how things within *his* reach can be made to work for *him*, rather than how things of any kind really are. (Bunge, 1966, pp. 332-333. El resaltado es original).

<sup>4</sup> (...) whenever possible the applied researcher will attempt to schematize his system as a blackbox; he will deal preferably with external variables (input and output), will regard all others as at best handy intervening variables with no ontological import, and will ignore the adjoining levels (...). (Bunge, 1966, p. 333).

<sup>5</sup> (...) this image of scientific research projects that the cutting edge of science is that which exploits the technological contribution to research, and which directly or indirectly furthers human powers to intervene into and control the world. This is what I call technoscience. (Lacey, 2012, p. 104).

tecnocientífica está conducida bajo estrategias de lo que el autor denomina “enfoque descontextualizado” (*decontextualized approach*, DA) y lo caracteriza de la siguiente manera:

Las teorías son restringidas de manera que puedan representar el orden subyacente de las cosas –sus estructuras subyacentes, los procesos e interacciones entre ellos y sus componentes, y las leyes que los gobiernan–, y representar los fenómenos generados a partir del orden subyacente. Los datos seleccionados son en gran parte cuantitativos, obtenidos mediante intervenciones con instrumentos de medición y a menudo de fenómenos en espacios experimentales. Las estrategias que forman parte del DA disocian los fenómenos investigados del contexto humano, ecológico y social, de cualquier vínculo con valores éticos y sociales. (Lacey, 2012, p 114)<sup>6</sup>.

En particular, Lacey observa estas características en el caso de las semillas modificadas genéticamente empleadas en agricultura. En tal ejemplo, argumenta que la operación de la tecnociencia es ubicar a las semillas como objeto de investigación y producto de la Biología Molecular, separándola de los nexos ecológicos y socioculturales en los cuales se encuentran insertas (Lacey, 2003; 2012).

Otro autor que problematiza el vínculo entre ciencia y sus aplicaciones es Sui Huang (2015). Al igual que Lacey, Huang reflexiona sobre ejemplos en los que se encuentra involucrada la Biología y hace énfasis en la relación entre determinadas concepciones científicas y sus aspectos prácticos. En sus palabras:

¿Cómo la actividad de un gen (o de su variante alélica) explica un fenotipo? Obviamente esta pregunta es de importancia central en nuestra búsqueda intelectual para comprender cómo los genes controlan el fenotipo. Pero también tiene una importancia eminentemente práctica en medicina: el tratamiento de una enfermedad es, en esencia, la modulación de un fenotipo interviniendo en procesos moleculares con el objetivo de conducirlo de un estado de enfermedad a un estado saludable. (Huang, 2015, p. 41)<sup>7</sup>.

El trabajo de Huang muestra que en numerosas áreas de la Biología la relación entre el genotipo y el fenotipo es considerada compleja, pero señala que permanece una visión lineal en ciertas aproximaciones de la disciplina. Por lineal entiende aquellas relaciones que se pueden representar bajo el esquema  $A \rightarrow B$  en donde A causa B, “(...) pero en realidad no será tan simple si se considera que A y B son miembros no de una cadena de causación sino de una red de relaciones causales.” (Huang, 2015, p. 45)<sup>8</sup>. El autor argumenta que la perspectiva lineal es tomada en determinadas intervenciones tecnológicas que implican organismos. Asimismo, a partir de la perspectiva de Huang, se ha reconocido una conceptualización lineal entre el genotipo y el fenotipo, y la exclusión de la influencia de factores ambientales en las explicaciones genéticas y fisiológicas de diversos sistemas que son abordados desde la Biología y que claramente presentan intenciones de intervención tecnológica tales como los Organismos Genéticamente Modificados (Francese y Folguera, 2018), o las conceptualizaciones de las bases biológicas de trastornos psiquiátricos fuertemente medicalizados (Lavagnino et al., 2018; Martinhago et al., 2019).

Los autores mencionados advierten diferentes aristas de la degradación conceptual existente entre el conocimiento de la ciencia y el asociado a las tecnologías. Al conjunto de operaciones que dan cuenta de dicho deterioro, sea esquematización del sistema como una caja negra y su consecuente atención sólo sobre las variables de entrada y salida, desestimación de los niveles adyacentes, elección de ciertos conocimientos o cuerpos teóricos por sobre otros (de entre varios posibles), descontextualización, linealización de procesos complejos, las llamamos de forma general “simplificación epistemológica”.

<sup>6</sup> Theories are constrained so that they are able to represent the underlying order of things – their underlying structures, the processes and interactions of them and their components, and the laws governing them, and to represent phenomena as generated from the underlying order. The data selected are largely quantitative, obtained by means of interventions with measuring instruments, and often of phenomena in experimental spaces. Strategies that are part of DA dissociate the phenomena investigated from human, ecological and social context, from any links with ethical and social value. (Lacey, 2012, p. 114).

<sup>7</sup> How does a gene activity (or that of its allelic variant) explain a phenotype? Obviously this question is of central importance in our intellectual quest to understand how genes control the phenotype. But it is also of eminent practical significance in medicine: drug treatment of a disease is in essence the modulation of a phenotype by intervening with molecular processes with the goal of steering it from a disease state to a healthy state. (Huang, 2015, p. 41).

<sup>8</sup> (...) but in reality it will not be as simple if one considers that A and B are members of not a chain of causation but of a network of causal relationships. (Huang, 2015, p. 45).

Así pues, se podría reconocer que el conocimiento asociado a tecnologías es simplificado respecto del propio de las disciplinas científicas.

En este escenario, surge el interrogante sobre las diversas consecuencias de la simplificación epistemológica señalada. Para Bunge (1966), “(...) simplificaciones excesivas y errores [del investigador aplicado] no suelen ser dañinas, porque sus hipótesis son superficiales” (p. 333)<sup>9</sup>. Sin embargo, análisis de casos más recientes, advierten que tales simplificaciones pueden traer consecuencias negativas. Una de las posibles consecuencias de tal simplificación puede ser que las tecnologías construidas desde bases teóricas simplificadas “no funcionen bien” por soslayar interacciones o por no abordar correctamente fenómenos complejos; es decir que no sean tecnologías eficientes ni rentables. Asimismo, un punto sumamente relevante a tener en cuenta es que las conceptualizaciones usadas y las relaciones teóricas establecidas en la construcción de una tecnología impactan en la posibilidad de incluir o excluir factores de riesgo asociados, y por ende con la posibilidad de sub-estimar el riesgo potencial de las tecnologías. Por ejemplo, Francese y Folguera (2018) plantean para el caso de los Organismos Genéticamente Modificados que:

(...) la capacidad de modificar a nivel molecular a los seres vivos ha dado lugar a modificaciones con diversos objetivos y riesgos, no siempre suficientemente reconocidos (...). Así pues, en este caso, los riesgos tecnocientíficos no se encontrarían asociados a una ausencia de saber, sino más bien a la elección de un tipo de saber particular que excluye determinados conocimientos y, por ende, a sus riesgos asociados. (pp. 8-9).

A partir del marco problemático sugerido, el objetivo central del trabajo es indagar sobre la presencia de algún tipo de simplificación epistemológica en las teorías y conceptualizaciones que funcionan como bases para el desarrollo de la tecnología del control biológico clásico de especies no nativas; y también sobre el vínculo que estas operaciones de simplificación podrían tener con la evaluación de riesgos de dicha tecnología. Nuestra hipótesis principal es que efectivamente ocurre una simplificación epistemológica en el pasaje del conocimiento biológico hacia la tecnología de control biológico; y que esto, además, implica consecuencias directas en la sub-estimación de riesgos asociados a la tecnología. En términos más específicos, se plantea que las bases epistémicas para desarrollar la tecnología, y también para llevar adelante la evaluación de riesgos, se basa mayormente en una conceptualización simplificada y descontextualizada de la interacción entre agentes de control y otras especies. Donde se incluyen solamente factores correspondientes al nivel orgánico o de niveles infra-orgánicos, mientras que no se consideran aquellos factores correspondientes a los niveles de organización supra-orgánicos (poblacionales, comunitarios, ecosistémicos) como tampoco los procesos y mecanismos<sup>10</sup>, ni los marcos teóricos y conceptos comúnmente asociados a dichos niveles.

### **3. Bases epistémicas centrales y estimación de riesgos asociados a la tecnología de control biológico de especies no nativas**

Se analizaron diecisiete artículos de revisión dirigidos al control biológico, publicados entre 1996 y 2019 en revistas internacionales del área de Ecología y afines<sup>11</sup>. Esta periodización, abarca desde el momento en que cobra mayor relevancia la investigación académica y la práctica del control biológico, hasta la actualidad. Como ya mencionamos, la tecnología se basa en la utilización de organismos considerados enemigos naturales para controlar el tamaño poblacional y la expansión de especies no nativas que generan daños ambientales y/o económicos en las regiones que invaden. Dichas especies son enemigos naturales de la especie a controlar en el área nativa u original de la misma, pero no están presente en el

<sup>9</sup> (...) this is why his oversimplifications and mistakes are not more often harmful-because his hypotheses are superficial. (Bunge 1966, p. 333). ("his" se refiere al investigador aplicado).

<sup>10</sup> Por "proceso biológico" entendemos un conjunto de fenómenos en donde los acontecimientos se suceden en el espacio y en el tiempo. Estos fenómenos pueden estar o no relacionados causalmente. Mientras que cuando hablamos de "mecanismo biológico" nos referimos a un tipo especial de proceso, donde un conjunto de causas que refieren a una interacción directa se traducen en un fenómeno (adaptado de Marone y Bunge, 1998, p. 35, y de Pickett et al., 2007, p. 69).

<sup>11</sup> La lista de fuentes es la siguiente: Babendreier et al., 2005; Briese, 2003; 2006; Fowler et al., 2012; Frank, 1998; Frank et al., 2019; Guiaşu y Tindale, 2018; Kaufman y Wright, 2017; Louda et al., 2003; Louda y Stiling, 2004; McEvoy, 1996; McKimmie, 2000; Messing y Wright, 2006; Secord y Kareiva, 1996; Simberloff, 2012; Simberloff y Stiling, 1996, 1998; van Wilgen et al., 2013.

área no nativa invadida (McKimmie, 2000). Así, en la jerga del control biológico se habla de una especie no-nativa como la “especie blanco” a controlar y una especie “agente de control” que es la que controla. Respecto a las bases epistémicas centrales del control biológico, McEvoy (1996) señala que:

El control biológico se basa en dos principios ecológicos: que un organismo puede utilizarse para controlar a otro, y que algunos organismos controladores tienen un rango de hospedadores limitado. El rango de hospedadores generalmente se refiere al conjunto de especies en las que un organismo controlador puede alimentarse y desarrollarse. (P. 401)<sup>12</sup>.

Entrando más en detalle en la lógica del control biológico, podemos decir que el mismo se apoya mayormente en ciertos aspectos de la teoría trófica (particularmente en el control arriba-abajo) inherente a la Ecología. Al respecto Kaufman y Wright (2017) mencionan lo siguiente:

La “hipótesis de liberación de enemigo” establece que los organismos se vuelven invasivos en un área nueva porque han escapado de los enemigos naturales que suprimen sus poblaciones en su área de origen. Las especies exóticas tienen entonces una ventaja sobre los competidores en áreas de introducción, donde las especies indígenas aún son reprimidas por sus enemigos naturales indígenas [5]. Por lo tanto, el CBC [control biológico clásico] trabaja bajo la premisa de que el restablecimiento del control de tipo arriba-abajo mediante la introducción de enemigos naturales reducirá las poblaciones de especies invasoras y, por lo tanto, restaurará el equilibrio [3]. (p. 1)<sup>13</sup>.

Así queda establecido que la tecnología de control biológico encuentra parte de su sustento epistémico más relevante a partir de ciertos elementos de la teoría trófica de la Ecología. Pero si bien lo que se señala en las citas anteriores son aspectos centrales, seguramente se pueden mencionar otros elementos teóricos, conceptuales y metodológicos que también son puestos en juego en el control biológico, los cuales irán siendo señalados a lo largo del artículo.

Uno de los aspectos más importantes sobre el cual la comunidad académica involucrada en el control biológico tiene discusiones abiertas es la evaluación de riesgos potenciales previos a la liberación del agente de control. En general, dicha evaluación consiste en estimar el impacto negativo del agente de control sobre especies no-blanco que habitan en el área donde se realizará el control (área no nativa o invadida). Dicho impacto puede ser directo, cuando el agente de control tiene alguna interacción biológica sin ninguna intermediación con alguna especie no-blanco; o indirecto, situación en la que a través de interacciones biológicas con intermediaciones de algún orden la especie agente de control afecta a especies no-blanco. La estimación del impacto directo sobre especies no-blanco se lleva a cabo mediante la realización de ensayos de laboratorio, y a veces en espacios naturales o semi-naturales controlados, donde se mide el grado de especificidad que el agente de control muestra respecto a la especie blanco y cuán proclive es a interactuar con especies no-blanco. Específicamente se realizan experimentos de laboratorio en cuarentena pre-liberación donde se evalúa el rango fisiológico de hospedadores del agente de control utilizando el “método centrífugo-filogenético” o variantes del mismo como el “método o procedimiento de parentesco” (McEvoy, 1996; Messing y Wright, 2006; Simberloff, 2012). Wapshere (1974) definió las bases del método centrífugo-filogenético para el control biológico en plantas. Dicho método propone una serie de reglas jerárquicas para seleccionar las especies no-blanco a incluir en las pruebas de rango de hospedadores del agente de control, a saber: 1 otras formas de la misma especie blanco, 2 otras especies dentro del género, 3 otros miembros de la tribu, 4 otros miembros de la subfamilia, 5 otros miembros de la familia, 6 otros miembros del orden. McEvoy (1996) concluye sobre dicho método que:

El procedimiento de ensayo centrífugo/filogenético (Wapshere 1970, 1973, 1974) es un método biológicamente relevante: es un procedimiento aditivo que implica probar plantas de relación cada vez más

<sup>12</sup> Biological control is founded on two ecological principles: that one organism can be used to control another, and that some control organisms have a limited host range. Host range generally refers to the set of species on which a control organism can feed and develop. (McEvoy, 1996, p. 401).

<sup>13</sup> The enemy release hypothesis states that organisms become invasive in a new area because they have escaped the natural enemies that suppress their populations in their area of origin. Exotic species thus have an advantage over competitors in areas of introduction where indigenous species are still suppressed by their indigenous natural enemies [5]. Therefore, CBC works under the premise that the reestablishment of top-down control by introduction of natural enemies will reduce the populations of invasive species and therefore restore balance [3]. (Kaufman y Wright, 2017, p. 1).

distante con el hospedador hasta que se circunscribe el rango de hospedadores. Se agrega un margen de seguridad al ensayar también todas las plantas relacionadas de valor económico (por ejemplo, cultivos y plantas hortícolas) y ecológico (por ejemplo, plantas amenazadas y en peligro de extinción en la flora nativa) que podrían considerarse "en riesgo" por el agente de control biológico. (P. 402)<sup>14</sup>.

El método centrífugo-filogenético se desarrolló originalmente para control de plantas no nativas que generan daños, mientras que es menos usado en el control de artrópodos, principalmente por las razones que plantean Messing y Wrigth (2006) en la siguiente cita:

(...) en el control biológico de artrópodos, la filogenia centrífuga es algo menos útil, ya que se vuelve más confuso debido al conocimiento sistemático incompleto de los taxones de insectos, a los comportamientos diferentes entre especies estrechamente relacionadas dentro de los clados y a que los comportamientos de selección de hospedadores de los parasitoides a menudo se basan en estímulos de hábitat específicos más que en el parentesco fisiológico o genético de los hospedadores. (p. 137)<sup>15</sup>.

Entonces, para los eventos de control biológico de artrópodos no parece haber un método claro y unificado de selección de especies no-blanco que potencialmente podrían ser dañadas para realizarles ensayos de interacción biológicas con el agente de control previos a la liberación del mismo. En definitiva, las fuentes muestran de manera consistente a medida que pasan los años que el núcleo en el que se basa la seguridad del evento de control biológico es la especificidad, medida sobre todo en contexto de laboratorio, que la especie agente de control tiene respecto a la especie blanco. Es decir, cuán estrecho es el rango de hospedadores de la especie agente de control. Así lo señalan tempranamente Secord y Kareiva (1996) cuando afirman que "(...) el enfoque de los reguladores para la introducción de agentes de biocontrol está guiado por un principio clave: la documentación de la especificidad del hospedador es la base para el sello de aprobación de los agentes de biocontrol bajo consideración" (p. 448)<sup>16</sup>; y lo continúan planteando Messing y Wright (2006) diez años después cuando concluyen que "(...) el foco principal de las pruebas previas a la liberación se basa en gran medida en la detección de especificidad del huésped, que determina la idoneidad fisiológica de las especies no blanco para el agente candidato" (p. 136)<sup>17</sup>.

Respecto a los problemas, o límites, de los ensayos de laboratorio para estimar el rango de hospedadores de la especie agente de control, ya en la década de 1990 del siglo XX se planteaba que los ensayos de laboratorio estiman el rango fisiológico de hospedadores (o rango potencial) mientras que ensayos en ambientes naturales estimarían el rango ecológico de hospedadores (o rango realizado); siendo un problema relevante a la hora de conocer el riesgo que estas dos estimaciones pueden no ser iguales (McEvoy, 1996; Secord y Kareiva, 1996; Louda et al., 2003; Babendreier et al., 2005). Al respecto, Secord y Kareiva (1996) señalan que:

(...) dado que los ensayos de laboratorio son a menudo inadecuados para proporcionar una imagen precisa de la selección del hospedador en condiciones naturales, las pruebas de campo son la única forma razonable de evaluar el uso de hospedadores de los patógenos liberados. (p. 451)<sup>18</sup>.

Luego en un trabajo posterior, Louda et al. (2003) concluyen que:

---

<sup>14</sup> The centrifugal/phylogenetic testing procedure (Wapshere 1970, 1973, 1974) is one biologically relevant method: it is an additive procedure that involves testing plants of increasingly distant relationship to the host until the host range is circumscribed. A margin of safety is added by testing all related plants of economic (e.g., crops and horticultural plants) and ecological (e.g., threatened and endangered plants in the native flora) value that could be considered "at risk" from the biocontrol agent. (McEvoy, 1996, p. 402).

<sup>15</sup> (...) in arthropod biocontrol, centrifugal phylogeny is somewhat less useful, being confounded by incomplete systematic knowledge of insect taxa, dissimilar behaviors among closely related species within clades, and parasitoid host selection behaviors that are often based on specific habitat stimuli, rather than on physiological or genetic relatedness of hosts. (Messing y Wrigth, 2006, p. 137).

<sup>16</sup> (...) regulators' approach to the introduction of biocontrol agents is guided by one key principle: Documentation of host specificity is the foundation of a stamp of approval for biocontrol agents under consideration. (Secord y Kareiva, 1996, p. 448).

<sup>17</sup> The primary focus of pre-release testing therefore largely defaults to host specificity screening, which determines the physiological suitability of non-target species for the candidate agent. (Messing y Wright, 2006, p. 136).

<sup>18</sup> (...) because laboratory tests are often inadequate for providing an accurate picture of host selection under natural conditions, field tests are the only reasonable way to assess the host use of released pathogens. (Secord y Kareiva, 1996, p. 451).

(...) aunque en general las pruebas de especificidad del hospedador identificaron con precisión el rango potencial de hospedadores, la preferencia de insectos basada en esos ensayos no pudo predecir la magnitud del riesgo para las especies hospedadoras no-blanco y nativas en el campo. (p. 384)<sup>19</sup>.

En el mismo trabajo se detallan algunos problemas vinculados a no realizar ensayos previos en condiciones naturales, apuntando a que existen efectos ambientales que influyen sobre la ocurrencia y la intensidad de las interacciones entre especies: "(...) la localización y la elección de hospedador a menudo se vieron influenciados por las condiciones ambientales que determinaron la fuerza de las interacciones reales frente a las potenciales" (Louda et al., 2003, p. 384)<sup>20</sup>. Por lo que concluyen que:

Los parámetros ecológicos fueron significativos en muchos casos para determinar el resultado de las interacciones de los agentes introducidos con las posibles especies no blanco en el campo. Por lo tanto, la influencia de los factores ecológicos sobre los posibles efectos no blanco debe evaluarse mejor para la estimación de riesgos ambientales. (Louda et al., 2003, p. 388)<sup>21</sup>.

Cabe señalar que a pesar de los planteos respecto a la necesidad de ensayos en ambientes naturales para evaluar en un contexto ecológico el rango realizado de hospedadores del agente de control que se encuentran en la bibliografía desde hace décadas, dicho tipo de ensayos para evaluar el riesgo de ataque a especies no-blanco no parece ser una práctica extendida. Al respecto, en un trabajo de revisión sobre agentes de control biológico de artrópodos se concluye que "[p]uede verse (...) que no se han realizado estudios de campo de manera regular para evaluar el rango de hospedadores de los agentes de control biológico, incluso en los casos en que se examinaron los efectos sobre no-blanco" (Babendreier et al., 2005, pp. 828-829)<sup>22</sup>.

Por último, las fuentes analizadas coinciden en resaltar que "[l]os ensayos de especificidad de hospedador están diseñados para detectar interacciones directas, dejando sin evaluar otros efectos menos obvios" (Louda et al., 2003, p. 386)<sup>23</sup>. Siendo los "efectos menos obvios" aquellos considerados efectos indirectos de la especie agente de control sobre especies no-blanco, y sus potenciales consecuencias en la comunidad o el ecosistema. Tal como plantea McEvoy (1996):

(...) un organismo de control puede dañar a un organismo no blanco de varias formas: desde una interacción trófica directa que surge cuando el organismo de control consume un organismo no blanco, hasta la competencia por interferencia directa, o interacciones indirectas que pueden surgir cuando el organismo de control y el organismo no blanco interactúan a través de especies intermedias, como un enemigo natural compartido o un hospedador compartido. (p. 401)<sup>24</sup>.

Luego, Louda et al. (2003) plantean lo mismo un tiempo después: "(...) los efectos no blanco de las especies de control biológico pueden ser indirectos, así como también directos, a través de redes tróficas y enlaces cruzados (...)" (p. 386)<sup>25</sup>. En definitiva, si bien existen en la literatura de control biológico propuestas para cuantificar de diferentes formas el efecto indirecto del agente de control sobre especies no-blanco, comunidades y ecosistemas, por ejemplo la propuesta de evaluar la especificidad de hábitat del agente y algunos estudios de efectos pos-lanzamiento, competencia, hibernación y dispersión (Babendreier et al., 2005); la evaluación de riesgos indirectos no parece ser algo que se realice de manera

<sup>19</sup> (...) although host-specificity tests in general accurately identified potential host range, insect preference based on those tests failed to predict the magnitude of nontarget risk to native host species in the field. (Louda et al., 2003, p. 384).

<sup>20</sup> (...) host finding and host choice often were influenced by environmental conditions that determined the strength of actual versus potential interactions. (Louda et al., 2003, p. 384).

<sup>21</sup> Ecological parameters were significant in many cases in determining the outcome of interactions of introduced agents with potential nontarget species in the field. Thus, the influence of ecological factors on potential nontarget effects needs to be better evaluated for environmental risk assessment. (Louda et al., 2003, p. 388).

<sup>22</sup> [i]t can be seen (...) that field surveys have not been conducted on a regular basis to evaluate the host range of biological control agents, even in cases that looked at non-target effects. (Babendreier et al., 2005, pp. 828-829).

<sup>23</sup> [h]ost-specificity testing is designed to detect direct interactions, leaving other less obvious effects to go unevaluated. (Louda et al., 2003, p. 386).

<sup>24</sup> (...) a control organism may harm a nontarget organism in several ways—from a direct trophic interaction that arises when the control organism consumes a nontarget organism, to direct interference competition, to indirect interactions that can arise when the control organism and the nontarget organism interact via intermediate species such as a shared natural enemy or a shared host. (McEvoy 1996, p. 401).

<sup>25</sup> (...) Nontarget effects of biocontrol species can be indirect, as well as direct, via food webs and cross-linkages (...). (Louda et al., 2003, p. 386).

rutinaria en la práctica del control biológico. Por el contrario, la estimación de riesgo se centra principalmente en evaluar, en condiciones de laboratorio, el rango fisiológico de hospedadores del agente de control.

#### **4. Simplificación epistemológica en la tecnología de control biológico de especies no nativas: implicancias para la evaluación de riesgos**

Partiendo del análisis de las bases epistémicas de la tecnología de control biológico (tercera sección), donde indicamos que la evaluación de riesgos está mayormente limitada a cuantificar el impacto directo del agente de control sobre un número acotado de especies no-blanco en contexto de laboratorio, se identifican cuatro aspectos que buscan visibilizar una situación de fuerte simplificación epistemológica.

##### *4.1. Linealización y descontextualización de la interacción entre agente de control y otras especies*

Los ensayos de laboratorio pre-liberación donde se cuantifica la especificidad de la especie blanco como hospedador de la especie agente de control (lo que sería una estimación del rango fisiológico o potencial de hospedadores del agente de control), implica una conceptualización de la interacción biológica basada estrictamente en una compatibilidad de tipo fisiológica y con las correspondientes bases genéticas subyacentes que se vincularían de manera directa y lineal con el fenotipo fisiológico. La linealización de una interacción biológica que puede ser más compleja, es lo que describe Huang (2015) como una de las formas de simplificación epistemológica. En estos casos, de una diversidad de factores biológicos interactuantes se jerarquiza uno y otros se subestiman o se obvian. Es decir, tomando que la noción de linealización proviene de la matemática con la forma "un factor causal, un efecto"; el escenario es que de muchos factores que indican en un fenómeno biológico (efecto) se aproxima a solamente uno (factor causal). Dicha forma de conceptualizar la interacción entre organismos es la base de las evaluaciones de riesgo de la tecnología de control biológico. La prioridad de ensayos de laboratorio pre-liberación y la escasez de estudios en ambientes naturales donde las interacciones pueden ser evaluadas en contextos que permiten estimar los efectos de otros organismos (que no forman parte de las interacciones directas en cuestión) explican la simplificación. Por supuesto, esta escasez de estudios en ambientes naturales deriva en varias consecuencias nocivas para la evaluación de riesgos no deseados en los eventos de control biológico. Por un lado, tomar al fenómeno de la interacción entre el agente de control y otros organismos bajo la forma uno-a-uno (entre dos especies), y basada casi exclusivamente en las características fisiológicas y genéticas de las especies, sin considerar otros factores tales como efectos del ambiente o bien interacciones entre el agente de control y especies no-blanco, implica que quedan excluidos factores contextuales relevantes para estimar la posibilidad de que sucedan efectos no deseados (como ataque a especies no-blanco) y la frecuencia de los mismos. El punto queda claramente expresado en el trabajo antes citado de Messing y Wrigth (2006) donde muestran que en la determinación del rango de hospedadores de parasitoides es más relevante el rol del hábitat que la identidad genética o fisiológica de los hospedadores. Lo mismo concluyen Kaufman y Wrigth (2017) en otra revisión sobre control biológico mediante parasitoides:

Aunque se ha demostrado que el parasitismo sobre no-blancos varía entre hábitats [32,72,73,74], la mayoría de los estudios de evaluación de riesgos ponen énfasis en evaluar el rango de hospedadores o el nivel de parasitismo sobre no-blancos, pero no en evaluar cómo el hábitat y/o los gradientes ambientales/ecológicos pueden mediar esos niveles de parasitismo sobre no-blancos. Al incorporar el contexto espacial y ecológico en la evaluación de riesgos, es posible identificar los hábitats que probablemente tengan un mayor riesgo de sufrir efectos adversos y utilizar esa información para las decisiones reglamentarias. (p. 84)<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> Even though it has been shown that non-target parasitism varies between habitats [32,72,73,74], most risk assessment studies place emphasis on assessing the host range or level of non-target parasitism, but not on assessing how habitat and/or environmental/ecological gradients may mediate those levels of non-target parasitism. By incorporating spatial and ecological context in risk assessment, it may be possible to identify habitats that are likely to be at higher risk of adverse effects, and use that information for regulatory decisions. (Kaufman y Wrigth, 2017, p. 84).

Es decir, los ensayos de laboratorio basados en el método centrífugo-filogenético no pueden determinar todos aquellos potenciales hospedadores que guardan una relación funcional (y no filogenética) con el agente de control, ya que no toman en cuenta esta dimensión del problema. No resulta descabellado plantear que lo mismo es válido para los casos donde el agente de control es otro tipo de organismo diferente a los parasitoides. Entendemos que esto implica una forma de simplificación epistemológica en las bases que se usan para conceptualizar, diseñar y llevar a cabo los ensayos que en última instancia definen el riesgo asociado al control biológico.

Al respecto cabe mencionar que es claro que la simplificación encontrada expresa una diferencia ya conocida entre relaciones filogenéticas y relaciones funcionales, pero ahora expresada entre el rango de hospedadores fisiológico/filogenético y el rango ecológico. Algunos trabajos mencionan que el primero es más amplio y contiene al segundo (ver por ejemplo McEvoy, 1996; Secord y Kareiva, 1996); por lo que no sería un problema basar las estimaciones de riesgo en el rango de hospedadores fisiológico. Entendemos que esta concepción simplificada de los rangos de hospedadores implica que los rangos fisiológico y ecológico pueden ser diferentes sin estar anidados. Es decir, el rango ecológico, incluso con menor número de especies hospedadoras, puede incluir especies no presentes en el rango fisiológico. Esta forma de conceptualizar y operativizar los rangos de hospedadores genera un problema para la estimación de riesgo en esta tecnología, ya que implica subestimar gravemente uno de los riesgos potenciales más reconocidos como es el ataque no previsto del agente de control hacia especies no-blanco.

Lo mismo puede decirse respecto a una conceptualización simplificada de las interacciones entre especies, pero ahora visto desde una perspectiva ecosistémica. Más específicamente, en el marco de redes tróficas simplificadas. En las fuentes analizadas sobre control biológico se parte desde escenarios donde la potencialidad en cuanto a cantidad y frecuencia de las interacciones que podría tener el agente de control es acotada, lo que redundaría en una consideración también limitada de las redes tróficas. Al respecto, y sin ser considerado por quienes escriben el trabajo como algo a ser tenido en cuenta en la evaluación de riesgo, en la revisión realizada "por practicantes profesionales del control biológico" de Fowler et al. (2012) expresan la idea:

En una revisión sobre biocontrol de insectos, Hawkins et al. (1999) llegaron a la conclusión de que los éxitos del control biológico estaban más frecuentemente conformados de redes tróficas artificialmente simplificadas, típicas de los sistemas del sector productivo (donde el biocontrol era más exitoso per se), en contraste con el "control natural" que resultaba de múltiples vínculos en redes tróficas complejas. (p. 308)<sup>27</sup>.

Las dos instancias de simplificación mencionadas implican interacciones individualizadas, linealizadas y descontextualizadas entre agente de control y otras especies, sean blanco o no-blanco; y se vuelven relevantes ya que son las características epistémicas que habilitarían una sub-estimación, o directamente una omisión, del impacto que el agente de control puede tener sobre especies no-blanco y/o el sistema ecosistémico en general. Es decir, esta conceptualización simplificada de la interacción entre organismos en la naturaleza abona a una mala estimación del riesgo asociado a la tecnología de control biológico.

#### 4.2. *Efectos indirectos sobre especies no-blanco, comunidades y ecosistemas*

Como adelantamos al final de la sección 2, una de las deficiencias de la tecnología de control biológico más mencionada en las fuentes es la falta de evaluación de efectos indirectos de la población de agente de control sobre especies no-blanco. Se resalta además que este impacto negativo (no evaluado) no recaería solamente sobre especies no-blanco individuales sino que se expande a nivel de comunidades y ecosistemas en los cuales se realizan los eventos de control biológico, o incluso también en comunidades y ecosistemas cercanos geográficamente. Al respecto, Messing y Wright (2006) señalan que:

---

<sup>27</sup> In a review of insect biocontrol, Hawkins et al. (1999) concluded that biological control successes were most often characterised by artificially simplified food webs, typical of productive sector systems (where biocontrol was more successful per se), in contrast to 'natural control' that resulted from multiple links in complex food webs. Recently, biocontrol of weeds has moved from a focus on productive sector weeds to weeds in the natural environment. (Fowler et al., 2012, p. 308).

(...) las preocupaciones sobre los posibles impactos de los agentes de biocontrol se han ampliado recientemente para incluir no sólo los efectos tróficos directos, sino también la competencia, el desplazamiento y otras interacciones ecológicas secundarias más sutiles. Aunque es extremadamente difícil predecir el resultado de tales relaciones basándose en pruebas de cuarentena pre-lanzamiento, los reguladores solicitan cada vez más dichos datos (...). (p. 137)<sup>28</sup>.

En el artículo de revisión sobre control biológico de plantas de van Wilgen et al. (2013) se plantea con algún detalle el contenido de esta deficiencia, y la dificultad intrínseca de la tecnología para resolver el problema: “(...) puede haber daños imprevistos en plantas no blanco, interrupción de las redes alimenticias y el funcionamiento del ecosistema (...)” (p. 532)<sup>29</sup>; y luego agregan que:

(...) los agentes introducidos: (1) atacarán a las plantas que no son blanco; (2) perturbarán las redes alimenticias al servir como hospedadores de parasitoides nativos y como fuente de alimento para los depredadores; (3) hibridarán con especies relacionadas (...). Si bien la especificidad del huésped y la eficacia de los posibles agentes de control biológico de malezas se pueden determinar con certeza razonable a priori, las otras preocupaciones no se pueden abordar con ningún grado de confianza. (van Wilgen et al., 2013, p. 536)<sup>30</sup>.

De hecho, según remarca Daniel Simberloff, uno de los principales investigadores del área:

[p]redecir los tipos de efectos indirectos que podrían surgir de la introducción de un control biológico es mucho más difícil que predecir los efectos directos sobre las especies no-blanco debido a las numerosas posibles concatenaciones de interacciones especie-especie, e incluso es difícil imaginar ensayos de laboratorio sencillos, como los utilizados en el método centrífugo-filogenético, que permitirían una predicción aceptablemente fiable de los impactos indirectos a nivel de población. (...) un tipo completamente diferente de impacto indirecto, sobre no-blancos, puede ser aún mayor y es aún más difícil de predecir. Esto ocurre cuando una especie introducida afecta fuertemente procesos ecosistémicos, como los ciclos de nutrientes o incendios, o la estructura física del ecosistema; que a su vez afecta a grandes fracciones de la comunidad de especies nativas. (Simberloff, 2012, pp. 268-269)<sup>31</sup>.

El análisis de las fuentes muestra que respecto a los señalamientos sobre el problema de los efectos indirectos no deseados de los agentes de control, hay amplia coincidencia a lo largo del tiempo. Es decir, no se trata de argumentos marginales de académicos con una mirada crítica hacia la tecnología sino más bien una deficiencia ampliamente reconocida.

Se encuentra entonces que la concepción del control biológico basada exclusivamente en interacciones de tipo fisiológicas entre agente de control y otras especies, sean blanco o no-blanco, obvia considerar interacciones indirectas, procesos y mecanismos a nivel de comunidad y de ecosistemas que claramente son relevantes en todo evento de control biológico. Tal característica se traduce en una importante subestimación, o en muchos casos directamente una omisión, del impacto indirecto del agente de control sobre especies no-blanco, comunidades y ecosistemas.

---

<sup>28</sup> (...) concerns over the potential impacts of biocontrol agents have recently broadened to include not only direct trophic effects but also competition, displacement, and other more subtle secondary ecological interactions. Although it is extremely difficult to predict the outcome of such relationships based on pre-release quarantine testing, regulators increasingly ask for such data (...). (Messing y Wright, 2006, p. 127).

<sup>29</sup> (...) there may be unanticipated damage to non-target plants and disruption of food-webs and ecosystem functioning (...). (van Wilgen et al., 2013, p. 532).

<sup>30</sup> (...) introduced agents will: (1) attack non-target plants; (2) disrupt food webs by serving as hosts for native parasitoids and as a food source for predators; (3) hybridize with related species (...) While the host-specificity and efficacy of potential WBC agents can be determined with reasonable certainty a priori, the other concerns cannot be addressed with any degree of confidence. (van Wilgen et al., 2013, p. 536).

<sup>31</sup> [p]redicting the kinds of indirect effects that might arise from a biological control introduction is vastly more difficult than predicting direct effects on non-targets because of the myriad possible concatenations of species-on-species interactions, and it is even difficult to imagine straightforward laboratory tests, such as those used in the centrifugal phylogeny method, that would allow acceptably reliable prediction of indirect impacts at the population level. (...) an entirely different sort of indirect, non-target impact can be even greater and is even harder to predict. This occurs when an introduced species greatly affects ecosystem processes, such as nutrient or fire cycles, or ecosystem physical structure, in turn affecting large fractions of the native species community. (Simberloff, 2012, pp. 268-269).

### 4.3. *La dimensión evolutiva en el control biológico*

La no inclusión de la dimensión evolutiva en el diseño y evaluación de riesgo del control biológico es señalada en varias de los trabajos de revisión analizados, aunque no en una gran mayoría. Por ejemplo, tempranamente Simberloff y Stiling (1996) mencionan que:

Igualmente problemático es el hecho de que los organismos vivos evolucionan. Las especies evolucionan para adquirir nuevos hospedadores (por ejemplo, Prokopy et al., 1988), para tolerar una mayor variedad de factores físicos (por ejemplo, pesticidas) y, en los patógenos, para ser más virulentos (por ejemplo, Brasier, 1979) o menos virulentos (Ewald, 1983). Una sola mutación genética puede modificar la especificidad del huésped (Williamson, 1992). Cualquiera de estos cambios podría convertir una especie inocua en una dañina. Hopper et al. (1993) proporcionan varios ejemplos de cambios en los organismos de control biológico después de la introducción, incluidos todos los tipos de modificaciones que acabamos de sugerir. (p. 188)<sup>32</sup>.

Lo mismo sucede en otras dos publicaciones del mismo año, McEvoy (1996) afirma que:

El potencial del organismo de control para evolucionar y adaptarse a nuevos hospedadores y condiciones ambientales requiere examinar la historia filogenética de los organismos, así como la interacción de la variación genética, la selección natural y la oportunidad ecológica para las interacciones entre especies. En general, para los organismos con el potencial de dañar a otros organismos, los riesgos se vuelven mayores (y más difíciles de predecir) a medida que aumenta la capacidad del organismo de control para sobrevivir, reproducirse, dispersarse y evolucionar. (p. 402)<sup>33</sup>.

Mientras que Secord y Kareiva (1996) citan 13 ejemplos que incluyen insectos fitófagos, parásitos, parasitoides, hongos y virus patógenos donde suceden cambios de hospedadores que se explicarían por la interacción entre la variación genética inicial de la población de agente de control introducida, una fuerte selección y la oportunidad ecológica (Secord y Kareiva, 1996, p. 449). Diez años después de estas publicaciones, una revisión respecto al control biológico sobre artrópodos no-nativos que generaron daños, y que utilizaron invertebrados como agentes de control muestra que el problema sigue presente: "[h]asta donde sabemos, la variabilidad genética del agente de control biológico o de las poblaciones de huéspedes no blanco no se ha tenido en cuenta en los estudios que evalúan los efectos no blanco" (Babendreier et al., 2005, p. 856)<sup>34</sup>. Luego, casi veinte años después de las publicaciones iniciales sobre las dificultades de estimar riesgos en control biológico, van Wilgen et al. (2013) mencionan que los efectos indirectos evolutivos no evaluados siguen siendo un problema, ya que los agentes de control pueden "(...) experimentar cambios fisiológicos o evolutivos, posiblemente impulsados por el cambio climático, que alterará profundamente el comportamiento de los agentes (...)". (p. 536)<sup>35</sup>. Entonces, si bien no se trata de la gran mayoría de las fuentes analizadas, hay varias que expresan que la evolución adaptativa post-introducción es un riesgo no lo suficientemente tenido en cuenta en la tecnología de control biológico (Babendreier et al., 2005; McEvoy, 1996; Messing y Wright, 2006; Secord y Kareiva, 1996; Simberloff, 2012; Simberloff y Stiling, 1996; van Wilgen et al., 2013).

El tipo de cambio biológico señalado en dichas fuentes implica modificaciones genéticas, que dependiendo de la especie que esté funcionando como agente de control en cada caso pueden llevar muchas o pocas generaciones; es decir muchos o pocos meses u años. Sin embargo, las fuentes analizadas no mencionan con igual importancia mecanismos evolutivos que no implican cambios genéticos como relevantes en el control biológico. Nos referimos más específicamente a la plasticidad

<sup>32</sup> Equally problematic is the fact that living organisms evolve. Species evolve to acquire new hosts (e.g. Prokopy et al., 1988), to tolerate a greater range of physical factors (e.g. pesticides), and, for pathogens, to be more virulent (e.g. Brasier, 1979) or less virulent (Ewald, 1983). A single gene mutation can modify host specificity (Williamson, 1992). Any of these changes could turn an innocuous species into a harmful one. Hopper et al. (1993) provide several examples of changes in biological control organisms after introduction, including all the sorts of modifications just suggested. (Simberloff y Stiling, 1996, p. 188).

<sup>33</sup> The potential of the control organism to evolve and adapt to new hosts and environmental conditions requires examination of the organisms's phylogenetic history as well as the interplay of genetic variation, natural selection, and ecological opportunity for species interactions. Overall, for organisms with the potential to harm other organisms, the risks become greater (and harder to predict) as the control organism's ability to survive, reproduce, disperse, and evolve increases. (MacEvoy, 1996, p. 402).

<sup>34</sup> [t]o the best of our knowledge, genetic variability of the biological control agent or non-target host populations has not been taken into account in studies assessing non-target effects. (Babendreier et al., 2005, p. 856).

<sup>35</sup> (...) experience physiological or evolutionary changes, possibly driven by climate change, which will fundamentally alter the behavior of the agents (...). (van Wilgen et al., 2013, p. 536).

fenotípica. Los eventos de plasticidad fenotípica pueden ser muy frecuentes en introducciones de especies en rangos no nativos y no requieren de muchas generaciones para suceder (Davidson et al., 2011; Hulme, 2008; Kaufman y Smouse, 2001; Parker et al., 2003; Richards et al., 2006; Zenni et al., 2014). Tales características hacen que sea necesario tomar en cuenta que es otra potencial causa de riesgo. La plasticidad fenotípica sucede en especies de todos los reinos y para muchos caracteres, como por ejemplo caracteres de historia de vida, morfológicos, comportamentales (Fordyce, 2006; Pigliucci y Preston, 2004; Schlichting y Pigliucci, 1998), que pueden ser relevantes en los agentes de control al estar involucrados directamente con el rango de hospedadores u otras características ecológicas relevantes. Entonces, la probada relevancia de la plasticidad fenotípica en la evolución en general, y en los eventos de introducción de especies en particular, implica para el caso del control biológico que se trata de un mecanismo a considerar en el desarrollo de la tecnología, y sobre todo de la evaluación riesgos. Lo mismo vale para otros aspectos evolutivos analizados, como los cambios adaptativos post-introducción. En este sentido, se pueden mencionar dos ejemplos de situaciones que pueden ser consecuencia de adaptación y/o plasticidad fenotípica, y que claramente presentan relevancia para el riesgo asociado al control de plantas. Por un lado, Secord y Kareiva (1996) señalan un proceso bastante conocido en la ecología evolutiva: "(...) cuando los herbívoros son trasladados a lugares donde encuentran nuevas combinaciones de plantas hospedadoras, los efectos de interacción compleja pueden jugar un papel en la evolución de nuevas preferencias de hospedadores (...)" (p. 449)<sup>36</sup>. Si dicho proceso sucede en un herbívoro que funciona como agente de control biológico, entonces hay posibilidades muy concretas de que use como hospedador a plantas no-blanco y genere disrupciones en el ecosistema, todas situaciones que nos son posibles de ser predichas. Luego, el trabajo escrito por practicantes del control biológico de Fowler et al. (2012) aporta otro ejemplo:

Si, en comparación con la maleza blanco, una proporción muy baja de larvas sobrevive hasta la edad adulta en una planta no blanco, parece probable que una población del agente candidato no sea una amenaza para la planta no blanco en el campo. Sin embargo, ¿podría la selección posterior a la liberación resultar en una mayor proporción de larvas que son capaces de madurar en hospedadores no blancos? ¿Deberíamos evaluar el rango de hospedadores en la descendencia de individuos que sobrevivieron en hospedadores no blanco para determinar el potencial de evolución de un rendimiento mejorado en hospedadores no blanco? ¿Cuántas generaciones deberían considerarse suficientes? (p. 308)<sup>37</sup>.

En definitiva, todo indica que dichos mecanismos evolutivos (adaptación y plasticidad fenotípica post-introducción), que son parte constitutiva de las bases teóricas de la Biología Evolutiva, son sistemáticamente omitidos en el desarrollo y la evaluación riesgos de la tecnología de control biológico abonando a la simplificación epistemológica de la misma.

#### 4.4. *Simplificación de escalas temporales y espaciales en el control biológico*

Las fuentes analizadas señalan también limitaciones en cuanto a las escalas temporales y espaciales a partir de las cuales se construye la tecnología de control biológico; y por ende las escalas temporales y espaciales en las que se evalúa el riesgo potencial asociado. Desde la perspectiva de quienes practican el control biológico, en el trabajo de Fowler et al. (2012) plantean que:

La magnitud y la extensión espacio/temporal de los efectos indirectos no blanco es fundamental para la evaluación de riesgos en el control biológico. (...) El momento y la duración de los efectos indirectos no blanco deben considerarse en cualquier evaluación de riesgos. (...) instamos a que los estudios de caso

<sup>36</sup> (...) when herbivores are moved to places where they encounter new combinations of host plants, complex interaction effects may play a role in the evolution of new host preferences (...). (Secord y Kareiva, 1996, p. 449).

<sup>37</sup> If a very low proportion of larvae survive to adulthood on a non-target plant, compared to the target weed, it seems likely that a population of the candidate agent would not be a threat to the non-target plant in the field. However, could post-release selection result in a higher proportion of larvae that are capable of maturing on non-target hosts? Should we host-range test the offspring of individuals that survived on non-target hosts to determine the potential for the evolution of improved performance on non-target hosts? How many generations should be considered sufficient? (Fowler et al., 2012, p. 308).

futuros adopten un enfoque holístico para la evaluación de riesgos, considerando escalas espaciales y temporales, así como la magnitud directa de los efectos negativos (o positivos). (p. 309)<sup>38</sup>.

¿En qué consiste esta aparente simplificación de las escalas temporales y espaciales en el control biológico? Por un lado, y relacionado al punto anterior sobre la no inclusión de mecanismos evolutivos, no se tienen en cuenta lo que se puede considerar como temporalidades evolutivas. Es decir, temporalidades profundas más amplias que los propios tiempos de la vida humana. Así, se obvia analizar las posibles consecuencias de cualquier tipo que la introducción de un agente de control puede tener en temporalidades profundas, mientras que las herramientas de evaluación de riesgo comúnmente utilizadas suponen efectos sincrónicos del agente de control sobre especies no-blanco.

Por otro lado, numerosos trabajos han mostrado que los agentes de control se extienden más allá de los límites previstos a su rango de introducción (ver por ejemplo Babendreier et al., 2005; Louda et al., 2003; Pratt y Center, 2012; Simberloff y Stiling, 1996; van Wilgen et al., 2013; Zimmermann et al., 2000). Entrando brevemente en algún detalle, Louda et al. (2003) marcan que "(...) los agentes de biocontrol introducidos no se limitan al hábitat de las especies blanco donde fueron liberados; más bien invadieron hábitats nativos remotos" (p. 373)<sup>39</sup>. Mientras que Babendreier et al. (2005) afirman que "[l]a importancia de la dimensión espacial fue demostrada por Follett et al. (2000b), quienes encontraron que el parasitismo sobre no blancos depende del nivel de elevación de las islas hawaianas" (p. 856)<sup>40</sup>. En este sentido, la simplificación consiste en que se considera únicamente como rangos espaciales de acción de los agentes de control aquellos de las especies blanco; cuando claramente cualquier agente de control podría exceder dicho rango espacial, sobre todo en un contexto de excepcionalidad biológica como es el de una introducción en un nuevo ambiente, situación en la cual los organismos pueden presentar momentáneamente comportamientos y características ecológicas no habituales. Al respecto, sobre control biológico usando parasitoides como agentes de control, Kaufman y Wrigth (2007) plantean que:

(...) la evaluación integral del riesgo requiere una comprensión amplia de la ecología del agente de control biológico, así como de la ecología de las especies blanco y no blanco. Las observaciones sobre la ecología del agente de biocontrol en otras áreas de introducción y el área de origen, y cómo las tasas de parasitismo varían en esas áreas bajo diferentes condiciones ambientales/ecológicas, pueden proporcionar información útil de referencia para las predicciones hechas para nuevas ubicaciones (p. 19)<sup>41</sup>.

Algo muy similar concluyen Louda et al. (2003) al afirmar que "[l]a estimación de la dispersión natural probable, basada por ejemplo en el rango de hábitat dentro del ambiente indígena, mejoraría la evaluación del riesgo ecológico del control biológico" (p. 386)<sup>42</sup>.

Entonces, parece relevante señalar cierta simplificación, pero en este caso dirigida a la elección de la escala espacio-temporal utilizada para el desarrollo y la evaluación de riesgos de la tecnología de control biológico. En rigor, parece considerarse únicamente aquella escala espacio-temporal donde se da la ocurrencia de la especie blanco, y en cierta medida aquellas escalas espacio-temporales inmediatamente inferiores, cuando se consideran los efectos fisiológicos nocivos sobre la especie blanco. Sin embargo, de acuerdo a la teoría jerárquica desarrollada al seno de la Ecología, la comprensión de un fenómeno bajo estudio, preponderante a una escala específica (como puede ser un proceso trófico) implica el conocimiento de los fenómenos implicados en un dominio de escalas inmediatamente superior (pues

<sup>38</sup> The magnitude, and the spatial/temporal extent, of indirect non-target effects is critical for risk assessment in biocontrol. (...) The timing and duration of indirect non-target effects need to be considered in any risk assessment. (...) we urge that future case studies take a holistic approach to risk assessment, considering spatial and temporal scales as well as the straightforward magnitude of negative (or positive) effects. (Fowler et al., 2012, p. 309).

<sup>39</sup> (...) the introduced biocontrol agents are not restricted to the habitat of the target species where they were released; rather they invaded remote native habitats. (Louda et al., 2003, p. 373).

<sup>40</sup> [t]he importance of the spatial dimension was demonstrated by Follett et al. (2000b) who found non-target parasitism to be dependent on the elevation level of Hawaiian Islands. (Babendreier et al., 2005, p. 856).

<sup>41</sup> (...) comprehensive risk assessment requires a wide-ranging understanding of the ecology of the biological control agent, as well as the ecology of the target and non-target species. Observations on the ecology of the biocontrol agent in other areas of introduction and the area of origin, and how parasitism rates vary in those areas under different environmental/ecological conditions, can provide useful baseline information for predictions made for new locations. (Kaufman y Wrigth, 2007, p. 19).

<sup>42</sup> [e]stimation of likely natural dispersal, for example based on habitat range within the indigenous environment, would improve assessment of ecological risk of biological control. (Louda et al., 2003, p. 386).

estos funcionarían restringiendo el fenómeno estudiado) así como también, supone la indagación de aquellos fenómenos implicados en un dominio de escalas inmediatamente inferior (pues estos ofrecerían las potenciales causas del fenómeno bajo estudio) (Allen y Starr, 1982; Turner et al., 2001; Urban et al., 1987; Wiens et al., 2004). Así, la tecnología de control biológico, no sólo parece desatender elementos epistémicos inherentes a la Ecología de Comunidades, de Ecosistemas y de la Biología Evolutiva; sino también parece desatender aquellos dominios de escalas espacio-temporales inmediatamente superiores a la ocurrencia de los fenómenos fisiológicos, organísmicos y poblacionales, que aportarían una comprensión más acabada de la intervención que se quiere implementar.

## 5. Discusión y Conclusión

Dentro de la comunidad académica y de sectores ligados a la producción (como por ejemplo quienes se expresan en el trabajo de Fowler et al., 2012) que se dedican a investigar y/o practicar el control biológico clásico de especies no nativas consideradas dañinas hay amplio consenso respecto a que dicha tecnología es ambientalmente más amigable que el control químico. Sin embargo, también se reconocen discusiones abiertas respecto a diferentes aspectos de la tecnología que se expresan en los artículos especializados publicados desde mediados de la década de 1990 hasta la actualidad. La revisión de dichas fuentes nos permitió caracterizar de primera mano cuáles son las bases epistémicas implicadas en la tecnología de control biológico, especialmente respecto a la evaluación de riesgos potenciales asociados a la misma, y sus problemáticas. Es así que justamente las principales discusiones encontradas son respecto al riesgo que implica la tecnología, en torno a daños ambientales y económicos que potencialmente puede causar. En relación con ello, las fuentes tratan también sobre el alcance y forma que la estimación de riesgos y regulación que la tecnología tiene y/o debería tener. Luego, no es la intención del presente trabajo tomar una posición normativa respecto a si la tecnología de control biológico debe utilizarse o no; sino que la argumentación se centró en describir características epistémicas en las que se basa su desarrollo y la evaluación de riesgos asociada. A partir de ello, realizamos un análisis con la categoría epistemológica de simplificación como una contribución para clarificar la controversia en torno a los riesgos asociados. Al respecto, podemos sugerir que hemos encontrado movimientos de simplificación epistemológica; y que éstos son un elemento clave, pues contribuyen a configurar la forma de la intervención de la tecnología y también, a delimitar cómo será la evaluación de riesgos.

La simplificación epistemológica que hemos relevado se puede delimitar en cuatro puntos, que por supuesto están relacionados:

i) La concepción del control biológico basada en interacciones de tipo fisiológicas individualizadas, linealizadas y descontextualizadas entre agente de control y otras especies, sean blanco o no-blanco. Se encontraron dos formas de esta simplificación: a) conceptualización del fenómeno de interacción entre el agente de control con especies no-blanco como uno de forma uno-a-uno y lineal, basado casi exclusivamente en características fisiológicas y genéticas de las especies, y excluyendo factores contextuales ambientales; y b) conceptualización simplificada en términos similares de las interacciones entre especies en las comunidades en general, específicamente redes tróficas simplificadas. Lo que redundaba en minimizar la cantidad y frecuencia de las interacciones que podría tener el agente de control con otros organismos, y por ende los posibles efectos directos e indirectos no deseados sobre especies no-blanco, y también sobre los niveles de comunidad y ecosistema.

ii) La concepción del control biológico se basa principalmente en interacciones de tipo fisiológicas entre organismos de la especie agente de control con organismos de la especie blanco; y también entre organismos de la especie agente de control y un número variable de especies no-blanco relacionadas filogenéticamente, omitiendo en general tomar a las relaciones funcionales entre especies como relevantes. Esta concepción central obvia incluir como factores en la propia lógica del control biológico a interacciones, procesos y mecanismos que suceden a nivel de comunidad y ecosistemas. En consecuencia no son tenidos en cuenta aquellos marcos teóricos de la Ecología implicados en dichos procesos y mecanismos, ni para el desarrollo de la tecnología ni para el diseño de las evaluaciones de riesgo de la misma.

iii) Exclusión de mecanismos evolutivos claramente relevantes como la adaptación y la plasticidad fenotípica post-introducción. La falta de inclusión de dichos mecanismos, y los marcos teóricos subyacentes, en el propio diseño y control de la tecnología es crucial para una evaluación de riesgos más abarcativa que la que comúnmente se utiliza.

iv) Simplificación dirigida a restringir el control biológico a temporalidades de procesos fisiológicos y comportamentales del nivel orgánico o inferiores; como también a espacialidades que solamente incluyen los rangos de acción delimitados por la especie blanco a controlar.

El escenario descrito muestra que las teorías de la Ecofisiología, los niveles de organización orgánico e inferiores y sus respectivas escalas espacio-temporales aparecen como las bases epistémicas fundamentales de la tecnología de control biológico de especies no nativas que generan daños económicos y ambientales. Mientras que otras teorías de la Ecología, y la Biología Evolutiva, vinculadas a niveles de organización superiores como los de comunidad, ecosistema y paisajes, son obviadas. Lo que es importante resaltar es que dicha simplificación de las bases epistémicas dista de ser algo esperable o inevitable; de hecho todo lo contrario, los factores sincrónicos (de tipo ecosistémicos o comunitarios) y los diacrónicos (vinculados a lo evolutivos) parecen ser esenciales en el control biológico. Esto lo hemos mostrado a lo largo del trabajo y también queda evidenciado por la comunidad que estudia y practica el control biológico, la cual está discutiendo los puntos aquí sistematizados.

Tal como hemos señalado, las bases epistémicas establecidas en la construcción de una tecnología impactan en la posibilidad de incluir o excluir factores de riesgo asociados, y por ende habilitan la posibilidad de sub-valorar el riesgo de las tecnologías. Quienes investigan y practican el control biológico proponen que aquello que sustenta el éxito de la tecnología, en cuanto a maximizar el control y minimizar los riesgos, es un alto grado de especificidad del agente de control respecto a la especie blanco. O dicho de otra manera, que el agente presente un rango de hospedadores muy pequeño. Sin embargo, se observa un olvido casi sistemático de una variedad de procesos y mecanismos (sincrónicos y diacrónicos), con sus respectivos marcos teóricos asociados, que podrían dar cuenta de tales fenómenos, y el grado de variación o "amplitud de rango", de forma más acabada. Este olvido resulta significativo no sólo para comprender la variación del fenómeno de especificidad del agente de control respecto a la especie blanco sino sobre todo para evaluar las posibilidades reales de no variación (o no cambio en el rango de hospedadores), siendo que de dicho punto depende el éxito de la tecnología. Sin dudas, el escenario descrito tiene un impacto sobre la evaluación de riesgos que comúnmente se hacen en los eventos de control biológico clásico. Lo mismo se concluye respecto a la simplificación de escalas temporales y espaciales. Dicho movimiento implica la omisión de variación en la especificidad fisiológica del agente de control o el rango de hospedadores a escalas temporales y espaciales más amplias, y biológicamente más adecuadas que las que se suelen utilizar. La simplificación descrita implica que no se consideren factores, como por ejemplo los ambientales, que pueden ser causantes de variación en la especificidad fisiológica del agente de control, justamente el fenómeno considerado más relevante para el éxito y la ausencia de riesgos en la tecnología. Lo mismo vale, por ejemplo, para las interacciones tróficas que no son directas (agente de control-especie blanco), su exclusión no permite evaluar de una manera aceptable ciertos aspectos biológicos que son centrales para el funcionamiento y el riesgo del control biológico.

Ahora, ¿cuáles pueden ser las consecuencias de tal simplificación para la concepción de los riesgos asociados al control biológico? La consecuencia es una sub-estimación de riesgos ambientales y económicos asociados al control biológico. Estos riesgos tendrían en principio dos formas. En primer lugar, dado que las pruebas de laboratorio previas a la liberación del agente de control se realizan en situaciones muy diferentes y simplificadas respecto a las condiciones naturales, sub-estiman o directamente omiten el posible impacto negativo del agente biológico de control sobre especies no-blanco. Luego, estas formas de evaluación de riesgo más comúnmente usadas no parecen tener como objetivos cuantificar ni predecir cuáles son los riesgos indirectos que un agente de control puede causar. Es decir, la posible disrupción de procesos de comunidades y ecosistemas, y el subsecuente daño ambiental y económico que esto puede implicar. Si bien hay algunas propuestas para realizar

estimaciones de efectos indirectos a nivel de comunidad y ecosistema (ver por ejemplo Babendreier et al. 2005 y las referencias allí mencionadas), no han sido muy desarrolladas ni son ampliamente utilizadas.

El reconocimiento y la descripción de las simplificaciones epistemológicas asociadas a la tecnología de control biológico puede contribuir, en parte, a la explicación de la falta de éxito que se le puede atribuir a la tecnología. Si bien no se trata de un fracaso rotundo, no son muchos los ejemplos de eventos exitosos y duraderos de control de poblaciones de especies no nativas que generan daños económicos y ambientales. Podría plantearse que al no conceptualizarse, ni tenerse en cuenta, factores más allá de los niveles inferiores de organización se limita abordar el problema en su totalidad y se acarrea lo que de acuerdo a los propios objetivos de intervención de la tecnología serían fallas. A su vez, cabe señalar que nuestro análisis resulta consistente con la simplificación epistemológica que en general puede reconocerse en las tecnologías basadas en conocimientos biológicos; ya sea en la forma de linealización de escenarios complejos o en la elección de ciertos conocimientos y cuerpos teóricos por sobre otros (de entre varios posible). Es decir, parece tratarse de una característica de las tecnologías basadas en conocimientos biológicos que se extiende más allá del caso puntual del control biológico. Como hemos señalado en la introducción, se reconocen simplificaciones para casos de tecnologías productivas y también para aquellas que circulan en el ámbito de la salud. Un denominador común a todos los casos mencionados es que las simplificaciones parecen privilegiar aquellos fenómenos, procesos y mecanismos biológicos que usualmente descansan sobre los niveles inferiores de la jerarquía biológica con sus marcos teóricos y conceptos asociados.

Si consideramos que el modelo tecnocientífico es aquel que relega elementos epistémicos en pos de incorporar elementos económicos, políticos y sociales. Habilitando así cierta prioridad a generar productos y servicios rentables, y valorando la eficiencia y la rentabilidad por sobre la generación y utilización de un contenido epistémico completo, actualizado y confiable (Echeverría, 2003; Pestre, 2005; Linares, 2008); surge el siguiente interrogante: ¿la simplificación del conocimiento científico al tecnológico presenta un carácter necesario? Si bien la respuesta es que efectivamente parece ser una característica extendida en las tecnologías basadas en conocimientos biológicos, una posibilidad poco explorada podría ser que, por el contrario, el acercamiento a los aspectos aplicados redunde en un enriquecimiento del conocimiento, donde las interacciones entre niveles, las complejidades o los aspectos contextuales sean tenidos en cuenta en la formulación de una tecnología. Ciertamente, ello daría otra visión sobre los riesgos que podrían traer aparejadas las distintas tecnologías. Así pues, para el caso puntual de la tecnología de control biológico, y para las tecnologías basadas en conocimiento biológico en general, el aporte de la delimitación y reflexión crítica respecto a las bases epistémicas de las mismas resulta relevante para profundizar la comprensión de sus funcionamientos, alcances y consecuencias ambientales.

## Bibliografía

- Allen, T. F. H., & Starr, T. B. (1982). *Hierarchy: Perspectives for ecological complexity*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Babendreier, D., Bigler, F., & Kuhlmann, U. (2005). Methods used to assess non-target effects of invertebrate biological control agents of arthropod pests. *BioControl*. 50(6), 821-870.
- Binimelis, R., Born, W., Monterroso, I., & Rodríguez-Labajos, B. (2007). Socio-Economic Impact and Assessment of Biological Invasions. En W. Nentwig (Ed.), *Biological Invasions. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. (pp. 331-347). Berlin, Alemania: Springer.
- Briese, D.T. (2003). The centrifugal phylogenetic method used to select plants for host-specificity testing of weed biological control agents: Can and should it be modernised?. En J. H. Spafford et al. (Eds.). *Improving the Selection, Testing and Evaluation of Weed Biological Control Agents. Technical Series No. 7*. (pp. 23-33). Perth, Western Australia: CRC Australian Weed Management.

- Briese, D.T. (2006). Host specificity testing of weed biological control agents: initial attempts to modernize the centrifugal phylogenetic method. *CCBC*, *V*, 32-39.
- Bunge, M. (1966). Technology as applied science. *Technology and Culture*, *7*(3), 329-347.
- Davidson, A.M., Jennions, M., & Nicotra, A.B. (2011). Do invasive species show higher phenotypic plasticity than native species and, if so, is it adaptive? A meta-analysis. *Ecology Letters*, *14*(4), 419-431.
- Davis, M.A. (2009). *Invasion Biology*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid, España: Fondo de Cultura Económica.
- Ehrenfeld, J.G. (2010). Ecosystem Consequences of Biological Invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *41*(1), 59-80.
- Fordyce, J.A. (2006). The evolutionary consequences of ecological interactions mediated through phenotypic plasticity. *Journal of Experimental Biology*, *209*(12), 2377-2383.
- Fowler, S.V., Paynter, Q., Dodd, S., & Groenteman, R. (2012). How can ecologists help practitioners minimize non-target effects in weed biocontrol?. *Journal of Applied Ecology*, *49*(2), 307-310.
- Francese, C., & Folguera, G. (2018). Saberes simplificados, tecnociencia y omisión de riesgos. El caso de los organismos genéticamente modificados. *RUNA*, *39*(2), 5-28.
- Frank, J.H. (1998). How risky is biological control?. *Ecology*, *79*(5), 1829-1834.
- Frank, D.M., Simberloff, D., Bush, J., Chuang, A., & Leppanen, C. (2019). Logical fallacies and reasonable debates in invasion biology: a response to Guiaşu and Tindale. *Biology and Philosophy*, *34*(5), 1-11.
- Guiaşu, R.C., & Tindale, C.W. (2018). Logical fallacies and invasion biology. *Biology and Philosophy*, *33*(5-6), 1-24.
- Huang, S. (2015). Limits to Deterministic-Linear Causality in Biomedicine: Effects of Stochasticity and Non-Linearity in Molecular Networks. En M. Bertolaso (Ed.). *The Future of Scientific Practice: 'bio-techno-logos'*. (pp. 41-64). Pickering y Chatto.
- Hulme, P.E. (2008). Phenotypic plasticity and plant invasions: Is it all Jack?. *Functional Ecology* *22*(1), 3-7.
- Kaufman, L.V., & Wright, M.G. (2017). Assessing probabilistic risk assessment approaches for insect biological control introductions. *Insects*, *8*(3), 67.
- Kaufman, S.R., & Smouse, P.E. (2001). Comparing indigenous and introduced populations of *Melaleuca quinquenervia* (Cay.) Blake: Response of seedlings to water and pH levels. *Oecologia*, *127*(4), 487-494.
- Lacey, H. (1999). Scientific understanding and the control of nature. *Science & Education*, *8*(1), 13-35.
- Lacey, H. (2003). Seeds and their sociocultural nexus. En R. Figueroa & S. Harding (Eds.), *Science and Other Cultures: Issues in Philosophies of Science and Technology*. (pp. 91-105). New York, NY: Routledge.
- Lacey, H. (2012). Reflections on science and technoscience. *Scientiae studia*, *10*, 103-128.

- Lavagnino, N.J., Barbero, S., & Folguera, G. (2018). Caracterización, alcances y dificultades de las «bases biológicas» del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH). Un enfoque desde la Filosofía de la Biología. *Physis*, 28(1), e280110.
- Linares, J.E. (2008). *Ética y mundo tecnológico*. Ciudad de México, México: Fondo de Cultura Económica.
- Louda, S.M., Pemberton, R.W., Johnson, M.T., & Follett, P.A. (2003). Nontarget Effects - The Achilles' Heel of Biological Control? Retrospective Analyses to Reduce Risk Associated with Biocontrol Introductions. *Annual Review of Entomology*, 48(1), 365-396.
- Louda, S.M., & Stiling, P. (2004). The Double-Edged Sword of Biological Control in Conservation and Restoration. *Conservation Biology*, 18(1), 50-53.
- McEvoy, P.B. (1996). Host specificity and biological pest control. *BioScience*, 46(6), 401-405.
- Marone, L., & Bunge, M. (1998). La explicación en ecología. *Boletín de la Asociación Argentina de Ecología*, 7(2), 35-37.
- Martinago, F., Lavagnino, N.J., Folguera, G., & Caponi, S. (2019). Risk factors and genetic bases: The case of attention deficit hyperactivity disorder. *Salud Colectiva*, 15(1), e1952.
- Mazza, G., Tricarico, E., Genovesi, P., & Gherardi, F. (2014). Biological invaders are threats to human health: An overview. *Ethology Ecology and Evolution*, 26(2-3), 112-29.
- McKimmie, T. (2000). The literature and practice of biological control. *Journal of Agricultural and Food Information*, 4(1), 3-19.
- Messing, R.H., & Wright, M.G. (2006). Biological control of invasive species: Solution or pollution?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(3), 132-140.
- Parker, I.M., Rodriguez, J., & Loik, M.E. (2003). An evolutionary approach to understanding the biology of invasions: Local adaptation and general-purpose genotypes in the weed *Verbascum thapsus*. *Conservation Biology*, 17(1), 59-72.
- Pestre, D. (2005). *Ciencia, política y dinero*. Buenos Aires, Argentina: Nueva Visión.
- Pickett, S.T.A., Kolasa, J., & Jones C.G. (2007). *Ecological Understanding: The Nature of Theory and the Theory of Nature*. Elsevier.
- Pigliucci, M., & Preston, K. (Eds.). (2004). *Phenotypic integration: Studying the ecology and evolution of complex phenotypes*. New York, NY: Oxford University Press.
- Pratt, P.D., & Center, T.D. (2012). Biocontrol without borders: The unintended spread of introduced weed biological control agents. *BioControl*, 57(2), 319-329.
- Quintanilla, M.A. (1999). *Tecnología: un enfoque filosófico*. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA.
- Richards, C.L., Bossdorf, O., Muth, N.Z., Gurevitch, J., & Pigliucci, M. (2006). Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. *Ecology Letters*, 9(8), 981-993.
- Schlichting, C.D., & Pigliucci, M. (1998). *Phenotypic Evolution: A Reaction Norm Perspective*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Secord, D., & Kareiva, P. (1996). Perils and pitfalls in the host specificity paradigm. *BioScience*, 46(6), 448-456.

- Simberloff, D. (2012). Risks of biological control for conservation purposes. *BioControl*, 57(2), 263-276.
- Simberloff, D., & Stiling P. (1996). Risks of species introduced for biological control. *Biological Conservation*, 78(1-2), 185-192.
- Simberloff, D., & Stiling, P. (1998). How risky is biological control? Reply. *Ecology*, 79(5), 1834-1836.
- Suarez, A.V., & Tsutsui, N.D. (2008). The evolutionary consequences of biological invasions. *Molecular Ecology*, 17(1), 351-360.
- Tobin, P.C. (2018). Managing invasive species. *F1000Research*, 7, 1686.
- Turner, M.G., Gardner, R.H., & O'Neill, R.V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. New York, NY: Springer.
- Urban, D.L., O'Neill, R.V., & Shugart, H.H. (1987). Landscape Ecology. A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience*, 37(2), 119-27.
- Wapshere, A.J. (1974). A strategy for evaluating the safety of organisms for biological weed control. *Annals of Applied Biology*, 77(2), 201-211.
- Wiens, J.A., Van Horne, B., & Noon B.R. (200). Integrating landscape structure and scale into natural resource management. En J. Liu & W. Taylor (Eds.). *Integrating Landscape Ecology into Natural Resource Management*. (pp. 23-67 ). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- van Wilgen, B.W., Moran, V.C., & Hoffmann J.H. (2013). Some perspectives on the risks and benefits of biological control of invasive alien plants in the management of natural ecosystems. *Environmental Management*, 52(3), 531-540.
- Williamson, M. (1996). *Biological Invasions*. London, UK: Chapman & Hall.
- Zenni, R.D., Lamy, J-B., Lamarque, L.J., & Porté, A.J. (2014). Adaptive evolution and phenotypic plasticity during naturalization and spread of invasive species: Implications for tree invasion biology. *Biological Invasions*, 16(3), 635-644.
- Zimmermann, H.G., Moran, V.C., & Hoffmann, J.H. (2000). The renowned cactus moth, *Cactoblastis cactorum*: Its natural history and threat to native *Opuntia* floras in Mexico and the United States of America. *Diversity and Distributions*, 6(5), 259-269.