



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

FACULTAD DE CIENCIAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

CAMPO: FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

**EN LA BÚSQUEDA DE CONEXIONES: LA
NECESIDAD DE EXPERTICIAS INTEGRATIVAS EN EL
ESTUDIO INTERDISCIPLINARIO DE LA TIERRA**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA:

DANIEL IVÁN GARDUÑO RUÍZ

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. SIOBHAN F. GUERRERO McMANUS
CEIICH, UNAM

Ciudad Universitaria, CDMX. Agosto 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice general

Introducción	1
1. Las dificultades de la interdisciplina: el caso de Daisyworld y del IGBP . .	5
1.1. La construcción del modelo de Daisyworld	6
1.2. Gaia y Daisyworld en la formación de las CST	16
1.3. La construcción de modelos de la Tierra en el IGBP	23
1.4. Conclusiones	28
2. Aclarando las dificultades: la interdisciplina desde la filosofía de la ciencia	31
2.1. La interdisciplina desde la filosofía de la ciencia	32
2.2. Las dificultades epistémicas de la interdisciplina integrativa	43
2.3. Las dificultades de la interdisciplina en el estudio de la Tierra como un sistema	53
2.4. Conclusiones	60
3. Superando las dificultades: abstracciones integrativas, metodologías intermedias y la necesidad de experticias integrativas en la interdisciplina .	63
3.1. Superando las dificultades: abstracciones integrativas y metodologías intermedias	65
3.2. La tensión esencial y la necesidad de experticias integrativas en la interdisciplina	74
3.3. Conclusiones	93
4. Conclusiones generales	95
Bibliografía	101

Agradecimientos

Agradezco a mi madre, a mi padre y a mis hermanas por su apoyo absoluto en cada uno de los momentos de mi vida, por ayudarme a formarme como persona y por todo lo que me han enseñado creciendo a su lado.

Quiero dar las gracias a Siobhan Guerrero por todos los consejos que me diste mientras escribía esta tesis y por todas las veces que me inspiraste con tus palabras. Desde que te conocí has sido un ejemplo de lucha y de trabajo, pero también de alegría y jovialidad, y por ello te admiro.

Mi agradecimiento para Vivette García por enseñarme por primera vez el mundo de la filosofía de la ciencia y por ayudarme a llenar el vacío filosófico que me hacía mucha falta llenar en mi vida.

Gracias a Vincenzo Politi por sus valiosos comentarios, que contribuyeron a mejorar mucho este trabajo, y por compartir y agrandar mi interés por la filosofía de la interdisciplina. También agradezco a Edna Suárez y a Adriana Murguía, por su lectura y por sus comentarios, que fueron de mucha ayuda para mejorar la calidad de esta tesis.

A mis amigos y amigas de la maestría y de la licenciatura les agradezco todos los buenos momentos y todas las discusiones. Aprendí y espero seguir aprendiendo mucho de ustedes.

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo del Conacyt y del proyecto PAPIIT IA401416, “Poblaciones de cognición: historias interconectadas de ciencia en América Latina”.

Nota sobre la redacción de esta tesis

Hay dos aspectos de la redacción de esta tesis que merecen una aclaración temprana. Primero, decidí dividir el texto en pequeñas secciones de una o dos páginas esperando que esto lo hiciera más claro y fácil de leer.

Segundo, en muchas ocasiones durante la redacción de esta tesis me encontré utilizando el plural masculino con toda normalidad, pero después de una reflexión me pareció que algunas frases en plural como “los científicos” pueden ocultar el hecho de que hay muchas científicas cuyo trabajo es muy importante. Por ello, en varias ocasiones decidí utilizar un plural femenino.

Introducción

En las últimas décadas la interdisciplina ha incrementado y ha tendido a ganar importancia en las investigaciones científicas. Hoy en día las instituciones de administración y financiamiento de la ciencia más importantes del planeta hacen constantes llamadas a la interdisciplina, argumentando que es indispensable para estudiar algunos problemas de gran importancia en la actualidad (MacLeod, 2016, 3). La idea es que hay algunos problemas, como el cambio climático y la contaminación del aire, que no se pueden entender o estudiar con las herramientas de una sola disciplina o especialidad, de modo que es muy importante promover la interdisciplina para poder estudiarlos. Así, lo que impulsa la interdisciplina es la urgencia de abordar los grandes retos que representan este tipo de problemas.

Como estudiante de ciencias de la Tierra, una carrera interdisciplinaria, creo que es importante y necesario que se promueva la interdisciplina. En mi carrera me enseñaron que hay ciertos fenómenos relacionados con la Tierra, como el clima y la contaminación de la atmósfera, que no se pueden entender y explicar sin el esfuerzo conjunto de diferentes disciplinas. Sin embargo, aunque creo que es excelente que se promueva la interdisciplina, considero que también es importante reconocer que practicar la interdisciplina no es sencillo y que puede haber muchas dificultades que impidan el avance de una investigación interdisciplinaria. Puesto que diferentes disciplinas y especialidades tienen diferentes lenguajes, conceptos, objetivos, métodos y diferentes maneras de entender lo que es una buena investigación científica, puede resultar complicado superar estas diferencias y lograr una colaboración interdisciplinaria para estudiar este tipo de problemas.

Esto lo pude constatar en varias ocasiones durante mi carrera. Una de las cosas más importantes que aprendí al estudiar ciencias de la Tierra es que para explicar fenómenos como la contaminación de la atmósfera no basta con restringirse al estudio de la atmósfera. También hay que estudiar cómo interactúa la atmósfera con los otros componentes de la Tierra, como la hidrósfera o la biósfera. Es decir, para estudiar este tipo de fenómenos hay que ver a la Tierra como un sistema interconectado. Esto requiere encontrar formas de facilitar la integración de las herramientas de diferentes disciplinas o especialidades, ya que tener herramientas que permitan estudiar fenómenos distintos no significa que podamos estudiar cómo se relacionan estos fenómenos simplemente

sumando estas herramientas. Por ejemplo, tener un modelo para estudiar los océanos y un modelo para estudiar la atmósfera no quiere decir que podamos estudiar las relaciones entre la atmósfera y los océanos simplemente sumando estos modelos. Para esto hay que relacionar estos modelos, hay que integrarlos. Durante los cuatro años que duró mi carrera constaté que integrar los conceptos, modelos, explicaciones, metodologías u otras herramientas de diferentes disciplinas o especialidades para estudiar un mismo problema no es nada fácil. Los y las científicas de distintas especialidades pueden entender un mismo problema de maneras muy diferentes (teniendo distintas ideas sobre los aspectos de importancia para su estudio), y las diferencias metodológicas y conceptuales entre distintas especialidades pueden ocasionar dificultades en el estudio interdisciplinario de estos problemas.

En esta tesis indagaremos cómo se podrían superar algunas de las dificultades asociadas con las investigaciones interdisciplinarias en la ciencia. Para esto analizaremos dos estudios de caso relacionados con las ciencias de la Tierra en los que la interdisciplina fue exitosa y averiguaremos qué tipo de dificultades se presentaron para la interdisciplina, cómo se superaron y qué podemos aprender de estos casos sobre cómo superar estas dificultades en otras investigaciones interdisciplinarias. Así, el objetivo principal de esta tesis es analizar estos estudios de caso para entender qué tipo de problemas dificultaron la interdisciplina, qué es lo que permitió hacer interdisciplina a pesar de estas dificultades, y qué podemos aprender a partir de estos casos sobre cómo superar estas dificultades en otros casos. Cabe aclarar que en esta tesis hablaremos de la interdisciplina principalmente desde la filosofía de la ciencia, pero es importante mencionar que hay dimensiones históricas y sociológicas de la interdisciplina que no abordaremos en esta tesis.

Comenzaremos el capítulo 1 presentando estos estudios de caso. El primer caso que analizaremos es el de la construcción del modelo de Daisyworld. Este modelo fue creado para apoyar a la hipótesis de Gaia y mostrar que la Tierra puede entenderse como un sistema autorregulado en el que las interacciones de los seres vivos con su ambiente regulan algunas variables superficiales de nuestro planeta. El segundo caso que analizaremos es el del Programa Internacional Geósfera Biósfera (International Geosphere Biosphere Program, IGBP por sus siglas en inglés). Este fue un proyecto de investigación que tenía por objetivo la construcción de modelos integrales de la Tierra para estudiar los cambios globales.

Como veremos, estos dos estudios de caso están muy relacionados y tienen mucho que ver con el desarrollo de las ciencias del sistema Tierra (CST), un programa de investigación que busca estudiar a la Tierra como un sistema complejo indagando cómo las interacciones de sus diferentes componentes causan ciertos fenómenos. El modelo de Daisyworld busca explicar cómo las interacciones entre los seres vivos y su ambiente pueden dar lugar a la regulación del ambiente superficial de la Tierra. El IGBP busca explicar cómo las interacciones entre los diferentes componentes del

sistema Tierra dan lugar a determinados cambios globales. En ambos casos había que lidiar con el problema de integrar las herramientas de diferentes especialidades para estudiar fenómenos relacionados con la Tierra. En el capítulo 1 revisaremos la historia y el desarrollo de Daisyworld y del IGBP para entender por qué era complicado hacer interdisciplina en dichos casos. Concluiremos que en el caso de Daisyworld el problema consistía en encontrar una manera de integrar un modelo de dinámica de poblaciones perteneciente a la ecología y un modelo del clima perteneciente a la climatología para explicar cómo las interacciones entre los seres vivos de un planeta con su ambiente pueden regular la temperatura superficial de este planeta. En el caso del IGBP, veremos que en uno de sus muchos proyectos el problema consistía en integrar modelos ecológicos con modelos climáticos para estudiar las relaciones entre el cambio climático y los ecosistemas.

En el capítulo 2, una vez que entendamos por qué era complicado hacer interdisciplina en el caso de Daisyworld y del IGBP, aclararemos con precisión qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en dichos casos. Para esto nos apoyaremos en algunas discusiones sobre la interdisciplina en la filosofía de la ciencia. Veremos que no hay una sola manera de definir la interdisciplina, sino que hay una pluralidad de nociones de interdisciplina que pueden ser válidas. No obstante, veremos que tanto el caso de Daisyworld como el del IGBP se pueden entender como casos de interdisciplina integrativa, en los que la interdisciplina se da al integrar elementos de distintas especialidades para estudiar problemas específicos. También veremos que el concepto de integración se puede entender de muchas maneras, pero la integración relevante en la interdisciplina tiene que ver con encontrar maneras de conectar o relacionar los elementos de diferentes especialidades para estudiar problemas específicos. Además, veremos que para hacer interdisciplina hay que superar algunas dificultades. En particular hay que superar la dificultad de aprovechar la inconmensurabilidad semántica y metodológica entre diferentes especialidades, y hay que evitar el problema del imperialismo; es decir, hay que evitar que una especialidad imponga sus métodos y valores en el estudio de un problema que requiere de la interdisciplina para poder ser estudiado.¹ El análisis de estas dificultades nos llevará a concluir que en el caso de Daisyworld había que superar dos problemas para poder hacer interdisciplina: el problema de conectar modelos con variables muy diferentes y difíciles de relacionar, y el problema de evitar que una especialidad se apropie de un problema científico que requiere de las herramientas de diferentes especialidades para poder ser resuelto. En el caso del IGBP había que superar

¹Como veremos en el capítulo 2 (véase la página 45), la inconmensurabilidad generalmente ha sido leída como un aspecto negativo que impide la interdisciplina. No obstante hay nuevas lecturas que hacen una interpretación más positiva de la inconmensurabilidad, ya que permite que surjan nuevas especialidades con nuevos métodos y conceptos para abordar problemas que se salen del marco de las especialidades existentes. El propósito de la interdisciplina no debe ser eliminar de manera definitiva las diferencias metodológicas y conceptuales entre especialidades, sino aprovechar el hecho de que existen estas diferencias para resolver problemas específicos.

estos mismos problemas, pero también había que encontrar una manera de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre la ecología y la climatología para poder hacer modelos integrales de la Tierra y estudiar los cambios globales.

En el capítulo 3 explicaremos cómo se superaron estas dificultades. Argumentaremos que en el caso de Daisyworld la construcción de una abstracción integrativa fue lo que permitió superar los problemas, permitiendo relacionar las variables de modelos muy diferentes sin que una sola especialidad se apropiara del problema de explicar la autorregulación de la Tierra. También argumentaremos que en el caso del IGBP la construcción de una metodología intermedia fue lo que permitió resolver el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre la ecología y la climatología para poder construir modelos integrales de la Tierra y estudiar las relaciones entre el cambio climático y los ecosistemas. Después veremos que hay algo común en la forma en que se resolvieron los problemas de la interdisciplina en estos casos y argumentaremos que es necesario para resolver estos problemas en cualquier caso de interdisciplina integrativa. Para superar estos problemas y poder hacer interdisciplina integrativa es necesario mantener una tensión, análoga a la tensión entre pensamiento convergente y divergente de la que hablaba Kuhn, entre científicas con una experticia integrativa y científicas con una experticia contributiva. Las científicas con experticia integrativa tienen habilidades que les permiten proponer formas de integrar los elementos de diferentes especialidades, mientras que las científicas con experticia contributiva tienen la capacidad de contribuir al desarrollo de una especialidad. Argumentaremos que en el caso de Daisyworld y del IGBP fue necesario mantener esta tensión para resolver los problemas de la interdisciplina en el estudio de la Tierra, y que es necesario mantener esta tensión para poder hacer interdisciplina integrativa.

Así, gracias al análisis de los estudios de caso del modelo de Daisyworld y del IGBP, y gracias a la idea de la tensión esencial de Kuhn, concluiremos que para superar las dificultades de la interdisciplina y poder integrar las herramientas de diferentes especialidades para resolver problemas específicos es necesario mantener una tensión entre científicas con experticia integrativa y científicas con experticia contributiva. Esto nos llevará a concluir que en las investigaciones interdisciplinarias, y en particular en el estudio interdisciplinario de la Tierra, es necesario que haya científicas con experticia integrativa que busquen conexiones entre las herramientas de diferentes especialidades para resolver problemas específicos. No obstante, también veremos que mantener esta tensión no es suficiente para que una investigación interdisciplinaria integrativa sea exitosa.

1| Las dificultades de la interdisciplina: el caso de Daisyworld y del IGBP

It is little use having climatologists, earth scientists, ocean scientists, community ecologists, and atmospheric chemists all working on separate subjects, separate buildings, and worse, with no common language between them. Geophysiology, the scientifically correct usage for Gaia science, is beginning to unite scientists in the common cause of a rational environmentalism.

(Lovelock, 1995, xv)

The real connections that link the geosphere and biosphere to each other are subtle, complex and often synergistic; their study transcends the bounds of specialized, scientific disciplines . . .

(National Research Council, 1983, viii)

Desde los años sesenta, en el contexto de la preocupación por el medio ambiente y por los cambios globales del planeta, han surgido nuevas propuestas científicas que buscan estudiar a la Tierra como un sistema complejo; es decir, que buscan estudiar cómo es que la interacción entre los componentes de la Tierra dan lugar a ciertos comportamientos que emergen a nivel global. Tal es el caso de la famosa hipótesis de Gaia y del programa de investigación llamado ciencias del sistema Tierra (CST). Esta forma de estudiar al planeta se originó cuando algunos científicos y científicas se dieron cuenta de que no es posible entender fenómenos de escala global, como la regulación de la temperatura del planeta, el cambio climático o el hoyo en la capa de ozono, estudiando los componentes del planeta como si estuvieran aislados, sino que es necesario estudiar las interacciones de estos componentes. Si bien esta aproximación al estudio del planeta es muy prometedora y puede ser considerada como exitosa en el sentido de que en los últimos años se han creado proyectos de investigación, revistas científicas y programas de licenciatura y posgrado que

buscan estudiar a la Tierra desde esta perspectiva, también plantea algunos retos para los científicos y científicas. Uno de estos retos es la interdisciplina.

Como constatan los epígrafes de este capítulo, la interdisciplina es algo imprescindible para quienes estudian al planeta desde esta perspectiva. Por una parte, James Lovelock, el principal autor de la hipótesis de Gaia, reflexiona sobre la inconveniencia de la investigación no interdisciplinaria en el estudio de la Tierra. Por otra parte, Herbert Friedman, quien propuso la creación del IGBP, una de las principales instituciones de las CST, afirma la necesidad de la interdisciplina en este programa en un documento publicado por el Consejo Nacional para la Investigación de Estados Unidos (NRC, por sus siglas en inglés). Esto es así porque una vez que admitimos que la Tierra se comporta como un sistema complejo e interconectado, hay que encontrar formas de entender cómo los procesos físicos, biológicos, químicos, geológicos o sociológicos interactúan en los diferentes componentes del sistema Tierra, y esto requiere encontrar formas de facilitar la integración de las contribuciones (conceptos, modelos, explicaciones, prácticas etc.) de diferentes disciplinas y especialidades. No obstante, puesto que diferentes disciplinas y especialidades tienen diferentes lenguajes, conceptos, objetivos, métodos y diferentes maneras de entender lo que es una buena investigación científica, puede resultar complicado superar estas diferencias y lograr una colaboración interdisciplinaria.

El objetivo de este capítulo es estudiar la historia de la construcción del modelo de Daisyworld en la hipótesis de Gaia y de la construcción de modelos de la Tierra en las CST con el objetivo de entender por qué era complicado hacer interdisciplina en estos casos. Comenzaremos revisando en la sección 1.1 la historia de la construcción del modelo más importante de la hipótesis de Gaia: Daisyworld. Veremos que para crear este modelo había que encontrar una forma de relacionar un modelo de dinámica de poblaciones y un modelo del clima, lo cual no era nada sencillo. Después, en la sección 1.2 explicaremos qué son y cómo surgieron las CST, y veremos que es un programa de investigación muy relacionado con la hipótesis de Gaia. Finalmente, en la sección 1.3 revisaremos muy brevemente la historia de las prácticas de modelación de una de las instituciones más importantes de las CST: el IGBP. Veremos cómo en uno de los proyectos de este programa se dieron dificultades a la hora de buscar integrar los modelos de distintas especialidades para crear modelos de la Tierra.

1.1. La construcción del modelo de Daisyworld

“Nunca intenté que Daisyworld fuera más que una caricatura, y acepto que podría resultar una mala caricatura cuando finalmente entendamos a la Tierra. Con todo, aún lo veo como mi invención más preciada...” (Lovelock, 2000, 248-249). Estas son las palabras que James Lovelock, el principal autor de la hipótesis de Gaia, escribió ante las críticas que se

hicieron al modelo de Daisyworld. No obstante, si bien se podría decir que Daisyworld es una caricatura, yo creo que ha sido una de las caricaturas más importantes en la historia de la modelación de la Tierra. Este modelo no sólo contribuyó enormemente a legitimar el estudio científico de la teoría de Gaia, sino que constituyó la columna vertebral de sus prácticas de modelación. Además, Daisyworld tuvo una gran influencia en uno de los programas de investigación sobre el estudio de la Tierra más relevantes actualmente: las CST, y en la forma en la que se modelaba a la Tierra en una de las principales instituciones de este campo: el IGBP.

Si queremos entender cómo se originó Daisyworld y por qué era difícil hacer interdisciplina en este caso, debemos comenzar por analizar el desarrollo de la hipótesis de Gaia. Daisyworld fue creado para apoyar a esta hipótesis y para responder a algunas críticas que se le hicieron, por lo que si no entendemos cómo surgió la hipótesis de Gaia, qué es lo que propone y cuáles fueron las reacciones a ella, no podríamos entender este modelo. De acuerdo con Lovelock, la idea de Gaia le vino a la mente cuando se encontraba trabajando en la NASA en problemas relacionados con la detección de vida en Marte (Lovelock, 2016, vii; Lovelock, 2009, 159; Lovelock, 2000, 251). Antes de trabajar para la NASA, Lovelock trabajaba como ingeniero químico en el Instituto Nacional para la Investigación Médica de Londres (NMIR, por sus siglas en inglés). Podría parecer extraño que un químico que trabajaba en un instituto de investigación médica haya sido invitado a trabajar en la NASA. No obstante, esto se debe a que durante el tiempo que trabajó para el NMIR, Lovelock se dedicó a inventar varios instrumentos, dentro de los cuales se encuentra el detector de captura de electrones, un aparato que permite detectar compuestos químicos en concentraciones ínfimas. Este novedoso instrumento, que tenía muchas aplicaciones potenciales en la búsqueda y detección de compuestos relacionados con la vida, le trajo una invitación para trabajar como asesor de la NASA (Lovelock, 2000, 228).

Mirar hacia afuera para descubrir lo que hay dentro

Un tiempo después de haber sido contratado en la NASA en 1965, Lovelock fue llamado a la oficina del director del instituto en el que se llevaba a cabo la búsqueda de vida en Marte. El motivo: quejas de su constante escepticismo ante la forma en que sus colegas planeaban descubrir si Marte alojaba vida. La idea era diseñar instrumentos para enviarlos en un robot que tomara muestras del suelo marciano para ver si contenía compuestos característicos de la vida en la Tierra. Lovelock creía que debía haber una forma más general de saber si había vida en Marte, ya que esta aproximación presuponía que la vida en Marte es igual a la vida en la Tierra. A parte de un regaño, Lovelock recibió un ultimátum para desarrollar una nueva idea o dejar de lado su escepticismo y dejar trabajar a sus colegas. Lo que se le ocurrió fue que un planeta con vida debería de tener una

entropía mayor, que se traduciría en un menor grado de equilibrio termodinámico en su atmósfera, que un planeta sin vida. De este modo, para saber si existía vida en Marte, sólo había que hacer observaciones de su composición atmosférica y ver si estaba fuera de equilibrio termodinámico.¹

Esta indagación sobre la vida en Marte llevó a Lovelock a fijarse en las particularidades de nuestro planeta. Nuestra atmósfera no sólo está fuera de equilibrio termodinámico, sino que ha mantenido una composición relativamente constante durante un gran periodo de tiempo. Pequeñas variaciones en esta composición podrían tener efectos nocivos para la vida en la Tierra. Por ello, Lovelock pensó que de alguna manera los organismos vivos del planeta debían de contribuir a mantener la composición de la atmósfera, y otras variables que definen al ambiente superficial como la temperatura o el pH, constantes. Así surgió la hipótesis según la cual “el ensamble total de organismos vivos que constituyen la biósfera puede actuar como una sola entidad para regular la composición química, el pH superficial y posiblemente también el clima” (Lovelock & Margulis, 1974a, 3). De este modo, en sus inicios la hipótesis de Gaia afirmaba que la Tierra se comporta como un sistema autorregulado que mantiene su ambiente superficial constante gracias a la biósfera.

Los primeros pasos y el camino hacia la celebridad

En 1967, dos años después de que naciera la hipótesis, el novelista y buen amigo de Lovelock, William Golding, le sugirió el nombre de “Gaia” para sus ideas.² Lovelock aceptó el nombre y durante los siguientes ocho años trató de divulgar la hipótesis de Gaia dentro de la comunidad científica. En este periodo Lynn Margulis jugó un rol fundamental, aportando ideas novedosas y publicando artículos sobre Gaia junto con Lovelock (Lovelock, 1972; Margulis & Lovelock, 1974; Lovelock & Margulis, 1974b,a). Sin embargo, estos autores no tuvieron mucho éxito al principio ya que sus artículos no fueron muy leídos. Lo interesante es que la hipótesis de Gaia se volvió popular cuando Lovelock decidió comenzar a publicar artículos y libros de divulgación sobre Gaia, dirigiéndose al público en general en vez de a la comunidad científica. En 1975 Lovelock y su colega Sidney Epton publicaron un artículo sobre la hipótesis en una de las revistas de ciencia más populares de Inglaterra: *The New Scientist* (Lovelock & Epton, 1975). El artículo fue todo un éxito. En breve, Lovelock recibió invitaciones por parte de 21 casas editoriales para hacer un libro sobre Gaia, pero se decidió por *Oxford University Press* debido a su gran prestigio (Gribbin & Gribbin, 2009, capítulo 7). El libro se publicó en 1979 y fue muy bien recibido por el público. Lovelock incluso comenta que después de publicar este libro, “la llegada de cartas a su correo pasó de ser una lluvia ligera a un

¹Sobre este gracioso evento, véase (Merchant, 2010, 212-218).

²Sobre la relación de Golding con Lovelock, véase (Ruse, 2013, 182-186). Sobre el divertido bautizo de Gaia, véase (Garduño Ruíz, 2017, 37-38).

aguacero, y desde entonces se ha mantenido así” (Lovelock citado en [Ruse, 2013](#), 36). El éxito de la hipótesis de Gaia entre el público en general se debió a que al final de la década de los setenta, el movimiento ambientalista ya había implantado en la conciencia de la sociedad una preocupación por el planeta, de modo que cuando Lovelock comenzó a publicar textos dirigidos al público en general, sus ideas se volvieron muy populares ([Ruse, 2013](#), 18-40 y 198-205). Esta idea estaba llamando tanto la atención que incluso algunos científicos y científicas comenzaron a tomarla en cuenta, desatándose una serie de fuertes críticas hacia la hipótesis de Gaia.

La hipótesis de Gaia es atacada

En los años ochenta Gaia fue criticada por dos grupos de científicos. Por una parte Ford Doolittle y Richard Dawkins, ambos biólogos, hicieron notar la imposibilidad de que la selección natural actuando al nivel de individuos egoístas diera lugar a la autorregulación planetaria que proponía la hipótesis de Gaia. Por otra parte, algunos geoquímicos como James Walker, James Kasting y P. B. Hays criticaron a Gaia diciendo que para explicar la autorregulación planetaria no es necesario tomar en cuenta aspectos relacionados con la vida en el planeta, sino que es suficiente con tomar en cuenta aspectos físicos y químicos.

Doolittle llevó a cabo su crítica en un artículo en el que compara a Gaia con un libro para niños: “El doctor Dolittle en la luna”, de Hugh Lofting ([Doolittle, 1981](#)). En dicho libro el Dr. Dolittle viaja a la luna y se maravilla al descubrir que allí existe una organización llamada el Ministerio de la Vida que se dedica a regular la vida lunar para evitar que haya guerras. Para Doolittle no hay forma de que la selección natural, operando al nivel de individuos egoístas preocupados solamente por su propia supervivencia en ambientes locales, pueda dar lugar a la emergencia de una autorregulación a nivel planetario sin la intervención natural de algo tan improbable como el Ministerio de la Vida. Por su parte, Dawkins llevó a cabo su crítica en su célebre libro “el fenotipo extendido” ([Dawkins, 1982](#), 235-237). Para este autor, pensar que la selección natural podría actuar a nivel global implica pensar cosas tan absurdas como que la Tierra puede reproducirse y competir con otros planetas.

La cuestión es un poco más complicada, históricamente hablando, en cuanto a las críticas de los geoquímicos, ya que se podrían considerar como críticas implícitas o indirectas. En 1981 Walker, Hays y Kasting publicaron un artículo en el que proponen un mecanismo de retroalimentación negativa para explicar la autorregulación de la temperatura del planeta ([Walker et al., 1981](#)). Básicamente sugieren que mientras más aumenta la temperatura superficial, más aumenta la erosión de las rocas superficiales y la disolución de silicatos, lo cual consume dióxido de carbono en la atmósfera y regula la temperatura superficial. Este mecanismo implica que la hipótesis de Gaia no es necesaria para explicar la autorregulación, ya que es un mecanismo que no toma en cuenta aspectos

relacionados con la vida en el planeta, y si se puede explicar la autorregulación sin necesidad de apelar a la vida en la Tierra, la hipótesis de Gaia debe ser considerada incorrecta. Si bien estos autores no mencionan a la hipótesis de Gaia en este artículo, es claro que sabían de ella. De hecho, Lovelock comenta que durante una discusión sobre este artículo que mantuvo con Walker en una conferencia a principios de los ochenta, Walker le dijo que “su motivación era principalmente mostrar que Gaia no era necesaria para la autorregulación y que la geoquímica podría explicarla por sí misma” (Lovelock, 2009, 165). Para salir adelante con su hipótesis, Lovelock tenía que enfrentar estas dos críticas. Si quería sostener que la biósfera era un factor suficiente para explicar la autorregulación, debía decir cómo era esto posible bajo la selección individual, y por qué los procesos que identificaron los geoquímicos no eran relevantes para este fin.

La hipótesis de Gaia estaba mal

Lovelock ha aceptado en varias ocasiones que la manera en la que formuló originalmente la hipótesis de Gaia era incorrecta (por ejemplo, Lovelock, 1995, 19; Lovelock, 2009, 168-171). Las críticas que hicieron los biólogos y los geoquímicos apuntaban a que la autorregulación planetaria no podía provenir sólo de la biósfera como él pensaba. Si bien la vida juega un papel importante en regular al ambiente global del planeta, también había otros factores importantes. Pero estaba claro que la autorregulación no podía provenir sólo de procesos abióticos como pensaban los geoquímicos en ese entonces. No obstante, si la biósfera era importante para explicar la autorregulación, había que explicar cómo se podía afirmar esta importancia sin negar que la selección natural actúa a nivel individual.

Con la ayuda de Andrew Watson, quien ahora es un reconocido investigador en CST, Lovelock se dedicó a tratar de resolver estos problemas con el fin de responder a las críticas de los biólogos y los geoquímicos. Para estos autores, la solución debía ser que la regulación es el resultado de las interacciones tanto de procesos bióticos como abióticos; es decir, de las interacciones de los seres vivos con los océanos, los continentes, la atmósfera y los demás componentes del sistema Tierra. Para apoyar esta nueva hipótesis Lovelock y Watson construyeron un modelo de un planeta idealizado en el que la regulación de la temperatura superficial surge mediante las interacciones de los seres vivos con el ambiente, y en el que no se contradice la suposición de que la selección natural actúa a nivel individual. Ahora, es importante mencionar que antes de crear este modelo Lovelock y Watson publicaron una respuesta a la crítica de los geoquímicos argumentando que la vida jugaba un papel muy importante en el mecanismo que habían propuesto, ya que los organismos vivos aceleran el proceso de meteorización de las rocas, lo cual hace que la regulación de la temperatura sea más eficiente (Lovelock & Watson, 1982).

Un problema interdisciplinario

Construir un modelo que muestre que la autorregulación planetaria surge debido a la interacción de los seres vivos con los océanos, los continentes, la atmósfera y los demás componentes del sistema Tierra es sin duda una tarea muy compleja. Caracterizar las interacciones de millones de organismos con estos componentes no es factible, pues hay una gran cantidad de procesos involucrados. De alguna manera hay que simplificar el problema, pero por más que se simplifique, no se puede resolver con las herramientas de una sola disciplina o especialidad. Por ejemplo, si lo abordamos sólo con climatología, y dejamos de lado a la ecología, nos daremos cuenta de que no tendremos una forma de caracterizar cómo cambian las comunidades de organismos con los cambios en el clima y en la temperatura superficial de la Tierra. En cambio, si lo abordamos sólo con la ecología, no podremos caracterizar cómo los organismos provocan cambios en el clima. Este es un problema interdisciplinario porque para abordarlo hay que tomar en cuenta las perspectivas y las herramientas de diferentes especialidades.

Así, para probar que la autorregulación puede surgir mediante las interacciones de los seres vivos con su ambiente, Lovelock y Watson tuvieron que integrar modelos de distintas especialidades: un modelo de dinámica de poblaciones perteneciente a la ecología, y un modelo del clima perteneciente a la climatología. A continuación haremos un recuento de lo que dicen estos modelos y después veremos cómo Lovelock y Watson los integraron para crear Daisyworld.

El modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince

En 1981 Carter y Prince publicaron un modelo que buscaba explicar los límites de la distribución geográfica de los organismos (Carter & Prince, 1981). De acuerdo con estos autores, aunque es comúnmente aceptado que la distribución de un organismo es controlada por el clima, no es claro que los cambios espaciales en algunos factores climáticos tengan un efecto negativo en la supervivencia que se manifieste en una determinada distribución de los organismos. Esto porque muchas veces los límites biogeográficos de una población son muy abruptos, comparados con los gradientes climáticos suaves. Ellos piensan que esta incongruencia se debe a que en las explicaciones de los límites biogeográficos, se ha ignorado que las poblaciones de organismos cambian y pueden colonizar otras áreas. Así, una mejor explicación de los límites biogeográficos debería tomar en cuenta que los cambios geográficos en el clima no sólo afectan el desempeño de los organismos en un sitio dado, sino que también afectan su capacidad para colonizar otras áreas.

Estos autores proponen utilizar un modelo matemático de epidemiología, que sí toma en cuenta la capacidad colonizadora de los organismos, para explicar los límites biogeográficos. El modelo que proponen consiste en la siguiente ecuación:

$$\frac{dy}{dt} = y(\beta x - \gamma) \quad (1.1)$$

Donde, para una especie dada, y es el número de sitios ya colonizados por unidad de área; x es el número de sitios no ocupados, o disponibles para colonizar por unidad de área; β es la tasa de transferencia exitosa; es decir, la tasa de éxito de colonización de áreas desocupadas, y γ es la tasa en la que los organismos son removidos de un área. Básicamente, este modelo nos dice que el número de sitios ocupados por una especie, y por tanto su distribución geográfica, depende de qué tanto espacio hay disponible para colonizar, qué tanto éxito tienen los organismos en colonizar nuevos sitios, y qué tan rápido son removidos de un sitio particular.

Un modelo del clima sencillo

En los libros de texto sobre ciencia del clima es común encontrar un modelo muy sencillo cuyo fin es modelar la temperatura promedio global del planeta (por ejemplo, McGuffie & Henderson-Sellers, 2014, 140-144; Hartmann, 1994, 23-26). En este modelo se considera a la Tierra como un punto sin dimensiones cuya temperatura depende del balance de energía entre la radiación que absorbe debido al Sol, y la radiación que emite debido a que todo cuerpo con una temperatura absoluta mayor a cero emite radiación. Igualando la energía absorbida y la energía emitida se obtiene la siguiente ecuación:

$$\sigma 4T_E^4 = S(1 - a) \quad (1.2)$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann, T_E es la temperatura superficial promedio global de la Tierra, S es la constante solar y a es el albedo promedio de la Tierra; es decir, el porcentaje de la radiación que llega a la Tierra que es reflejada y no absorbida. Básicamente, esta ecuación nos permite calcular la temperatura superficial de la Tierra en términos de las propiedades radiativas del Sol y de la Tierra.

El modelo de Daisyworld

Para responder a las críticas hechas a la teoría de Gaia, Lovelock y Watson buscaron crear un modelo que mostrara que las interacciones de los seres vivos con el ambiente pueden causar la regulación de la temperatura de la Tierra. Para esto utilizaron el modelo del clima sencillo y el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince. La manera particular en la que integraron estos modelos dio lugar al modelo de Daisyworld (Lovelock & Watson, 1983).

Daisyworld es un modelo matemático que describe un planeta imaginario en donde sólo hay dos tipos de seres vivos: margaritas blancas y negras. Al igual que la Tierra, Daisyworld orbita alrededor de un sol que va envejeciendo con el tiempo y que va

aumentando la cantidad de radiación que emite conforme envejece, lo cual provoca que la temperatura superficial de Daisyworld se incremente con el tiempo. Este incremento en la temperatura representa un problema para las margaritas que viven en Daisyworld porque, al igual que todos los seres vivos, estas margaritas sólo pueden vivir en un determinado rango de temperatura. No obstante, el modelo muestra que la interacción entre las margaritas y su ambiente provoca la regulación de la temperatura en Daisyworld, lo cual ocasiona que las margaritas puedan vivir más tiempo del que vivirían sin la regulación.

El proceso regulativo ocurre de la siguiente manera: al inicio, cuando el sol emite poca radiación, la temperatura superficial es baja, ya que el planeta absorbe poca radiación. Dado que las margaritas negras tienen un menor albedo (es decir, absorben una mayor cantidad de radiación), éstas tienden a estar más calientes y más cómodas en el ambiente frío de Daisyworld, por lo que tienen una mayor población que las margaritas blancas. No obstante, mientras la cantidad de radiación solar va aumentando, la temperatura superficial de Daisyworld aumenta también, lo que provoca que las margaritas negras se calienten demasiado. En cambio, las margaritas blancas absorben menos radiación y no se calientan tanto, por lo que están más cómodas en este ambiente y tienden a aumentar su población. En este proceso la superficie del planeta cubierta por margaritas blancas aumenta, lo que ocasiona que la cantidad de radiación solar absorbida por Daisyworld disminuya y que la temperatura superficial del planeta tienda a estabilizarse. De este modo, la manera en la que las margaritas responden a un cambio en el ambiente, que en este caso es el aumento de la temperatura, provoca cambios en las propiedades radiativas de Daisyworld, lo cual provoca que se regule la temperatura. En otras palabras, los cambios en el ambiente causan cambios en los organismos, que a su vez causan cambios en el ambiente, creándose un ciclo de retroalimentación que regula el ambiente. Así, la interacción entre las margaritas y su ambiente, provoca la regulación de la temperatura.

Este modelo tiene cinco ecuaciones. Las primeras dos están inspiradas en el modelo de Carter y Prince, y describen cómo las margaritas blancas y negras colonizan nuevas áreas y van cambiando su distribución espacial con los cambios de temperatura:

$$\frac{d\alpha_w}{dt} = \alpha_w[\alpha_g\beta(T_w) - \gamma] \quad (1.3)$$

$$\frac{d\alpha_b}{dt} = \alpha_b[\alpha_g\beta(T_b) - \gamma] \quad (1.4)$$

Donde α_w , α_b y α_g son respectivamente la fracción del área de Daisyworld cubierta por margaritas blancas, margaritas negras, y suelo disponible para colonizar, de manera que $\alpha_w + \alpha_b + \alpha_g = 1$. A su vez, γ es la tasa de mortalidad de las margaritas, y β es su tasa de crecimiento, que es una función que depende de la temperatura de la siguiente manera:

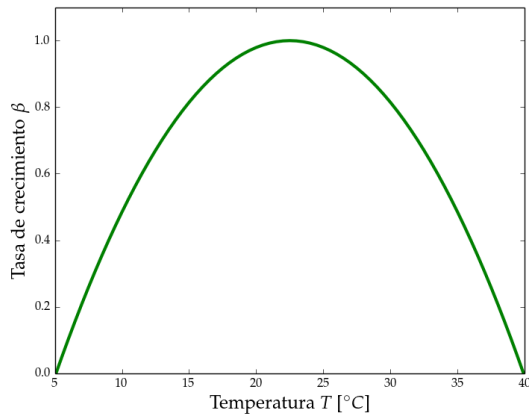


Figura 1.1

$\beta(T_i) = 1 - 0.0033(T_i - T_{opt})^2$, donde el subíndice i se puede remplazar por w (margaritas blancas) o b (margaritas negras), T_i es la temperatura local sentida por las margaritas y $T_{opt} = 22.5^\circ\text{C}$ es la temperatura óptima de crecimiento. Esta ecuación nos dice cómo cambia la tasa de crecimiento de las margaritas con la temperatura, y si la graficamos como en la figura 1.1, vemos que las margaritas sólo pueden crecer entre 5°C y 40°C , y su temperatura óptima de crecimiento es de 22.5°C .

La tercera ecuación nos dice que el albedo de Daisyworld; es decir, el porcentaje de radiación solar reflejada por el planeta, depende de los albedos de las margaritas y de la fracción de área que ocupan en Daisyworld:

$$A = \alpha_w a_w + \alpha_b a_b + \alpha_g a_g \quad (1.5)$$

Donde A es el albedo total de Daisyworld, y $a_w = 0.75$, $a_b = 0.25$ y $a_g = 0.5$ son respectivamente el albedo de las margaritas blancas, de las margaritas negras, y del suelo disponible para colonizar.

La cuarta ecuación nos dice que la temperatura local T_i sentida por las margaritas depende de la temperatura global T , de la eficacia de la transferencia de calor entre el ambiente global y local, que se describe por un coeficiente de transferencia térmica q , y de la diferencia entre el albedo total del planeta A y el albedo de una margarita particular a_i :

$$T_i^4 = q(A - a_i) + T^4 \quad (1.6)$$

Finalmente, la quinta ecuación está inspirada en el modelo del clima sencillo, y nos dice que la energía absorbida por Daisyworld es igual a la energía que emite:

$$SL(1 - A) = \sigma T^4 \quad (1.7)$$

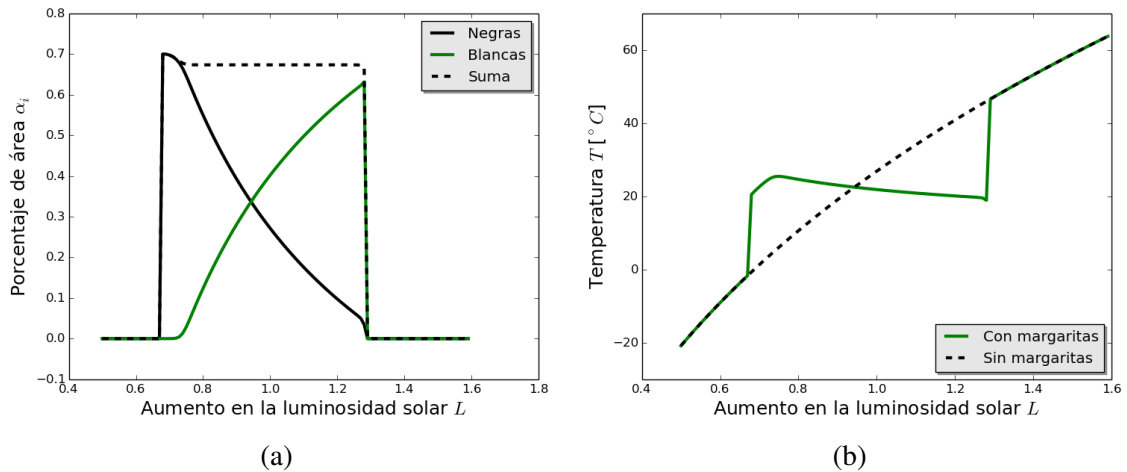


Figura 1.2

Donde S es la constante solar del sol de Daisyworld, L es una variable normalizada ajustable que describe el aumento de la luminosidad solar, y σ es la constante de Stefan-Boltzmann. Si resolvemos este sistema de ecuaciones, obtenemos los resultados mostrados en la figura 1.2. En la figura 1.2a vemos que al principio, cuando el sol de Daisyworld emite poca radiación, las margaritas negras cubren una mayor área en el planeta. Sin embargo, conforme la radiación aumenta, el área que cubren las margaritas negras decrece y el área que cubren las margaritas blancas aumenta. Durante todo el proceso, la cantidad total de vida, representada por la suma de las áreas cubiertas por las margaritas blancas y negras, se mantuvo aproximadamente constante.

En la figura 1.2b vemos la comparación de la evolución de la temperatura de Daisyworld conforme crece la luminosidad solar, con margaritas y sin margaritas. Esta figura muestra que la presencia de margaritas regula la temperatura de Daisyworld, de modo que si no existieran las margaritas, la regulación no aparecería. En otras palabras, si no se toma en cuenta a la biósfera la autorregulación no podría surgir.

Estos son los resultados del modelo de Daisyworld y como vemos, muestran que las interacciones entre las margaritas y su ambiente provocan la regulación de la temperatura a pesar de que no hay ninguna suposición que indique que la selección natural no actúa al nivel de margaritas egoístas, y que si no se tomara en cuenta a la biósfera en el modelo, la autorregulación no aparecería.

Las dificultades de la interdisciplina en el caso de Daisyworld

Para responder a las críticas de los biólogos y los geoquímicos, Lovelock y Watson tuvieron que enfrentarse con el problema de integrar modelos de diferentes especialidades con el fin de mostrar que las interacciones entre los seres vivos del planeta y su ambiente pueden ocasionar la regulación de la temperatura de la Tierra. Concretamente,

tuvieron que encontrar una forma de relacionar las variables del modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y de un modelo del clima sencillo. Esto era complicado porque estos modelos hablan de cosas muy diferentes y no tienen nada en común, por lo que si tan sólo los juntamos tal como están no obtendríamos nada. Así, para lograr la integración de estos modelos, Lovelock y Watson tuvieron que hacer algo más que una simple suma de modelos. Para poder decir algo acerca de las interacciones de los seres vivos con su ambiente, Lovelock y Watson tuvieron que encontrar una forma de relacionar estos modelos de manera coherente. En el capítulo 3 analizaremos qué es lo que permitió esta integración.

1.2. Gaia y Daisyworld en la formación de las CST

Daisyworld permitió responder a las críticas de los geoquímicos y de los biólogos, contribuyendo al avance de la teoría de Gaia. No obstante, desde mediados de los años ochenta y hasta principios de este siglo se desarrollaron una serie de críticas a Daisyworld que se enfocaron tanto en las características del modelo como en sus resultados. En cuanto a sus características, se dijo que el modelo es demasiado abstracto y simple como para ser un buen modelo de la Tierra (Kirchner, 2002; Kirchner, 1989). En cuanto a sus resultados, se dijo que solamente aplican en un caso muy particular porque las margaritas tienen características muy específicas que permiten que surja la regulación, de modo que si descartamos la hipótesis de que los organismos en Daisyworld deban tener estas características, e introducimos otro tipo de organismos, la autorregulación desaparece o se ve afectada (por ejemplo, Keeling, 1991; Robertson & Robinson, 1998; Cohen & Rich, 2000). Ante estas críticas se desarrolló una serie de respuestas que buscaron hacer más complejo el modelo (por ejemplo, Adams & Carr, 2003; Adams *et al.*, 2003; von Bloh *et al.*, 1997), y mostrar que los resultados de Daisyworld no solamente aplican en un caso particular (por ejemplo, Lovelock, 1992; Harding & Lovelock, 1996; Harding, 1999).

Si bien Daisyworld fue un modelo muy criticado, a mi parecer tuvo un papel muy importante en la formación de las CST y tuvo mucha influencia en la forma en la que se modela a la Tierra en este campo. En esta sección haremos un breve recuento del origen de las CST y de su relación con Gaia y con Daisyworld con el fin de comprender qué son las CST y cómo surgieron. Rastrear el origen y el desarrollo de este programa de investigación no es nada sencillo. La gran diversidad y heterogeneidad de instituciones, actores y eventos involucrados en la creación de este campo hace muy complicado presentar con detalle y claridad su historia. Por ello, en esta sección solamente nos limitaremos a presentar algunos aspectos generales de dicha historia.

Definición común de las CST

Las CST comúnmente se definen como un programa de investigación interdisciplinario que busca estudiar a la Tierra como un sistema complejo para tratar de entender cómo los diferentes componentes que conforman al sistema interactúan, y cómo dichas interacciones tienen efectos a escala global.³ En este programa comúnmente se divide a la Tierra en cuatro o más componentes: geósfera, biósfera, hidrósfera, atmósfera (y a veces criósfera y antropósfera). En las CST se piensa que si queremos entender cómo funciona el sistema Tierra como un todo, no podemos estudiar cada uno de estos componentes por separado, sino que hay que estudiar cómo estos componentes interactúan y se afectan mutuamente en una dinámica que da como resultado ciertos efectos globales. También se piensa que no hay que entender las interacciones entre estos sistemas de manera lineal, pues estas interacciones pueden entrar en ciclos de retroalimentación positiva y negativa que pueden afectar un proceso dado de manera no lineal. Además, se piensa que dicho estudio requiere de una perspectiva interdisciplinaria, ya que los procesos que tienen lugar en los componentes del sistema no distinguen entre marcos disciplinarios y para entenderlos es necesario utilizar distintas disciplinas. El objetivo de un estudio de la Tierra como este comúnmente es construir modelos que nos permitan actuar ante los cambios globales presentes y futuros que podría sufrir nuestro planeta.

La formación de las CST: una efervescencia institucional en los años ochenta

La idea de crear un programa de investigación cuyo propósito fuera estudiar la Tierra como un todo desde una visión sistémica para entender los cambios globales que tienen lugar en el planeta, no se puede rastrear a una sola institución o a un solo grupo de personas, pero sí se puede enmarcar en el contexto de la preocupación por los cambios globales de nuestro planeta. Ante la urgencia de los peligros que representan fenómenos como el hoyo e la capa de ozono o el cambio climático, era necesario crear un programa de investigación que permitiera entender estos fenómenos a nivel global. Esta iniciativa fue frecuentada en varias instituciones durante los años ochenta en lo que [Dutreuil \(2016, 476-503\)](#) llama “una efervescencia institucional”.⁴ En este periodo varias instituciones publicaron reportes que argumentaban que era necesario crear un nuevo programa de investigación para estudiar los cambios globales de la Tierra. Los reportes coinciden en que dicho programa de investigación se distinguiría en tres aspectos: 1) por tener un nuevo objeto de estudio: el sistema Tierra; 2) por tener una aproximación interdisciplinaria en la investigación de este objeto de estudio; y 3) por tener como objetivo la comprensión y

³Algunas de las definiciones más comunes que se promueven en la literatura de las CST pueden encontrarse en: [Schellnhuber, 1999, C19–C23](#); [Lawton, 2005, 1965](#); [Steffen et al., 2004, 254](#); [Lenton, 2016, 1](#); [Skinner et al., 2004, 6](#); [Seitzinger et al., 2015, 2](#); [Hamilton, 2016](#).

⁴En [Dutreuil \(2016, 482, 484\)](#) pueden encontrarse tablas de las instituciones y actores relevantes en esta efervescencia institucional.

la predicción de los cambios globales de la Tierra. Todas las presentaciones que buscan dar cuenta de las CST coinciden en que, de las instituciones que tuvieron un papel en esta efervescencia institucional, dos fueron particularmente importantes: la NASA y el IGBP.

La NASA: origen y aspectos instrumentales de las CST

La NASA fue la institución donde se originó el nombre de las CST y donde tomó forma la primera propuesta concreta para crear este programa de investigación. Se podría pensar que es extraño que la NASA, una agencia dedicada a la exploración del espacio exterior, tuviera interés en crear un programa de investigación dedicado a estudiar la Tierra. Sin embargo, los motivos por los que la NASA empezó a estudiar nuestro planeta tienen que ver con uno de sus principales objetivos: los viajes espaciales. Después de que Estados Unidos ganó la “guerra espacial” en 1969, la NASA sufrió varios recortes de presupuesto que llevaron a cancelar las misiones Apolo que pretendían hacer más viajes espaciales para realizar aterrizajes en la Luna (Goldstein, 2010, 514). Además, en la década de 1970, en el contexto de la preocupación social por el hoyo en la capa de ozono, los científicos y científicas de la NASA temían que el congreso de Estados Unidos se negara a aprobar los viajes espaciales, debido a que estos provocaban emisiones destructoras de ozono (Goldstein, 2010, 509).

Ante estos obstáculos la NASA necesitaba un discurso que le permitiera ganar reconocimiento, por lo que utilizó el estudio de la Tierra como una estrategia para resaltar la importancia social de sus investigaciones. Esta estrategia buscaba que al fomentar el estudio de los cambios globales de la Tierra la NASA ganara reconocimiento por su importancia social. Los primeros frutos de esta estrategia surgieron en 1982, cuando bajo la dirección de Shelby Tilford, un científico dedicado al estudio de la química atmosférica que en ese entonces era el encargado de las actividades relacionadas con las ciencias de la Tierra en la NASA, surgió el “Proyecto Hábitat”, una iniciativa internacional que buscaba usar tecnología espacial para estudiar cómo los cambios globales provocados por los humanos, afectan la habitabilidad de la Tierra. Desafortunadamente este proyecto fracasó debido a la dificultad de la cooperación internacional (Goldstein, 2010, 513-516). Después del fracaso, James Beggs, administrador de la NASA en ese entonces, dio instrucciones para seguir trabajando en un proyecto sobre la Tierra, por lo que en 1983 Tilford se puso en contacto con Francis Bretherton, un reconocido meteorólogo, para intentar poner en marcha un programa de investigación interdisciplinario sobre la Tierra. Bretherton se encargó de ponerse en contacto con científicos y científicas de diversas disciplinas para formar un comité cuya tarea sería establecer los objetivos y los planes a futuro de este programa de investigación. Así surgió el llamado comité de las CST (Goldstein, 2010, 516-520).

En 1986 el comité publicó un reporte donde se establece que el objetivo de las CST

es “obtener entendimiento científico del sistema Tierra entero [...] describiendo cómo sus componentes y sus interacciones han evolucionado, cómo funcionan y cómo se espera que continúen evolucionando a todas escalas” (NASA Earth System Science Committee, 1986, 4). Dos años más tarde, el comité publicó otro reporte mucho más extenso en el que se plantea que en este programa de investigación, “el sistema Tierra es estudiado como un conjunto relacionado de procesos interactuando, en lugar de una colección de componentes individuales” (NASA Earth System Science Committee, 1988, 13). En ambos reportes se fomentaba la creación de modelos del sistema Tierra para ganar mayor entendimiento de nuestro planeta, y se promovía un programa de observación satelital de la Tierra llamado sistema de Observación de la Tierra (EOS por sus siglas en inglés), que permitiría la recopilación a nivel global de medidas importantes para comprender al planeta. Con el paso del tiempo la NASA se iría enfocando más en los aspectos instrumentales de la recopilación de datos por satélite, y dejaría al IGBP la tarea de la coordinación de la investigación a nivel internacional para el desarrollo de modelos de la Tierra.

El IGBP y la organización de la investigación en las CST

El IGBP fue propuesto por primera vez en 1983 por Herbert Friedman, en ese entonces jefe de la comisión en ciencias físicas del Consejo Nacional para la Investigación de Estados Unidos. En este año Friedman organizó un evento en Woods Hole, Massachusetts para discutir la pertinencia de crear un programa de investigación internacional e interdisciplinario para el estudio global de la Tierra. En el reporte de este evento Friedman escribe que un concepto como el del IGBP llama a “una aventura holística y valiente en la organización de la investigación: el estudio de sistemas enteros por una ciencia interdisciplinaria, en un esfuerzo por entender los cambios globales en el ambiente terrestre y en sus sistemas vivos” (National Research Council, 1983). Friedman había participado en 1957 en la organización de uno de los eventos más importantes de las ciencias de la Tierra: el Año Geofísico Internacional (AGI), un esfuerzo para promover la cooperación internacional de científicos y científicas para el estudio de la Tierra, y a 25 años de este evento quería crear otro programa colaborativo internacional. La motivación principal de Friedman era que en el AGI se ignoró por completo el papel de la biósfera y de los sistemas vivos en el estudio de la Tierra, y él consideraba que era necesario crear un programa para el estudio global de la Tierra en el que sí se tomaran en cuenta estos factores (Uhrqvist, 2015, 273-274). Thomas Malone, un meteorólogo que trabajaba en el Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU, por sus siglas en inglés) se entusiasmó por la idea, y la presentó en el ICSU con el fin de buscar financiamiento para el programa, basándose tanto en las ideas de Friedman como en las ideas del Proyecto Hábitat que había fracasado bajo la dirección de Tilford (Kwa, 2005, 1927).

En 1984, el ICSU aprobó un plan de dos años para la creación del IGBP que estaría comandado por un grupo de planificación dirigido por Bert Bolin, un famoso meteorólogo (Kwa, 2006, 458). Además, a pesar de que el IGBP era una iniciativa internacional, en este año se formó el “comité de los Estados Unidos para un IGBP” bajo la dirección de John Eddy, un físico dedicado al estudio de la interacción del Sol con la Tierra, demostrando la ansiedad de este país para tomar el liderazgo en la conformación del IGBP. En 1986 surgió el primer reporte del IGBP dirigido por Bolin, en donde se establece que el objetivo de este programa era “describir y entender los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan la totalidad del sistema Tierra, el ambiente único que este provee para la vida, los cambios que ocurren en este sistema, y la manera en la que estos cambios están influenciados por acciones humanas” (IGBP, 1986, 3). Después de 1986 el IGBP comenzó a coordinar la investigación internacional de la Tierra, teniendo discusiones sobre qué disciplinas y especialidades deberían ser consideradas para estudiar los cambios globales, y creando diversos proyectos de investigación para este estudio. De este modo, como dice Dutreuil (2016, 500-501) “las dos instituciones centrales en los años ochenta para la constitución de la CST...la NASA y el IGBP...tuvieron roles distintos,... la NASA se ocupó esencialmente de las cuestiones instrumentales y técnicas ligadas al lanzamiento de satélites,... y el IGBP debía concentrarse en las cuestiones estratégicas de la definición y de la estructuración de la investigación a nivel internacional”.

Una conspiración no siniestra

La idea de crear un nuevo programa de investigación interdisciplinario para el estudio de los cambios globales tuvo lugar en varias instituciones, con el IGBP y la NASA jugando un papel central. Cada una de estas instituciones tenía sus particularidades y diferencias sobre cuestiones como las escalas de tiempo pertinentes para estudiar la Tierra y el tipo de disciplinas que debían ser tomadas en cuenta. No obstante, había suficiente solapamiento y entrecruzamiento entre las diferentes versiones como para hablar de un consenso en los objetivos del programa, en la importancia de estudiar a la Tierra como un sistema, y en el carácter interdisciplinario de este estudio. De hecho, cuando Friedman propuso la idea de crear el IGBP, la NASA, que también tenía el objetivo de crear un programa de investigación sobre los cambios globales, expresó públicamente su apoyo (Kwa, 2005, 927). Además, había muchos autores que eran miembros tanto del comité de las CST de la NASA como del comité de los Estados Unidos para un IGBP (por ejemplo, Francis Bretherton, James McCarthy, Berrien Moore, James Baker y Kevin Burke eran miembros de ambos comités). El carácter positivo de esta convergencia entre los autores y las distintas instituciones de la efervescencia institucional, y la sinergia resultante, llevó a Burton Edelson, jefe de la Oficina de Ciencia Espacial y Aplicaciones de la NASA, a decir que esto era resultado de una conspiración no siniestra.

La relación entre la hipótesis de Gaia y las CST

Tanto la hipótesis de Gaia como las CST surgieron en la NASA. Por una parte Lovelock formuló la hipótesis de Gaia cuando trabajaba para esta institución apoyando la búsqueda de vida en Marte. Por otra parte, el programa de investigación de las CST surgió como una estrategia de esta institución para resaltar su importancia social. Pero más allá de esta relación, algunos autores y autoras han hecho notar que las CST se originaron a partir de la hipótesis de Gaia. John Lawton dice que “las penetrantes ideas de Lovelock. . . fueron los principales peldaños en la aparición de esta nueva ciencia [las CST]” (Lawton, 2005, 1695). Sébastien Dutreuil menciona que “no cabe duda de que la idea de sistema Tierra que fue la base de la efervescencia de los años ochenta... viene de Gaia” (Dutreuil, 2016, 621). Incluso el mismo Lovelock comenta que “actualmente la mayoría de las científicas aceptan la teoría de Gaia, pero todavía rechazan el nombre de Gaia y prefieren hablar de las CST [...]” (Lovelock, 2009, 161).⁵ Estoy totalmente de acuerdo con estos autores. La iniciativa de estudiar a la Tierra como un sistema complejo ya estaba presente en la idea de Lovelock de estudiar las interacciones de los sistemas que componen a la Tierra para entender la autorregulación.

Se podría objetar que si uno revisa las publicaciones de las instituciones centrales de las CST, es difícil encontrar evidencia de la importancia central de Gaia en la formación de este programa. Por ejemplo, en ninguno de los dos principales reportes del comité de las CST de la NASA, ni en ninguna de las 9 entrevistas del proyecto de historia oral de la NASA sobre los 20 años de las CST se habla de Gaia ni de Lovelock.⁶ Lo mismo sucede con los planes y reportes de las actividades del IGBP, y solamente se habla de Gaia en dos de los 84 números de la revista “Global Change”, en la que se presentaban los avances de las investigaciones coordinadas por el IGBP.⁷ No obstante, si uno revisa publicaciones menos formales, como libros de texto sobre las CST, es común encontrar menciones a Gaia y agradecimientos a Lovelock por haber dado los primeros pasos en pensar a la Tierra como un sistema.⁸ Además, Dutreuil (2016, 623-627) ha mostrado convincentemente que hay muchas conexiones entre Lovelock y los principales actores de las CST. Por ejemplo: Shelby Tilford, cuyo principal tema de investigación en la NASA era sobre el ozono, debía de saber quién era Lovelock y qué era Gaia, pues Lovelock fue el primer autor en realizar mediciones del ozono estratosférico para confirmar el modelo de destrucción del ozono por el que Mario Molina y Sherwood Rowland ganarían el premio

⁵Otros autores que hacen afirmaciones similares son Margulis (2004, 8) y Conway (2010, 79-84).

⁶Las entrevistas pueden consultarse en https://www.jsc.nasa.gov/history/oral_histories/ess.htm.

⁷Los números de la revista “Global Change” a los que me refiero son el 41 y el 84. Las publicaciones del IGBP pueden consultarse en <http://www.igbp.net/publications.4.d8b4c3c12bf3be638a8000897.html>.

⁸Algunos ejemplos de libros de texto en los que hay agradecimientos a Lovelock son: Cornell *et al.* (2012, xvii), Rollinson (2007, 2), Jacobson *et al.* (2000, 6), Schellnhuber (2001, 17), Kump *et al.* (1999, 18-19), Liss (2001, 67-68).

Nobel de química en 1995. Francis Bretherton fue director del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR, por sus siglas en inglés) de 1974 a 1980, una de las instituciones más favorables a Gaia, en la que Lovelock había hecho varias estancias y negocios. Thomas Malone menciona explícitamente a la hipótesis de Gaia, y la pone como ejemplo del nuevo paradigma que se buscaba desarrollar con el IGBP (Malone, 1999, 133). Bert Bolin fue quien extendió una invitación a Lovelock y Margulis para realizar una de sus primeras publicaciones en la revista *Tellus* en 1974. De este modo, si bien Gaia no se menciona en las publicaciones formales de las CST, esto no quiere decir que no haya sido importante para su formación, pues sí es mencionada en publicaciones informales, y hay algunas conexiones entre Lovelock y los principales actores de este campo que sugieren que estos actores sabían del concepto de sistema Tierra de Lovelock cuando estaban desarrollando las CST.

Otra objeción podría ser que la idea de pensar a la Tierra como un sistema ya estaba presente en autores anteriores a Lovelock, tales como James Hutton o Vladimir Vernadsky. Sin embargo se puede argumentar que los sistemas que identifican autores como estos no corresponden exactamente con la idea de Lovelock de ver a la Tierra como un sistema complejo en analogía con un sistema vivo. Por ejemplo, Vernadsky se centra completamente en el estudio de la Tierra desde un punto de vista biogeoquímico, y deja de lado por completo la climatología, un aspecto que es muy importante en el sistema Tierra de Lovelock y de las CST. Del mismo modo, el sistema Tierra de Hutton pone demasiado énfasis en los aspectos geológicos del ciclo de las rocas, dejando de lado otros aspectos importantes para el sistema Tierra de Lovelock, como la importancia de la vida para la regulación del sistema. Además, me parece que el intento de releer las ideas de Hutton, quien vivió un siglo antes que Lovelock, para acomodarlas con las ideas sobre Gaia, es un tanto anacrónico y no reconoce que surgieron en contextos históricos muy diferentes.⁹ A mi parecer, no hay ninguna duda de que la hipótesis de Gaia sentó las bases para el entendimiento de la Tierra como un sistema complejo. Bases que después serían utilizadas y desarrolladas por los actores de las CST. Esto queda claro en el papel que ha tenido y sigue teniendo el modelo de Daisyworld, uno de los modelos más importantes de la hipótesis de Gaia, en las CST: un modelo pedagógico para entender cómo se modela a la Tierra en este campo.

Daisyworld como un modelo pedagógico en las CST

Si Gaia sentó las bases para pensar en la Tierra como un sistema complejo en las CST, Daisyworld sirvió como el modelo más sencillo que nos permite entender cómo podemos poner en práctica la modelación interdisciplinaria de la Tierra vista como un sistema complejo. Así, por ejemplo, Daisyworld es usado en varios libros de texto con

⁹Sobre la diferencia entre el sistema Tierra de Lovelock y los de Vernadsky y Hutton véase Dutreuil (2016, 508-513, 527-537).

una visión sistémica de la Tierra como un modelo pedagógico para entender cómo es que las interacciones entre diferentes componentes del sistema Tierra pueden provocar ciclos de retroalimentación que dan lugar a un comportamiento específico del sistema Tierra (por ejemplo, [Kump *et al.*, 1999](#), 21-35; [Wilkinson, 2006](#), 69-74; [Lenton, 2009](#), 280-302; [Rollinson, 2007](#), 2-3). De igual manera, es común colocar a Daisyworld en la parte más sencilla del espectro de modelos útiles en las CST (por ejemplo, [Claussen *et al.*, 2000](#), 7). La idea es que hay toda una gama de modelos que son útiles en las CST en distintas situaciones dependiendo del tipo de problemas que se estén tratando, que va desde modelos muy sencillos, como Daisyworld, hasta modelos muy complejos que incluyen una gran cantidad de procesos.

De este modo, hay una cierta continuidad en la forma en la que se modela a la Tierra en Daisyworld y la forma en la que se modela a la Tierra en los modelos más complejos de las CST. En Daisyworld se trata de mostrar que la interacción de los seres vivos con el clima, da lugar a un ciclo de retroalimentación negativa que mantiene la temperatura promedio global del planeta constante. En los modelos más complejos de las CST, se trata de explorar más a fondo las interacciones entre los componentes del sistema Tierra, viendo cómo los intercambios de materia y energía entre dichos componentes dan lugar a cambios o comportamientos específicos en el planeta. En última instancia, y de forma muy simplificada, se podría decir que los modelos complejos tratan de hacer lo mismo que Daisyworld (es decir, investigar las interacciones entre los componentes del sistema Tierra) de una forma mucho más compleja. En ambos casos se trata de entender cómo las interacciones entre los componentes del sistema causan fenómenos globales, y en ambos casos hay que superar el problema de integrar las contribuciones de distintas disciplinas en un mismo modelo.

1.3. La construcción de modelos de la Tierra en el IGBP

Una de las máximas expresiones de los esfuerzos por construir modelos del sistema Tierra se encuentra en el IGBP. En este programa se llevaron al límite los esfuerzos por tratar de crear modelos interdisciplinarios que nos permitieran entender y predecir los cambios globales de la Tierra. Dada la enorme cantidad de procesos físicos, químicos, biológicos, geológicos etc. que ocurren en la Tierra, y dada la gran cantidad de interacciones entre estos procesos, es de esperarse que una empresa como la del IGBP haya tenido muchas dificultades, especialmente a la hora de integrar las contribuciones de distintas disciplinas para crear modelos integrales de la Tierra. Así, en la presente sección examinaremos la forma en a que el IGBP organizó y promovió la construcción de modelos del sistema Tierra para entender por qué era complicado hacer interdisciplina en este caso.

Estructura y etapas del IGBP

El IGBP organizó y coordinó los esfuerzos de modelación en las CST desde 1984, año en que fue aprobado el proyecto para la planificación del IGBP, hasta el 2015, año en que el IGBP terminó sus actividades y se convirtió, al unirse junto con otros proyectos, en un nuevo programa de investigación llamado “Future Earth”. En 1986, después de publicar su primer reporte, esta institución empezó una etapa preparativa en la que hizo un sondeo de los estudios disponibles que serían útiles y de las áreas en las que aún hacía falta trabajar (IGBP, 1986, 16). A partir de 1989 el IGBP se volvió operacional y comenzó a organizar los esfuerzos de modelación en distintos proyectos que tenían objetivos particulares y que se enfocaron en problemas específicos. Durante los 30 años de existencia del IGBP se crearon 15 proyectos en total. El propósito de la mayoría de estos proyectos era estudiar más a fondo procesos importantes que tenían lugar en componentes específicos del sistema Tierra. Por ejemplo, el primer proyecto del IGBP se lanzó en 1989 con el nombre JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study), y su objetivo era estudiar el ciclo global del carbono en el océano, investigando las interacciones entre el océano y otros componentes del sistema Tierra. Sin embargo, un proyecto fue particularmente importante debido a que no se enfocaba en componentes específicos, sino que buscaba integrar los resultados de los demás proyectos al nivel del sistema Tierra entero: el proyecto GAIM (Global Analysis Integration and Modelling). En 2004 este proyecto fue renovado con un nuevo nombre: AIMES (Analysis, Integration and Modelling of the Earth System).¹⁰

Así, el IGBP estructuró los esfuerzos de modelación en torno a un conjunto de proyectos enfocados en estudiar componentes específicos del sistema Tierra cuyos resultados serían acoplados en modelos globales por un proyecto integrador. Cada proyecto tenía su propio comité organizador y estaba compuesto por sub-proyectos particulares. Esta estructura se mantuvo durante los 30 años del IGBP, pero la manera en la que se modelaba al sistema experimentó algunos cambios durante este periodo. De hecho, de acuerdo con *Seitzinger et al. (2015)* podemos distinguir tres etapas en la historia de las prácticas de modelación del IGBP. En la primera etapa, que comprende de 1986 al 2000, la modelación se basó en la idea de que un mejor conocimiento del sistema Tierra requería un conocimiento profundo de sus componentes, por lo que los primeros proyectos del IGBP estaban muy centrados en la investigación de componentes específicos. La segunda etapa, de 1998 a 2004, fue una etapa de transición en la que se puso más énfasis en la interacción de los componentes del sistema Tierra, promoviendo aún más la integración y la interdisciplina. En esta fase la idea de la Tierra como un sistema autorregulado (proveniente de Gaia) jugó un papel muy importante (*Uhrqvist, 2015, 280-285*). Finalmente en la tercera fase, de 2004 a 2015, los nuevos proyectos

¹⁰Para ver información sobre los proyectos del IGBP véase <http://www.igbp.net/people/igbpcoreprojects.4.950c2fa1495db7081e17ed0.html>.

del IGBP comenzaron a poner más énfasis en las interacciones de los componentes del sistema Tierra y en los estudios de sustentabilidad. Además, se comenzó a tomar en cuenta el papel de los humanos en los cambios globales (Uhrqvist, 2015, 285-289). Durante estas tres etapas, se dio una importancia central a la integración.

Importancia y dificultad de la integración

Desde sus primeros años los y las organizadoras y participantes del IGBP sabían que el éxito del programa dependería de encontrar formas convincentes de integrar las contribuciones de distintas disciplinas, y los modelos de distintos componentes, en modelos del sistema Tierra entero (Uhrqvist, 2015, 277). De hecho, desde el principio se pensaba que la integración sería la principal contribución científica del IGBP (Uhrqvist, 2015, 274). Precisamente por esto, GAIM y AIMES son considerados como los proyectos faros del IGBP, ya que fueron principalmente estos proyectos los que se encargaron de integrar los resultados de los otros proyectos del programa. Esto tiene mucho sentido, pues el objetivo principal del IGBP era crear modelos integrales del sistema Tierra con el fin de entender y predecir los cambios globales, y esta tarea no sería posible sin la integración.

No obstante, se produjeron muchas dificultades a la hora de decidir cuál sería la mejor forma de buscar esta integración. Por una parte se discutió mucho sobre el tipo de disciplinas y especialidades que deberían ser tomadas en cuenta. Por ejemplo, durante el periodo de planificación del IGBP había diferencias en torno a si las ciencias sociales o las ciencias espaciales deberían ser incluidas en el programa (Kwa, 2005, 928). Por otra parte, había disputas en torno al tipo de aproximación a la modelación de la Tierra que se debería de tomar para lograr la integración. No estaba claro qué sería mejor, estudiar más a fondo los componentes del sistema o estudiar más a fondo el sistema como un todo (Uhrqvist, 2015, 278). Pero hubo un problema que dificultaba la integración y que es particularmente interesante para los propósitos de esta tesis: no era claro cómo integrar las contribuciones de distintas disciplinas para crear modelos integrales de la Tierra.

El caso de la ecología y la climatología: entre lo local y lo global

En el periodo de planificación del IGBP se consideraba que este programa se distinguiría de otros programas pasados internacionales e interdisciplinarios, como el Año Geofísico Internacional (AGI) o el Programa Internacional de Biología (PIB), porque no sólo se dedicaría a estudiar los componentes específicos de la Tierra como si estuvieran aislados, sino que también estudiaría las interacciones entre estos componentes. En particular, al proponer el IGBP Herbert Friedman quería que, a diferencia del AGI, en este programa sí se tomara en cuenta el papel de la biósfera en el estudio del sistema Tierra. Así, desde el periodo de planificación del IGBP se sabía que la ecología tendría un papel muy

importante en el programa al momento de estudiar el rol de los seres vivos en nuestro planeta.

Uno de los proyectos en los que se buscó poner en marcha la integración de las contribuciones de la ecología con las contribuciones de la climatología en los modelos del sistema Tierra, fue el GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems). Este proyecto comenzó sus actividades en 1992 y tenía como objetivo estudiar los efectos del cambio climático, del cambio de la composición atmosférica, y del cambio del uso de suelo en los ecosistemas terrestres. No obstante, como ha mostrado el historiador de la ciencia Chunglin Kwa, en este proyecto se dieron algunas dificultades al intentar implementar la integración. El principal problema fue que en la ecología se pone énfasis en estudios de regiones locales, lo cual es incompatible con el tipo de estudios a escala global que son comunes en la climatología, y que necesitaba el IGBP (Kwa, 2005). A diferencia de disciplinas como la climatología, que estaban enfocadas en desarrollar modelos a escala global, basándose en datos de satélite, la ecología estaba más enfocada en desarrollar modelos de ecosistemas a escala local, a partir de datos locales. Así, las diferencias metodológicas entre estas disciplinas representaban un reto para la integración y la interdisciplina.

De acuerdo con Kwa, a pesar de que en la historia de la ecología sí ha habido algunos ecólogos y ecólogas con intereses a escala global, el Programa Internacional de Biología (PIB) había dejado algunas lecciones negativas en cuanto a la utilidad de los modelos globales. El propósito del PIB era coordinar y promover la investigación y modelación de ecosistemas al nivel de los biomas, que son áreas de la Tierra que tienen aproximadamente el mismo tipo de clima, y el mismo tipo de flora y fauna. No obstante, al final del programa el fracaso de estos modelos reveló a los ecólogos que eran demasiado complicados y tenían muchos detalles innecesarios. Por esto, después de que terminó el programa, prevaleció una tradición de modelación en ecología que prefería los modelos sencillos de escalas locales, y que era incompatible con las prácticas de modelación en climatología.

Estas dificultades llevaron a diferentes respuestas por parte de los y las ecólogas involucradas en el proyecto. Para algunos ecólogos y ecólogas, intentar superar estas dificultades conllevaba hacer cambios en su estilo de investigación que no estaban dispuestos a hacer, por lo que decidieron abandonar el proyecto. Por ejemplo, en su estudio del desarrollo de siete ecólogos holandeses que participaron en este proyecto, Kwa & Rector (2010) documentan cómo dos de ellos, Jan Goudriaan y Siebe van de Geijn, se retiraron del GCTE debido a que el estilo, los métodos y los objetivos de su investigación no concordaban con las exigencias de este programa. Goudriaan y van de Geijn podrían considerarse como científicos experimentales. Su investigación básicamente consistía en tomar datos de la respuesta de algunas plantas ante el aumento de CO₂ en regiones locales. No obstante, en el GCTE se les presionaba por buscar formas de extrapolar estos datos

a escala global, lo cual resultaba de poco interés para ellos. Además, el énfasis en la modelación y el carácter interdisciplinario del IGBP, llevaron a estos autores a quejarse de la cantidad de horas de programación y de reuniones de organización a las que tenían que asistir en el GCTE. De este modo, el GCTE se convirtió en una especie de camisa de fuerza para estos ecólogos, por lo que lo abandonaron a finales de los noventa.

Otros ecólogos y ecólogas, como Jelte Rozema y Rien Aerts, estaban dispuestos a mantenerse en el proyecto con todo y las dificultades de la interdisciplina. No obstante, de acuerdo con [Kwa & Rector \(2010\)](#), sus intereses de investigación no se vieron afectados por su participación en el proyecto. Los temas y preguntas que estudiaban no cambiaron después de su participación. Esto quiere decir que se mantuvieron en el proyecto buscando hacer contribuciones desde su especialidad, sin buscar formas de superar las diferencias metodológicas entre la ecología y la climatología. Su principal interés al participar en el proyecto no era proponer formas de lograr la integración entre la ecología y la climatología, sino asegurarse de que los estándares de la investigación en ecología no se vieran perjudicados. Básicamente buscaban que la parte correspondiente a la ecología en el proyecto fuera aceptable.

Algunos otros ecólogos y ecólogas, como Harold Mooney y Jean-Claude Menaut, buscaron resolver las diferencias metodológicas entre la ecología y la climatología ([Kwa, 2005](#), 938-946). Mooney era un entusiasta en cuanto al giro global en la ecología, y de acuerdo con él, de no haber sido por el IGBP la ecología nunca se hubiera aventurado a la investigación global. Para este autor, el nivel apropiado para integrar las contribuciones de la ecología y la climatología no es la escala local ni la global, sino la escala regional (que va de $10^4 km$ a $10^7 km$).¹¹ De este modo, si queremos entender cómo el cambio climático afecta los ecosistemas terrestres a escala global, hay que considerar aspectos ecológicos de los ecosistemas a nivel regional. Por su parte, Menaut consideraba que los paisajes, definidos como un conjunto de ecosistemas con una distribución espacial definida, son la escala adecuada para estudiar los efectos del cambio climático en los seres vivos. Esto porque hay ciertas propiedades emergentes al nivel de los paisajes que no pueden ser captadas por los datos de satélite de baja resolución, por lo que para hacer buenos modelos del sistema Tierra es necesario tener datos satelitales de mayor resolución que sí puedan captar estas propiedades.

A pesar de que las diferencias metodológicas entre la ecología y la climatología representaban un gran reto para el GCTE, hubo algunos ecólogos y ecólogas que lograron llevar a cabo una investigación interdisciplinaria abogando por la importancia de la ecología en escalas regionales para el estudio del efecto del cambio climático en los ecosistemas globales. Para lograr el objetivo de integrar las contribuciones de la ecología con las de la climatología fue necesario que ambas especialidades hicieran cambios en sus métodos de investigación. La ecología tuvo que moverse de su énfasis en estudios

¹¹Sobre la definición de la escala regional en la climatología, véase [IPCC \(2001, 588\)](#).

de escala local y comenzar a hacer estudios a escala regional. La climatología tuvo que aceptar la importancia de los estudios a escala regional para los estudios de escala global.

Las dificultades de la interdisciplina en el caso del IGBP

Al igual que en el caso del modelo de Daisyworld, en las prácticas de modelación del IGBP encontramos que era complicado hacer interdisciplina para estudiar a la Tierra. El principal objetivo del IGBP era construir modelos del sistema Tierra para entender y predecir los cambios globales. Esto era complicado porque no es posible construir este tipo de modelos desde la perspectiva de una sola especialidad. Puesto que cada especialidad tiene sus propios métodos de investigación, que no siempre son compatibles con los de otras especialidades, a veces resultaba muy complicado tratar de integrar las contribuciones de distintas especialidades para construir modelos integrales de la Tierra.

En el caso de la interacción interdisciplinaria entre la ecología y la climatología que tuvo lugar en uno de los proyectos del IGBP, las diferencias metodológicas en cuanto a la modelación causaron dificultades para la integración y para la interdisciplina. En la ecología y en la climatología hay estándares de evaluación de la investigación científica muy diferentes. Los ecólogos tienden a valorar más modelos de ecosistemas a escalas locales, que no buscan ser predictivos en el sentido de especificar el estado de un ecosistema en un tiempo dado, sino que buscan ser fructíferos en el sentido de servir como herramientas para entender los procesos y las variables involucradas en el funcionamiento de los ecosistemas. También se valora mucho la simplicidad en los modelos. En cambio, en la climatología se valoran más modelos de escala global en los que la predicción es un valor epistémico primordial. Predecir el estado del clima en el futuro es muy importante para el estudio del cambio climático, pues esto permitiría disminuir los efectos negativos de este fenómeno. Estas diferencias causaron dificultades para el logro de la interdisciplina. De hecho, como vimos, algunos ecólogos decidieron abandonar el proyecto GCTE precisamente por estas dificultades. No obstante, se pudieron superar estas dificultades y lograr crear modelos interdisciplinarios del sistema Tierra. En el capítulo 3 trataremos de entender cómo fue esto posible.

1.4. Conclusiones

En este capítulo revisamos la historia de la construcción del modelo de Daisyworld y de la construcción de modelos en el IGBP para entender por qué era complicado hacer interdisciplina en estos casos. Como vimos, desde Daisyworld y la hipótesis de Gaia hasta las CST y el IGBP ha habido una constante búsqueda de modelos interdisciplinarios de la Tierra que nos permitan obtener entendimiento sobre fenómenos que ocurren a escala global. No obstante, puesto que diferentes disciplinas y especialidades tienen diferentes

lenguajes, conceptos, objetivos, métodos y diferentes maneras de entender lo que es una buena investigación científica, puede resultar complicado superar estas diferencias y lograr una colaboración interdisciplinaria en la construcción de modelos de la Tierra. En el caso de la construcción del modelo de Daisyworld hacer interdisciplina era complicado porque requería de la integración de un modelo de dinámica de poblaciones y un modelo del clima. Esto no era nada fácil porque estos modelos no tienen nada en común, ya que tienen variables muy diferentes. En el caso del IGBP, y particularmente en el caso del GCTE, vimos que las diferencias metodológicas de la ecología y la climatología ocasionaron dificultades para la integración de los modelos de estas disciplinas para construir modelos de la Tierra que permitieran estudiar los cambios globales. Puesto que en la ecología se pone énfasis en la modelación de fenómenos de escala local, y en la climatología se pone énfasis en el estudio de fenómenos globales, era complicado hacer interdisciplina para crear modelos de la Tierra que fueran aceptables para ambas especialidades. De este modo, vemos que en el caso de Daisyworld era complicado hacer interdisciplina porque había que encontrar una forma de integrar un modelo de dinámica de poblaciones y un modelo del clima que son muy diferentes, y en el caso del IGBP era complicado hacer interdisciplina porque había que encontrar una forma de integrar modelos de especialidades con metodologías de investigación muy diferentes: la ecología y la climatología.

2| Aclarando las dificultades: la interdisciplina desde la filosofía de la ciencia

Incommensurability is not a problem to be solved but a resource to be exploited for understanding

(Martínez, 2013, 121)

En el capítulo anterior exploramos la historia de la construcción del modelo de Daisyworld y de la construcción de modelos en el IGBP con el fin de entender por qué era complicado hacer interdisciplina en estos casos. En este capítulo aclararemos con precisión qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en estos casos con el fin de explicar cómo se podrían superar estas dificultades en el capítulo 3. Esta tarea requiere entender qué es la interdisciplina y cuáles son los problemas filosóficos que plantea, y aquí las discusiones sobre la interdisciplina en la filosofía de la ciencia pueden ser muy útiles.

Es un hecho que en las últimas décadas la interdisciplina ha tendido a incrementar y a ganar importancia en la investigación científica (Mäki, 2016, 329-331). Hoy en día, en las mayores organizaciones dedicadas a financiar la investigación científica, se hacen constantes llamadas a promover y financiar la creación de proyectos interdisciplinarios que nos permitan estudiar algunos de los problemas más complejos e importantes que enfrenta la humanidad, como el cambio climático o la pobreza mundial (MacLeod, 2016, 3). Este movimiento hacia la interdisciplina en la ciencia ha llevado a varios investigadores e investigadoras interesadas en estudiar la ciencia desde las humanidades, tales como sociólogas, educadoras o historiadoras de la ciencia, a analizar con detalle la interdisciplina (Mäki, 2016, 328). Sorprendentemente, como dice Mäki (2016), el tema de la interdisciplina no ha recibido mucha atención en la filosofía de la ciencia, y sólo recientemente se ha comenzado a estudiar con detalle. Esto ha llevado a Mäki a hacer una “llamada para la interdisciplina” con el fin de promover la creación de estudios desde la filosofía de la ciencia que nos permitan responder algunas preguntas filosóficas sobre ésta, tales como qué es, cómo es posible y cuándo es deseable la interdisciplina.

Si bien como dice Mäki, las discusiones sobre la interdisciplina en la filosofía de la ciencia son pocas, considero que son muy útiles para aclarar qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en los estudios de caso del capítulo 1. Por ello, comenzaremos este capítulo indagando algunas de estas discusiones para tratar de aclarar qué es la interdisciplina en la sección 2.1. Veremos que no hay una sola noción válida de interdisciplina, si no que hay una pluralidad de nociones de ella. Posteriormente, en la sección 2.2 mencionaremos algunos problemas filosóficos que plantea la noción de interdisciplina, así como algunas respuestas que se han dado a estos problemas. Finalmente en la sección 2.3, a la luz de estas discusiones, analizaremos los casos de estudio presentados en el capítulo 1 y aclararemos con precisión qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en cada uno de estos casos.

2.1. La interdisciplina desde la filosofía de la ciencia

Si queremos entender qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en los casos de Daisyworld y del IGBP debemos comenzar por entender qué es la interdisciplina. Típicamente, tanto en los discursos científicos como en los discursos meta-científicos la interdisciplina se ha asociado con el concepto de integración, de modo que la interdisciplina se define como la integración de disciplinas. No obstante, algunos filósofos y filósofas de la ciencia han criticado esta idea, ya que consideran que puede haber casos de interdisciplina exitosos que no involucran la integración. En esta sección veremos que la interdisciplina no debe ser entendida de una sola manera, sino que hay una pluralidad de nociones de interdisciplina. Puede haber diferentes tipos de interdisciplina que pueden o no involucrar la integración. Comenzaremos revisando la noción clásica de interdisciplina. Después aclararemos qué es lo que vamos a entender por disciplinas, lo que nos llevará a centrarnos en la noción de especialidades científicas para analizar la interdisciplina. Posteriormente aclararemos qué es lo que vamos a entender por integración. Veremos que hay diferentes tipos de integración, no todos asociados con la interdisciplina, y que puede haber casos de interdisciplina sin integración. No obstante, la integración relevante para la interdisciplina consiste en encontrar conexiones o relaciones entre los elementos de distintas especialidades para resolver problemas que se salen del marco de una sola especialidad. Finalmente, veremos que la interdisciplina no debe ser entendida como una sola cosa, sino que hay una pluralidad de nociones de interdisciplina. Cabe aclarar que en esta sección no vamos a hacer un recuento exhaustivo de la interdisciplina, sino que sólo vamos a hablar de algunas discusiones que serán relevantes para analizar los estudios de caso del capítulo 1.

La noción clásica de interdisciplina

Tradicionalmente la interdisciplina se ha definido en contraste con la multidisciplina y la transdisciplina. Todas estas nociones están relacionadas con la confluencia de diversas disciplinas en el estudio de un mismo problema, pero tienen algunas diferencias que es importante aclarar. La multidisciplina se ha definido como la yuxtaposición de dos o más disciplinas académicas enfocadas en un mismo problema (Klein, 2010, 17). Aquí, yuxtaposición se refiere a juntar las perspectivas de distintas disciplinas para fomentar una visión más amplia de un problema. En este tipo de investigaciones las disciplinas involucradas permanecen separadas, manteniendo sus métodos, conceptos, teorías, perspectivas, prácticas (en breve, sus identidades disciplinarias), intactas después de su interacción con otras disciplinas. De este modo, las diferentes disciplinas estudian un problema, planteando su propia definición, abordándolo con sus propios estándares de investigación y llegando a su propia solución, sin buscar llegar a una solución por medio de métodos y estándares compartidos (Holbrook, 2013, 1867).

En contraste, la interdisciplina se ha definido como la integración de dos o más disciplinas académicas que estudian un mismo problema (Klein, 2010, 17). En una investigación interdisciplinaria ya no basta con yuxtaponer diferentes disciplinas para tratar de resolver o estudiar un problema; es decir, las disciplinas involucradas ya no pueden permanecer separadas, manteniendo sus identidades disciplinarias intactas. Es necesario, en cambio, que se integren, que quede claro cómo es que las herramientas de distintas disciplinas se relacionan para poder abordar un problema, o que haya lenguajes y metodologías comunes en las que todos los participantes de la investigación puedan estar de acuerdo. La transdisciplina, por su parte, se ha definido como la integración de una o varias disciplinas académicas con perspectivas extra-académicas en el estudio de un problema. Este tipo de investigaciones generalmente involucran problemas en los que es necesario tomar en cuenta las perspectivas de comunidades extra-académicas afectadas por un problema, con el fin de encontrar soluciones sensatas. En pocas palabras, la transdisciplina es una interdisciplina que trasciende los límites de la academia.

De este modo, en la definición clásica lo que distingue la multidisciplina de la interdisciplina es la noción de integración, y lo que distingue la interdisciplina de la transdisciplina es el tipo de perspectivas, académicas o extra-académicas, que se integran. Cabe aclarar que esta clasificación no pretende ser jerárquica. La transdisciplina no tiene por qué ser mejor que la interdisciplina, ni ésta tiene que ser mejor que la multidisciplina. El tipo de investigación necesaria para resolver un problema depende del tipo de problema que se estudie. A veces se requiere de la multidisciplina, a veces de la interdisciplina. No hay algo intrínseco a estos tipos de investigaciones que las haga mejores para resolver un problema, sino que su relevancia depende del tipo de problema que se estudie. En esta tesis nos centraremos en la noción de interdisciplina porque el tipo de problemas que se

estudian en los casos que revisamos en el capítulo 1 requieren de la interdisciplina, pero antes de analizar con más detalle la definición clásica de esta noción, conviene decir algo sobre las disciplinas.

Disciplinas y unidades de análisis

El término disciplina comúnmente se utiliza para designar a las ramas de la ciencia como la biología, la química, la física o la psicología. Estas categorías pueden ser útiles en algunos contextos. No obstante, como dice [Bechtel \(1986\)](#), en muchas ocasiones, cuando se trata de hacer un análisis para entender cómo funciona la ciencia, queda claro que es necesario utilizar unidades de análisis con mayor resolución para poder decir algo relevante. Cuando decimos que una persona es una química en realidad decimos muy poco sobre lo que hace esta persona. Dos químicas pueden dedicarse a cosas muy distintas, como a la química farmacológica o a la química de alimentos, manejando diferentes tipos de técnicas, habilidades y conceptos, y teniendo tan poco en común en términos cognitivos como una química y una socióloga. Por esta razón algunas veces es necesario utilizar unidades de análisis con mayor resolución, bajando al nivel de las subdisciplinas, las especialidades, los centros de investigación o los laboratorios, para poder decir algo más informativo sobre la ciencia. Lo mismo sucede cuando se trata de estudiar la interdisciplina. Si nos quedamos al nivel de las ramas de la ciencia, podríamos pensar que la interdisciplina sólo ocurre cuando dos ramas de la ciencia interactúan, de modo que las disciplinas como la biología o la química no podrían ser interdisciplinarias. No obstante, la interdisciplina se puede dar a niveles más bajos que las ramas de la ciencia. Se puede dar al nivel de las especialidades, de los grupos de investigación, e incluso al nivel de los laboratorios, por lo que puede haber interdisciplina en la biología, por ejemplo, cuando una bióloga evolutiva y una bióloga molecular interactúan.

De este modo, como dice [Bechtel \(1993\)](#), hay una gran variedad de unidades con las que se podría analizar la ciencia y el tipo de unidad relevante para estudiar un problema depende del tipo de problema que se analiza. En particular, al estudiar la interdisciplina ocurre lo mismo: dependiendo del tipo de análisis que se haga sobre la interdisciplina habrá diferentes unidades de análisis relevantes. Para [Bechtel \(1993\)](#), sin embargo, hay una unidad de análisis particularmente útil cuando se trata de estudiar la interdisciplina y la integración de disciplinas. Esta unidad, a la que él llama disciplinas, demarcando esta palabra de su relación con las ramas de la ciencia, puede encontrarse en múltiples niveles dependiendo del problema que se estudie, pero tiene algunas características generales. Para Bechtel las disciplinas son entidades históricas que pueden cambiar con el tiempo, y que se pueden caracterizar en términos del tipo de problemas y objetos de estudio que abordan, del tipo de recursos cognitivos, métodos, tecnologías, habilidades, teorías y conceptos que utilizan para estudiar estos problemas, y en términos del tipo

de instituciones, departamentos y revistas en las que organizan la investigación.¹ De este modo, para Bechtel las disciplinas son comunidades de científicos y científicas que pueden estar a diferentes niveles y que se pueden identificar en términos de las características antes mencionadas. La biología celular, por ejemplo, constituye para Bechtel una disciplina que se podría caracterizar en términos de estos factores.

En esta tesis seguiré a Bechtel en su forma de caracterizar las disciplinas. No obstante, con el fin de poner énfasis en algunos aspectos que serán útiles posteriormente, utilizaré el término especialidades para referirme a las disciplinas de las que habla Bechtel. Con este cambio de término no busco criticar la forma de caracterizar las disciplinas de Bechtel, sólo busco poner énfasis en algunas cuestiones de las que hablaré más adelante (véase la página 45), conectando las ideas de Bechtel con algunas discusiones sobre la especialización en la ciencia que a mi parecer son relevantes al analizar la interdisciplina.

Integración de especialidades

En la definición clásica de la interdisciplina la integración de disciplinas es la característica principal que define a las investigaciones interdisciplinarias. Ya hablamos sobre disciplinas y establecimos que nos centraremos en el concepto de especialidad científica para analizar la interdisciplina. A continuación trataremos de aclarar qué es la integración de especialidades. Como veremos posteriormente, la idea de que la integración es lo que define a la interdisciplina ha sido muy criticada por algunos filósofos. No obstante, incluso los filósofos que critican esta idea aceptan que en algunos casos la integración de especialidades puede jugar un papel muy importante en la interdisciplina. De este modo, para entender qué es la interdisciplina es muy importante entender qué es la integración.

En filosofía de la ciencia, y en particular en filosofía de la biología, hay varias discusiones que han tratado de responder a esta pregunta (por ejemplo, Brigandt, 2013; Brigandt, 2010; Bechtel, 1993; Grantham, 2004; O'Rourke *et al.*, 2016). La idea básica es que la integración de especialidades involucra buscar formas de entender cómo es que los diferentes conceptos, metodologías, modelos, tecnologías etc., de diferentes especialidades se relacionan entre sí, con el fin de que los conceptos, metodologías etc., que originalmente se utilizaban para estudiar problemas diferentes, puedan ser utilizados para estudiar un mismo problema. Sin embargo, como dice Brigandt (2013, 461), lo que ha quedado claro a partir de estas discusiones es que la integración no sólo es una cosa. Hay muchos tipos de integración de especialidades, por lo que no debemos aspirar a crear una noción universal de la integración, sino estudiarla en casos particulares. En algunos casos la integración involucra la conexión de especialidades para resolver un

¹Bechtel llama explícitamente a las disciplinas como entidades. Véase Bechtel (1986, 19).

problema muy específico y en algunos casos involucra la creación de nuevos conceptos, métodos y especialidades. A continuación hablaremos sobre esta diversidad de nociones de integración en la filosofía de la ciencia.

Integración con y sin unificación

Típicamente la idea de integración ha sido asociada con la idea de unificación en diversos sentidos. Para algunos autores como [Grüne-Yanoff & Mäki \(2014, 53\)](#) la noción de integración se asocia con debates sobre la unificación “demasiado fuertes para ser útiles” al analizar la interdisciplina. Estos autores asocian la idea de unificación con la idea de que la ciencia puede reducirse a una sola teoría fundamental, por medio de relaciones de deducción y principios puente entre las teorías de diferentes especialidades ([Nagel, 1961](#)). De este modo, para estos autores la idea de unificación y la de integración están asociadas con el monismo en la filosofía de la ciencia, ya sea pensando que la ciencia se puede reducir a una única teoría fundamental o a una única ontología fundamental.

Al igual que [Grüne-Yanoff y Mäki](#), yo estoy en contra de este tipo de integración. No obstante, hay más en la integración que esta idea de unificación monista. De hecho para autores como [Bechtel \(1993\)](#), la integración no tiene por qué estar necesariamente asociada con la unificación de la ciencia, ya que en algunas ocasiones la integración de especialidades puede resultar en un incremento en la desunidad de la ciencia, promoviendo la creación de nuevas especialidades, nuevos conceptos y nuevas metodologías para abordar problemas específicos que no pueden abordar otras especialidades, lo cual no contribuye a la búsqueda de una ciencia única, sino a la diversidad de la ciencia.

Integración reduccionista y no reduccionista

Un aspecto de la integración relacionado con la unificación en un sentido monista es el del reduccionismo. Como vimos anteriormente, para algunos autores la integración de especialidades puede estar relacionada con la reducción de una especialidad a otra y con la unificación en un sentido monista, de modo que al integrar dos especialidades el resultado es, o bien que una de las especialidades deja de ser necesaria, ya que todo lo que dice esta especialidad está contenido en la otra especialidad, o bien que las dos especialidades se reducen a una tercera que abarca a las dos. Yo estoy en contra de este tipo de integración y coincido más con autores como [Darden & Maull \(1977\)](#), [Brigandt \(2010, 2013\)](#) y [Grantham \(2004\)](#), en que la integración no tiene por qué estar necesariamente asociada con la unificación en un sentido tan fuerte, ya que puede haber unificación sin reduccionismo, y por tanto integración sin reduccionismo.

[Darden & Maull \(1977, 44\)](#) hablan de la creación de teorías de intercampo (*interfield theories*) entre diferentes campos. Para ellas, un campo es un área de la ciencia con

“un problema central,...hechos relacionados con este problema, factores explicativos generales y objetivos que proveen expectativas de cómo se podría resolver este problema, técnicas, métodos y a veces, pero no siempre, conceptos, leyes y teorías relacionadas con el problema..”. La citología y la genética son ejemplos de campos para Darden y Maull. Una teoría de intercampo postula relaciones entre las entidades o procesos que estudian diferentes campos. Por ejemplo, la teoría de que los genes son parte de los cromosomas es una teoría de intercampo que relaciona los campos de la citología y la genética. No obstante, si bien esta teoría de intercampo relaciona los objetos de diferentes campos, aumentando su grado de integración, de ninguna manera hace que la citología se reduzca a la genética. Así, para estas autoras puede haber casos de integración sin reduccionismo.

Para [Grantham \(2004, 134\)](#), “muchas discusiones contemporáneas” se centran en la “unidad como reducción”, pero pensar en la “unidad como interconexión provee un marco más fructífero y versátil” para estudiar la unificación. De este modo, para Grantham mientras más conexiones haya entre dos campos, y mientras más significativas sean estas conexiones, más unificados están estos dos campos. Grantham habla de diferentes tipos de conexiones entre campos: relaciones entre conceptos, explicaciones, ontologías, metodologías, datos y heurísticas. De este modo, uno puede encontrar conexiones entre diferentes campos, promoviendo su integración y unificación, pero estas conexiones no tienen que ser relaciones de reducción. Pueden ser simplemente conexiones que nos permitan ver cómo se relacionan los conceptos o metodologías de diferentes campos. Así, establecer que hay una conexión entre los genes y los cromosomas, diciendo que los genes son parte de los cromosomas, aumenta el grado de unificación y de integración de la citología y la genética, pero no implica que la citología deba reducirse a la genética. [Darden & Maull \(1977\)](#), quienes estudiaron originalmente el caso de la relación entre la citología y la genética, argumentan que esto se debe a que en la filosofía de la ciencia la reducción típicamente se ha entendido como una relación de deducción entre diferentes teorías y proposiciones, pero la citología y la genética no sólo son teorías, sino que son campos que tienen metodologías y herramientas que no se pueden reducir mediante relaciones de deducción entre sí. Además su argumento también es histórico: puesto que vemos en la historia que la teoría de intercampo que postula que los genes son parte de los cromosomas no llevó a la reducción de la citología a la genética, podemos concluir que no toda relación entre campos debe ser una relación de reducción.

Finalmente, para [Brigandt \(2010, 2013\)](#) el fracaso del reduccionismo en la filosofía de la ciencia, y en particular en la filosofía de la biología, ha llevado a un consenso anti-reduccionista que ha provocado que cualquier intento de entender cómo se relacionan las diferentes especialidades científicas sea asociado con el reduccionismo. Pero no todo intento de entender cómo se relacionan diferentes especialidades debe tener ambiciones reduccionistas. De hecho para [Brigandt \(2010\)](#), la integración de especialidades involucra buscar formas de combinar las explicaciones de diferentes especialidades para resolver

problemas específicos y no para reducir diferentes especialidades a una sola especialidad.

Integración global y local

Otra dimensión de la integración tiene que ver con la extensión de los elementos de diferentes especialidades que se integran. La integración global requiere que todos los elementos de una especialidad se integren con los elementos de otra especialidad, mientras que la integración local sólo requiere la integración de algunos elementos de dos o más especialidades. Por ejemplo, la integración reduccionista global requiere que una especialidad como un todo se reduzca a otra especialidad. Es decir, todos los elementos de una especialidad deben poder reducirse a los elementos de otra especialidad, de modo que todos los problemas que se estudian en una especialidad deben poder resolverse con las herramientas de otra especialidad. La integración conectiva global requeriría que todos los elementos de una especialidad estén conectados con todos los elementos de otra especialidad.

Alternativamente, la integración puede ocurrir de manera local, involucrando sólo ciertos elementos de diferentes especialidades, ya sea con relaciones reduccionistas o no reduccionistas. Por ejemplo, el pluralismo integrativo de [Mitchell \(2003, 2004\)](#) se basa en el hecho de que el estudio de fenómenos complejos en la biología requiere la integración de diversos modelos que sólo pueden apuntar a causas parciales de dichos fenómenos. En lo que Mitchell llama “integración explicativa concreta”, se integran diferentes modelos encontrando maneras de utilizarlos conjuntamente para explicar un fenómeno concreto. No obstante, este fenómeno involucra factores tan diversos y específicos que es poco probable que los mismos factores sean relevantes para explicar otros fenómenos. Así, esta es una integración local no reduccionista porque sólo involucra ciertos modelos de distintas especialidades, y porque el objetivo es explicar un fenómeno concreto, no reducir una especialidad a otra especialidad.

Integración temporal y estable

Asimismo, la integración de diferentes especialidades puede ser una cuestión temporal en la que la interacción entre diferentes especialidades sólo se da con el propósito de explicar un fenómeno concreto o de resolver un problema específico, llegando a su fin cuando se logra explicar el fenómeno o resolver el problema. Por ejemplo, [Brigandt \(2010\)](#) muestra cómo en la biología, para resolver un problema dado no siempre es necesario que la integración de especialidades sea estable, generando interacciones estables entre diferentes especialidades que den pie a la formación de una nueva especialidad. En muchas ocasiones diferentes especialidades interactúan de manera temporal sólo con el fin de entender ciertos aspectos de un problema o con el fin de resolverlo.

Alternativamente, la integración puede generar conexiones estables entre diferentes

elementos de distintas especialidades, favoreciendo el desarrollo de nuevos conceptos y métodos que constituyan la creación de una nueva especialidad con sus propios problemas y estándares de investigación. Por ejemplo, [Bechtel \(1993\)](#) documenta cómo la integración de técnicas e instrumentos de investigación de especialidades muy diversas, como la bioquímica, la citología y la física, llevaron a la creación de la biología celular, una nueva especialidad con sus propios problemas, metodologías, conceptos, tecnologías e instituciones. En este caso las conexiones entre diferentes especialidades se volvieron estables, generando una nueva especialidad.

Integrando diferentes objetos

Otro rasgo de la integración es que puede ocurrir entre diferentes objetos. Típicamente se ha hablado de la integración de teorías y leyes mediante relaciones de deducción y principios puente ([Nagel, 1961](#)). Sin embargo, la integración puede ocurrir con otros elementos de distintas especialidades.

Puede ocurrir entre explicaciones, cuando entendemos cómo se pueden relacionar las explicaciones de diferentes especialidades para explicar un fenómeno dado, como en el caso de la integración explicativa de [Brigandt \(2010\)](#). Puede ocurrir entre datos, cuando encontramos formas de usar los datos de diferentes especialidades para estudiar un solo problema [Leonelli \(2013\)](#). Puede ocurrir entre métodos, técnicas e instrumentos de investigación de diferentes especialidades, como en la integración metodológica de la que habla [Grantham \(2004\)](#), o como en el caso que describe [Bechtel \(1993\)](#), en el que el entendimiento de las conexiones de apoyo mutuo entre las técnicas de fraccionamiento celular en máquinas centrifugadoras y las técnicas de microscopía de electrones favorecieron el desarrollo de la biología celular. Puede ocurrir entre objetos de estudio de diferentes especialidades, como en el caso que describen [Darden & Maull \(1977\)](#), en el que se entendió la relación entre los cromosomas y los genes. Puede ocurrir entre problemas, cuando entendemos que algunos problemas de distintas especialidades no se encuentran aislados, sino que están relacionados, o cuando se exportan o se importan problemas de una especialidad a otra especialidad, como en los casos descritos por [Thorén & Persson \(2013\)](#). Finalmente, la integración también puede ocurrir entre modelos, cuando encontramos formas de utilizar conjuntamente los modelos de distintas especialidades para resolver un problema o explicar un fenómeno, como en la modelación integrativa de la que habla [Mitchell \(2003, 2004\)](#).

Interdisciplina con integración

De este modo la integración consiste en encontrar conexiones o relaciones entre diferentes especialidades, puede ser unificacionista o no unificacionista, reduccionista o no reduccionista, global o local, temporal o estable y se puede dar entre diferentes objetos.

Ahora, del mismo modo que hay diferentes tipos y dimensiones de la integración, hay diferentes tipos y dimensiones de la interdisciplina. De hecho, la mayoría de los casos de integración que revisamos anteriormente corresponden con casos de interdisciplina. Esto no ocurre sólo en los casos de la integración unificacionista-reduccionista y global. No tiene mucho sentido hablar de una interdisciplina reduccionista. El propósito de la interdisciplina es aprovechar la diversidad de explicaciones, metodologías, modelos, etc., de diferentes especialidades para poder resolver problemas que no encajan en el marco de una sola especialidad. El punto es facilitar la colaboración entre especialidades, no tratar de eliminar la diversidad de especialidades. Lo mismo ocurre con la integración global. No tiene mucho sentido hablar de una interdisciplina global que sólo pueda ser exitosa cuando se logre entender cómo se relacionan todos los elementos de distintas especialidades. La interdisciplina más bien tiene que ver con la integración de algunos elementos de diferentes especialidades. De este modo, la interdisciplina con integración es no reduccionista y local, puede ser temporal o estable, y se puede dar entre diferentes elementos, ya sean explicaciones, datos, metodologías, técnicas e instrumentos, objetos de estudio, problemas o modelos, al tratar de encontrar formas de relacionar o conectar estos elementos para resolver un determinado problema.

Interdisciplina sin integración

De acuerdo con [Grüne-Yanoff \(2016\)](#), en la definición clásica se ha tendido a equiparar completamente la interdisciplina con el concepto de integración entendido como un aumento en el grado de unificación de diferentes especialidades. De este modo, se considera que cualquier caso de interdisciplina exitoso, en el sentido de generar mejores explicaciones, predicciones o de mejorar un cierto valor epistémico, necesariamente involucra la integración de diferentes especialidades y el aumento en su grado de unificación. Así, para este autor, en la definición clásica de interdisciplina se toma la unificación como un fin, y de hecho como el único fin, que se debe tomar en cuenta para evaluar el éxito de una investigación interdisciplinaria, en el sentido de que una investigación interdisciplinaria sólo puede ser exitosa en tanto que involucra la integración de especialidades. No obstante, para Grüne-Yanoff esto no tiene por qué ser así, ya que puede haber casos de interdisciplina exitosos que no involucran la integración de especialidades. Es decir, puede haber casos en los que hay interacciones interdisciplinarias cuyo resultado no es la integración de conceptos o metodologías, pero que no sólo son interacciones multidisciplinarias porque las disciplinas involucradas no se mantienen separadas, sino que sus identidades disciplinarias se ven afectadas por esta interacción.

En palabras de [Grüne-Yanoff \(2016, 346\)](#): “Lo que emerge al analizar esta literatura [clásica sobre la interdisciplina] es que la interdisciplina se diferencia de la multidisciplinaria o la pluridisciplinaria en dos aspectos. Primero, las disciplinas involucradas

en una interacción interdisciplinaria cambian su identidad de alguna manera relevante, mientras que en la multi- o pluridisciplina no lo hacen. Segundo, el cambio que las disciplinas experimentan en intercambios interdisciplinarios exitosos las lleva a la integración en un sentido relevante. Mientras que acepto la primera condición para el éxito interdisciplinario, [...] argumentaré en contra de la segunda condición”.

De este modo, para este autor puede haber casos de interdisciplina sin integración exitosos que no son multidisciplinarios porque en ellos las identidades disciplinarias de las especialidades involucradas se ven afectadas. Si bien este autor no da una definición clara de qué es lo que entiende por identidad disciplinaria, a partir de sus estudios de caso se puede inferir que para él la identidad disciplinaria se refiere a la identificación que experimentan los y las científicas de una especialidad con determinados estilos de hacer investigación y de abordar problemas, posibilitados por las herramientas de su especialidad, ya sean conceptos, métodos, técnicas etc. De este modo, un cambio en la forma de abordar los problemas de una especialidad, que podría ser ocasionado por un cambio conceptual o un cambio metodológico, conlleva un cambio en la identidad disciplinaria de una especialidad. Así, Grüne-Yanoff considera que puede haber casos en los que las interacciones entre distintas disciplinas no llevan a la integración, pero si llevan al cambio de las identidades disciplinarias de las especialidades involucradas, y por tanto deben ser considerados como casos de interdisciplina.

Este autor pone como uno de sus ejemplos para apoyar esta tesis el caso de la teoría evolutiva de juegos en la economía (también véase [Grüne-Yanoff, 2011](#)). La teoría evolutiva de juegos fue resultado de dos eventos interdisciplinarios. Primero, entre 1960 y 1970 los biólogos adoptaron la teoría de juegos, que había sido desarrollada en la economía, y 20 años después los economistas adoptaron lo que los biólogos desarrollaron con esta teoría. Grüne-Yanoff dice que ninguno de estos intercambios interdisciplinarios llevó a la integración de conceptos o metodologías de la biología y la economía, permitiendo encontrar conexiones entre estos elementos para que fueran utilizados en el estudio del mismo tipo de problemas. Al contrario, estos eventos interdisciplinarios desataron el desarrollo de nuevos conceptos y metodologías que siguieron caminos muy diferentes en la biología y la economía, y que se utilizan para estudiar problemas muy diferentes.

Para mostrar esto, este autor se centra en el segundo evento interdisciplinario, en el que se transfirieron conceptos y métodos de la biología a la economía. De acuerdo con él, se pueden distinguir dos fases en este proceso: “la fase pionera, en la que el objetivo de la integración parecía un fin deseable, y la fase de consolidación, en la que los obstáculos ontológicos, conceptuales y metodológicos aparecieron, y el objetivo de la integración perdió su atractivo” ([Grüne-Yanoff, 2016](#), 350). Así, al principio se pensaba que al transferir a la economía los conceptos y métodos de la teoría evolutiva de juegos en biología, logrando la integración entre elementos de estas especialidades, se podrían

abordar problemas específicos de la economía. No obstante, en la fase de consolidación quedó claro que esto no era posible debido a que no se encontraron formas de utilizar los conceptos y métodos desarrollados en la biología para abordar problemas de la economía. Mientras que en biología la teoría evolutiva de juegos se usó para explicar fenómenos relacionados con la cooperación y el conflicto entre diferentes organismos, en economía se quería utilizar para justificar conceptos como el equilibrio de Nash o para explicar la evolución de la confianza y la reciprocidad. Así, los y las economistas optaron por desarrollar nuevos conceptos y métodos en la teoría de juegos para poder abordar sus problemas.

De este modo, aquí hay un caso de interdisciplina que involucró la transferencia de elementos de la teoría evolutiva de juegos en biología a la economía, que no involucró la integración porque no se crearon conexiones entre los elementos de la biología y la economía, pero que no sólo fue un caso de multidisciplina porque este intercambio desató el desarrollo de nuevos conceptos y metodologías en la economía, lo cual cambió la forma en la que los y las economistas abordaban sus problemas, y por tanto, cambió su identidad disciplinaria. Además, de acuerdo con Grüne-Yanoff, este evento interdisciplinario fue muy exitoso en términos de éxito explicativo y bibliométrico, a pesar de que no hubo una integración que permitiera utilizar diferentes conceptos y metodologías para estudiar los mismos tipos de problemas. De este modo, Grüne-Yanoff considera que la interdisciplina no tiene por qué estar completamente asociada con la integración y la unificación de disciplinas.

Se podría objetar que la idea de una interdisciplina sin integración trivializa la noción de interdisciplina porque la transferencia de elementos es un evento tan común en la ciencia, que parecería que la mayoría de las prácticas en la ciencia son interdisciplinarias, lo cual resulta contraintuitivo. Ante esta objeción, yo cuestionaría la idea de que el transporte de elementos entre especialidades es un evento tan común como para decir que casi toda práctica científica es una práctica interdisciplinaria. No obstante, si bien acepto que la idea de una interdisciplina sin integración es muy contraintuitiva, estoy de acuerdo con Grüne-Yanoff en que es importante reconocer este tipo de eventos como interdisciplinarios. Como dice este autor, en la ciencia se tiende a evaluar el éxito de una investigación interdisciplinaria en términos de si se alcanza la integración de especialidades para resolver un problema, cuando muchas veces la integración no es necesaria, ni deseable para resolver dicho problema. En el caso que describe Grüne-Yanoff, si se hubiera seguido buscando la integración en la fase pionera, sin llegar a la fase complementaria, quizás no se hubieran podido resolver los problemas que interesaban a las y los economistas. Es decir, evaluar el éxito de una investigación interdisciplinaria sólo en términos de si se logra la integración podría ser desfavorable para la ciencia.

Pluralidad de nociones de interdisciplina

En conclusión, tradicionalmente la interdisciplina se ha asociado con la noción de integración. Esto tiene sentido, pues en muchos casos la integración de especialidades es muy importante en la interdisciplina, ya que permite crear conexiones entre los elementos de diferentes especialidades para resolver problemas o explicar fenómenos que no se pueden resolver o explicar con los recursos de una sola especialidad. Este tipo de interdisciplina integrativa es no reduccionista y local, ya que no busca reducir las especialidades involucradas en una investigación interdisciplinaria a una especialidad más fundamental, y sólo busca encontrar conexiones entre algunos elementos de diferentes especialidades. La interdisciplina integrativa puede ser temporal, involucrando la interacción entre diferentes especialidades en una investigación que sólo dura hasta que se logran cumplir los objetivos de la investigación, o puede ser estable, involucrando la creación de nuevas especialidades con sus propios problemas, conceptos y metodologías. Además, este tipo de interdisciplina puede involucrar diferentes tipos de objetos de distintas especialidades, ya sean datos, explicaciones, modelos, metodologías etc. No obstante, la interdisciplina no sólo consiste en encontrar conexiones entre los elementos de diferentes especialidades. También puede haber casos de interdisciplina no integrativa en los que se transfieren elementos de una especialidad a otra, generando la creación de nuevos elementos útiles para ciertos fines sin que haya integración. De este modo, todos estos diferentes tipos de interdisciplina apuntan a que la interdisciplina no debe ser entendida de una única manera, sino que hay una pluralidad de nociones que son válidas.

Ahora que hemos hablado un poco sobre qué es la interdisciplina, pasaremos a hablar sobre algunas dificultades que hay que superar para hacer interdisciplina. Como veremos más adelante, los casos que presentamos en el capítulo 1 son casos de interdisciplina integrativa, por lo que nos centraremos en las dificultades de este tipo de interdisciplina.²

2.2. Las dificultades epistémicas de la interdisciplina integrativa

Hacer interdisciplina no siempre es sencillo. Hay distintos tipos de dificultades que hay que superar para poder integrar los elementos de distintas especialidades. Tuana (2013, 1957-1959) ubica estas dificultades en tres grupos: 1) institucionales, 2) disciplinarias y 3) epistémicas.

²Como he dicho anteriormente, en esta tesis no vamos a hacer un recuento exhaustivo de la interdisciplina. No me sorprendería que haya otros aspectos de la interdisciplina que sean importantes al analizar otros estudios de caso. Aquí sólo presentamos algunos aspectos de la interdisciplina que serán útiles para analizar los estudios de caso que vimos en el capítulo 1. También cabe aclarar que si bien nuestro análisis de la interdisciplina podría ser útil para analizar la transdisciplina, esto merecería un estudio detallado que va más allá de los límites de esta tesis.

Las dificultades institucionales tienen que ver con el hecho de que en las instituciones científicas se valoran más las investigaciones disciplinarias que las interdisciplinarias, de modo que es difícil para las científicas involucradas en investigaciones interdisciplinarias avanzar en sus carreras. Las dificultades disciplinarias se refieren a que en diferentes disciplinas hay diferentes revistas que son consideradas buenas, y diferentes formas de valorar la colaboración científica, lo que puede ocasionar que haya dificultades a la hora de poner en marcha una investigación interdisciplinaria. Las dificultades epistémicas se refieren a que diferentes especialidades tienen diferentes metodologías, conceptos, técnicas y tradiciones de investigación que pueden ser incompatibles.

Como dice [MacLeod \(2016, 2\)](#), en los estudios sociológicos de la interdisciplina se ha puesto mucho énfasis en las dificultades institucionales, y las dificultades epistémicas y cognitivas se han dejado de lado. No obstante, también es importante estudiar este tipo de dificultades y la filosofía de la ciencia puede ser muy útil en esta tarea. En este trabajo nos centraremos en las dificultades epistémicas de la interdisciplina. Revisaremos las dificultades que surgen debido a la inconmensurabilidad entre diferentes especialidades científicas y las dificultades que surgen cuando una especialidad trata de imponer sus métodos y conceptos a otra. Posteriormente revisaremos brevemente algunas respuestas que se han dado a estas dificultades.

Qué es la inconmensurabilidad

El concepto de inconmensurabilidad fue introducido en los años sesenta por Feyerabend y Kuhn para referirse a la falta de criterios objetivos y universales para comparar dos paradigmas. Este es un concepto polifacético y complejo que se ha entendido de diferentes maneras ([Chang, 2013, 153](#)). No obstante, en esta tesis seguiré a [Hoyningen-Huene & Sankey \(2001, viii-xv\)](#) en su forma de caracterizar la inconmensurabilidad. Estos autores distinguen dos tipos de inconmensurabilidad: semántica y metodológica.³

La inconmensurabilidad semántica se refiere a la imposibilidad de hacer una traducción completa entre los lenguajes de dos paradigmas. Esto porque algunos conceptos empleados por las científicas de un paradigma pueden tener significados que no son completamente entendibles en términos de los conceptos de otro paradigma, o porque un mismo concepto puede tener significados muy diferentes en distintos paradigmas. En un principio Kuhn y Feyerabend hablaban de la inconmensurabilidad semántica en un sentido global, argumentando que ningún concepto del lenguaje de un paradigma se puede

³Algunos otros autores, como [Pérez Ransanz \(2011\)](#), llaman a la inconmensurabilidad metodológica como inconmensurabilidad axiológica, pero aquí llamaremos a este tipo de inconmensurabilidad “metodológica” porque [Hoyningen-Huene & Sankey \(2001, x\)](#) así lo hacen y me estoy basando en su análisis. Además, en la literatura sobre la inconmensurabilidad en filosofía de la ciencia es común llamar al tipo de inconmensurabilidad entre valores y fines de este modo (véase por ejemplo [Bird, 2013, sección 4.1](#); [Hung, 2006, 62](#); [Sankey, 1993, 759](#)). Esto se debe a que una metodología es una determinada manera de investigar un objeto de estudio, y no podría haber metodologías científicas sin fines u objetivos que cumplir, y sin valores para evaluarlas.

traducir en términos de los conceptos de otro paradigma. Sin embargo, en sus trabajos posteriores a *La Estructura* Kuhn comenzó a hablar de la inconmensurabilidad semántica en un sentido local, de modo que sólo algunos, y no todos los conceptos de un paradigma son inconmensurables con los conceptos de otro paradigma (Hoyningen-Huene & Sankey, 2001, x). Ahora, es importante subrayar que de acuerdo con Kuhn la inconmensurabilidad semántica no necesariamente impide la comunicación entre dos paradigmas, pues la imposibilidad de la traducción no implica la imposibilidad de la comunicación, ya que es posible interpretar los lenguajes de otros paradigmas sin hacer una traducción completa como lo hacen los historiadores de la ciencia. Empero, este tipo de inconmensurabilidad sí puede dificultar la comunicación en algunos casos.

La inconmensurabilidad metodológica se refiere al hecho de que en diferentes paradigmas hay diferentes formas de entender lo que es una buena investigación científica. Es decir, hay diferentes estándares de evaluación de las investigaciones científicas. De acuerdo con Kuhn (1977b), no hay criterios objetivos universales que se puedan codificar en un algoritmo para valorar las investigaciones o teorías científicas. Algunas comunidades científicas tienden a valorar más virtudes epistémicas como la simplicidad, mientras que otras valoran más la predicción. Y de acuerdo con esas preferencias, hay distintos tipos de investigaciones que diferentes científicas y científicos tienden a valorar como mejores que otras. Kuhn (1977b) habla de cinco valores que pueden influenciar la manera de evaluar una investigación: simplicidad, adecuación, consistencia, alcance y productividad. Dependiendo de los valores que más les interesen, diferentes científicas evaluarán de manera diferente distintas investigaciones.⁴ Por ejemplo, dependiendo de sus intereses una científica podría valorar más una investigación en la que se persigue la predicción de algún fenómeno dado, y otra científica podría valorar más una investigación en la que se busque explicar el fenómeno en los términos más simples posibles.

Especialidades e inconmensurabilidad

Al igual que la interdisciplina, en las últimas décadas la especialización en la ciencia ha tendido a incrementar y a ganar importancia. Cada vez surgen más especialidades que pueden abordar problemas muy específicos que se escapan del marco de otras especialidades. Esto ha llevado a algunos filósofos de la ciencia a tratar de entender cómo ocurre este proceso de especialización.

Para Politi (2018), por ejemplo, el nacimiento de una nueva especialidad científica puede entenderse como una revolución en el sentido Kuhniano; es decir, como el nacimiento de una nueva comunidad de científicas, o de un nuevo paradigma, con sus propios conceptos y métodos capaces de abordar problemas o anomalías que no pueden

⁴Desde luego, esto tiene que ver con el hecho de que hay diferentes estrategias de investigación en la ciencia y con el hecho de que no puede haber una investigación perfecta que tenga todos los valores epistémicos al mismo tiempo (Levins, 1996).

ser estudiados o resueltos con los conceptos y métodos de otras especialidades. Así, para Politi las especialidades pueden entenderse como comunidades de científicas con sus propios conceptos, taxonomías, métodos y prácticas. Lo interesante de la propuesta de Politi es que tiene una concepción positiva de la inconmensurabilidad entre las diferentes taxonomías de distintas especializaciones, ya que permite a las especialidades adquirir su identidad disciplinaria y desmarcarse de otras especialidades. Esta concepción positiva de la inconmensurabilidad en la especialización también está presente en [Martínez \(2013, 121, 118\)](#), para quien “la inconmensurabilidad no es un problema a ser resuelto, sino un recurso a ser explotado para el entendimiento”, ya que “la inconmensurabilidad puede ser entendida como una expresión de diferentes modos de cambio, y de la forma en que estos diferentes modos constituyen andamios mutuos para la diversificación y especialización fructífera de conceptos y prácticas”.

En esta tesis seguiré a Politi y Martínez en su forma de concebir a la inconmensurabilidad como algo positivo en la especialización de la ciencia y como algo característico de las diferentes especialidades científicas. Creo que esto es compatible con la forma de caracterizar las especialidades de Bechtel. De hecho, [Bechtel \(1986, 31\)](#) considera que una de las principales razones para hacer interdisciplina tiene que ver con el hecho de que hay inconmensurabilidades entre diferentes disciplinas. Así, en esta tesis hablaré de la interdisciplina como una interacción entre especialidades entendidas como las disciplinas de Bechtel. Es decir, como una interacción entre entidades históricas que se definen en términos del tipo de problemas y objetos de estudio que abordan, del tipo de recursos cognitivos, métodos, tecnologías, habilidades, teorías y conceptos que utilizan para estudiar estos problemas, y en términos del tipo de instituciones, departamentos y revistas en las que organizan la investigación, lo cual les brinda características específicas que las hacen inconmensurables con otras especialidades.

Inconmensurabilidad entre especialidades científicas

Para Kuhn la creación de una nueva especialidad puede ser entendida como un proceso de aislamiento guiado por la inconmensurabilidad, pues la inconmensurabilidad es lo que permite que un grupo de científicos y científicas definan sus objetos y problemas de estudio, desmarcándose de otras especialidades ([Politi, 2018, 11](#)).

De acuerdo con [Politi \(2018\)](#), en su intento de aclarar las ideas poco desarrolladas de Kuhn sobre la inconmensurabilidad en la especialización en la ciencia, [Wray \(2011\)](#) habla de la inconmensurabilidad entre especialidades, equiparándola, al igual que Kuhn, con la inconmensurabilidad semántica. No obstante, hay algunas diferencias en la forma de caracterizar la inconmensurabilidad entre especialidades de Wray y de Kuhn. Mientras que para Wray la inconmensurabilidad entre especialidades impide la comunicación efectiva entre los miembros de distintas especialidades, para Kuhn la inconmensurabilidad

impide la comunicación total, dejando espacio para una comunicación parcial y limitada que puede llegar a ser efectiva. Para Politi, sin embargo, no siempre es claro que la inconmensurabilidad semántica imponga dificultades tan serias para la comunicación entre especialidades como Wray y Kuhn parecen sugerir. El incremento en el número de investigaciones interdisciplinarias indica que la comunicación efectiva entre especialidades es posible, y de hecho es muy común. Si esto es así, parecería que la inconmensurabilidad es una barrera que siempre puede ser superada, lo cual hace difícil discernir cómo es que la inconmensurabilidad juega un papel tan importante en la especialización, permitiendo demarcar los conceptos de una nueva especialidad de los de otras especialidades.

Para Politi, el problema es que estos autores ponen demasiado énfasis en la inconmensurabilidad semántica, que si bien tiene un papel importante en la creación de nuevas especialidades, no es el único tipo de inconmensurabilidad relevante. La inconmensurabilidad entre especialidades también involucra la evaluación y la elección de diferentes investigaciones científicas; es decir, también involucra la inconmensurabilidad metodológica. Cuando surge una nueva especialidad, las científicas interesadas en problemas que no se pueden resolver con los conceptos y métodos de su especialidad evalúan si los conceptos y métodos de la nueva especialidad son lo suficientemente valiosos, ya sea porque son productivos, simples, precisos, o porque permiten la predicción etc., para moverse a esta nueva especialidad. Así, la inconmensurabilidad entre especialidades puede ser semántica y metodológica, y la creación de una nueva especialidad involucra la creación de nuevos conceptos, nuevos métodos y nuevas técnicas que pueden ser inconmensurables con los conceptos, métodos y técnicas de otras especialidades.

El problema de (aprovechar) la inconmensurabilidad

El hecho de que haya inconmensurabilidades semánticas y metodológicas entre diferentes especialidades puede ocasionar dificultades para la colaboración interdisciplinaria integrativa. Por una parte, la inconmensurabilidad semántica puede ocasionar dificultades de comunicación entre diferentes especialidades. Estas dificultades podrían ser un obstáculo para la integración.

Por ejemplo, la integración conceptual requiere encontrar relaciones o conexiones entre conceptos de diferentes especialidades, y para encontrar estas relaciones es importante entender los significados de los conceptos que se desean relacionar. Si los conceptos que se desean relacionar son inconmensurables, las y los científicos que deseen integrarlos podrían terminar en conflicto al no entender exactamente a qué se refieren estos conceptos. Lo mismo podría suceder en la integración de explicaciones, datos, metodologías etc. Si no hay una buena comunicación, la integración se podría dificultar.

No obstante, como dice [Politi \(2018\)](#), estas dificultades podrían no ser muy serias, ya que el hecho de que haya una comunicación limitada entre distintas especialidades no excluye la posibilidad de una comunicación efectiva.

Por otra parte, la inconmensurabilidad metodológica puede ocasionar conflictos en la valoración de diferentes investigaciones científicas, dificultando la interdisciplina con integración. Si las y los científicos interesados en integrar elementos de diferentes especialidades tienen diferentes perspectivas en cuanto a qué es una buena investigación científica, la integración se podría ver dificultada. Por ejemplo, en especialidades como la meteorología las buenas explicaciones tienden a asociarse con su capacidad predictiva y con la aplicación de leyes físicas. En cambio, en especialidades como la ecología las buenas explicaciones no tienen que ver con la aplicación de leyes físicas ni con su capacidad predictiva, sino con la propuesta de conceptos y mecanismos causales simples, que no tienen que involucrar leyes, para entender un determinado fenómeno. Estas diferencias en la manera de valorar las explicaciones pueden ocasionar problemas para la integración porque las científicas de alguna de estas especialidades podrían considerar que las explicaciones de la otra especialidad son malas debido a que no cumplen con los estándares que, de acuerdo con ellas, debería tener una buena explicación. Así, una meteoróloga podría considerar que las explicaciones de una ecóloga son malas, lo cual puede causar dificultades para la integración. Lo mismo sucede con la integración de metodologías, técnicas, datos, conceptos, etc. Si hay diferentes maneras de evaluar estos elementos, podría haber conflictos a la hora de buscar conexiones entre ellos. Así, no es claro cómo dos comunidades con criterios muy diferentes para evaluar una investigación, pueden ponerse de acuerdo para decir que la investigación que realizan conjuntamente es valiosa.

En resumen, la inconmensurabilidad semántica y metodológica entre diferentes especialidades puede ocasionar dificultades de comunicación y de evaluación de la investigación en una investigación interdisciplinaria integrativa. Ahora, es importante remarcar que si bien la inconmensurabilidad plantea estos problemas, ésta no es un problema que debe ser superado o eliminado. Al igual que [Wray, Martínez y Politi](#), considero que la inconmensurabilidad es un aspecto positivo de las especialidades que les permiten obtener su identidad disciplinaria, desmarcando sus métodos, conceptos y técnicas de los de otras especialidades. El problema no es buscar formas de eliminar la inconmensurabilidad entre especialidades, sino buscar formas de aprovecharla. Es decir, considero que cuando dos especialidades interactúan en una investigación interdisciplinaria con el fin de resolver un problema, sus diferencias ocasionadas por la inconmensurabilidad no deben eliminarse por completo, sino solamente con el fin de resolver el problema. Como veremos más adelante, en el caso del IGBP los y las ecólogas y los y las climatólogas pudieron hacer interdisciplina gracias a que construyeron una metodología en la que todas estaban de acuerdo, pero esto no resultó en la eliminación

definitiva de la inconmensurabilidad entre la ecología y la climatología. A esto es a lo que me refiero con que la inconmensurabilidad debe aprovecharse y no eliminarse.

El problema del imperialismo

La interdisciplina integrativa no podría tener éxito si una especialidad impusiera sus conceptos y métodos a otra especialidad sin tomar en cuenta lo que esta otra especialidad tiene que ofrecer. Si esto sucediera tendríamos un caso de imperialismo científico. De acuerdo con Mäki (2013) hay tres tipos de imperialismo científico: el imperialismo de extensión, el imperialismo de estilo y el imperialismo de prestigio. El imperialismo de extensión se da cuando una especialidad trata de explicar o resolver los problemas que tradicionalmente se asocian con otra especialidad. El imperialismo de estilo se da cuando los estilos y estrategias característicos de una especialidad se transfieren o se imponen en otra especialidad. El imperialismo de prestigio se da cuando el prestigio académico o no académico de una especialidad, con el poder y recursos que éste involucra, aumenta a expensas de otra especialidad. De acuerdo con este autor, la forma más débil de imperialismo de extensión se da cuando los y las científicas de una especialidad tratan de resolver los problemas de otras especialidades sin tomar en cuenta la forma en que dichas especialidades abordan estos problemas. Una forma más fuerte de imperialismo ocurre cuando una especialidad trata de reemplazar los estilos, métodos y técnicas de otra especialidad con los suyos, dando lugar a un imperialismo ya no sólo de extensión, sino de estilo y de prestigio.⁵

Ahora bien, es importante resaltar que el imperialismo no tiene por qué ser siempre negativo. Como dice Mäki, puede haber casos en los que el imperialismo, bajo ciertas constricciones, conduzca al avance de la ciencia. No obstante, a mi parecer la interdisciplina integrativa no puede tener éxito si se da un imperialismo científico. Una vez que se cae en un imperialismo científico la búsqueda de la integración fracasa. La misma idea de integración y de encontrar conexiones entre los elementos de diferentes especialidades supone que para resolver un problema es necesario tomar en cuenta los métodos, conceptos, técnicas, etc., de diferentes especialidades, y no imponer los de una sola especialidad. No hay tal cosa como una integración imperialista.⁶ De este modo, si el propósito de un grupo de científicas es la investigación interdisciplinaria integrativa y caen en un imperialismo científico, estas científicas estarían traicionando su propósito. El problema del imperialismo consiste en evitar el imperialismo científico para lograr la interdisciplina integrativa.

⁵Para una crítica a la forma de caracterizar el imperialismo científico de Mäki, véase Fumagalli (2017).

⁶Con esto me refiero a que no tiene sentido pensar en una integración que se logre imponiendo las herramientas de una sola especialidad, sin tomar en cuenta las herramientas de diferentes especialidades. No se puede alcanzar la conexión de elementos de diferentes especialidades tomando en cuenta sólo los elementos de una sola especialidad. Esto no quiere decir que no pueda haber otro tipo de relaciones de coerción en las que se trate de forzar la interdisciplina.

Cabe aclarar que en esta tesis estamos presuponiendo que hay casos en los que es claro que la interdisciplina es necesaria para resolver un problema, ya que solamente en estos casos es evidente que el imperialismo es problemático. Cuando no es claro que la interdisciplina es necesaria, el imperialismo podría no representar una dificultad y de hecho podría ser útil para resolver un determinado problema científico. Puesto que no se puede saber *a priori* si la interdisciplina es necesaria para resolver un problema, no siempre es claro que el imperialismo sea algo que se deba evitar, de modo que cuando no es claro que la interdisciplina ayudará a resolver un problema lo mejor es no descartar el imperialismo y considerarlo como una posibilidad que puede llevar a la solución del problema. No obstante, considero que hay casos, como el de Daisyworld y el del IGBP, en los que un problema no se podría resolver si no es mediante la interdisciplina. En el caso del IGBP, por ejemplo, es difícil imaginarse cómo podría entenderse la relación entre el cambio climático y los ecosistemas sólo usando herramientas de la ecología. Si el cambio climático está involucrado, la climatología debe ser tomada en cuenta. Así, en esta tesis trataremos con este tipo de casos en los que es claro que la interdisciplina es necesaria para resolver un problema científico, y en los que el imperialismo es problemático. A continuación presentaremos algunas de las propuestas que se han hecho para superar estas dificultades.

Zonas de intercambio, lenguajes intermedios, objetos de frontera y experticias interactivas

El concepto de zonas de intercambio fue propuesto por Galison (1997) con el objetivo de comprender los problemas de comunicación ocasionados por la inconmensurabilidad entre diferentes paradigmas. Una zona de intercambio es una zona en la que hay comercio e intercambio de diferentes objetos entre culturas con problemas de comunicación debido a que tienen lenguajes inconmensurables. Mirando la manera en que diferentes culturas intercambian y comercian objetos que pueden ser entendidos de maneras muy distintas por los miembros de diferentes culturas, Galison propone que la creación de lenguajes intermedios entre las diferentes culturas es lo que posibilita la comunicación y el comercio en las zonas de intercambio. El desarrollo de estos lenguajes, con términos entendibles por algunos de los miembros de las diferentes culturas, es lo que permite superar el problema de la inconmensurabilidad. Del mismo modo, los problemas de comunicación ocasionados por la inconmensurabilidad entre diferentes paradigmas en la ciencia, se resuelven mediante la creación de lenguajes comunes entre estos paradigmas. Galison habla de tres tipos de lenguajes con diferentes niveles de complejidad. Los más simples son las jergas, los lenguajes pidgin son más complejos, y los lenguajes criollos constituyen nuevos lenguajes en sí mismos. Usando esta metáfora, Galison describe algunos eventos que involucraron la comunicación entre paradigmas con lenguajes inconmensurables,

como el desarrollo del radar y el nacimiento de la bioquímica.

Esta es la forma en la que típicamente se han entendido las zonas de intercambio. No obstante, para [Collins et al. \(2007\)](#) puede haber otro tipo de zonas de intercambio en las que también se resuelven los problemas de comunicación entre diferentes paradigmas. Estos autores hablan de cuatro zonas de intercambio que se distinguen dependiendo si el intercambio y la comunicación son resultado de la coerción o resultado de la colaboración, y de si el intercambio termina con culturas heterogéneas o lleva a la formación de una nueva cultura homogénea.

En primer lugar, las zonas de intercambio forzadas se dan cuando el intercambio y la comunicación son resultado de la coerción, sin que se genere una cultura nueva. En segundo lugar, las zonas de intercambio subversivas, se caracterizan porque en ellas el intercambio y la comunicación son resultado de la coerción, con una comunidad imponiendo su lenguaje y cultura sobre otra, terminando con una cultura homogénea. A mi parecer en ninguno de estos casos se resuelve el problema de la comunicación y la inconmensurabilidad sino que simplemente se elimina imponiendo una cultura sobre otra. Esto no nos dice mucho sobre cómo superar las diferencias entre lenguajes inconmensurables. Los casos más interesantes ocurren cuando el intercambio es resultado de la colaboración. En el tercer tipo de zonas de intercambio, la zonas de inter-lenguajes, la comunicación se logra mediante la creación de lenguajes intermedios entre los lenguajes de diferentes culturas, resultando una nueva cultura con su propio lenguaje. Finalmente, en las zonas de intercambio fraccionadas la comunicación y el intercambio se logran por medio de objetos de frontera o experticias interactivas, sin que se cree una nueva cultura.

La noción de objetos de frontera fue introducida por [Griesemer & Star \(1989\)](#). De acuerdo con estos autores un objeto de frontera es un objeto lo suficientemente flexible como para ser compartido por miembros de diferentes culturas y adaptarse a sus necesidades locales, pero lo suficientemente robusto como para mantener una identidad común entre ellos. Así, estos objetos pueden ser utilizados por miembros de diferentes culturas, reduciendo sus problemas de comunicación. Un ejemplo de este tipo de objetos son los mapas, que pueden ser utilizados por expertos y legos con lenguajes inconmensurables, permitiendo superar sus problemas de comunicación y sumar sus esfuerzos en la recolección de datos geográficos.

La experticia interactiva, por otra parte, se refiere a la internalización de ciertos componentes implícitos de un lenguaje desconocido ([Collins et al., 2007](#), 661). Las expertas interactivas, sin necesariamente entender perfectamente un lenguaje extraño, tienen la capacidad de realizar una comunicación efectiva con los miembros de otras culturas, permitiendo superar los problemas de la inconmensurabilidad entre lenguajes de distintas culturas.

Superando las dificultades de la interdisciplina

El desarrollo de lenguajes intermedios, objetos de frontera y experticias interactivas es una respuesta al problema de aprovechar la inconmensurabilidad y al problema del imperialismo porque nos dice cómo se puede lograr la comunicación entre diferentes especialidades con lenguajes inconmensurables sin que se caiga en la imposición del lenguaje de una especialidad en otra. En otras palabras, nos dice cómo aprovechar la inconmensurabilidad semántica entre diferentes especialidades, permitiendo superar los problemas de comunicación, sin caer en un imperialismo científico. No obstante, como hemos visto antes, no siempre es claro que la comunicación entre especialidades sea un problema tan serio.

Además, los problemas de comunicación no son los únicos problemas que hay que superar para lograr la interdisciplina integrativa. También hay que encontrar formas de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades, y no es claro que el desarrollo de lenguajes intermedios, objetos de frontera y experticias interactivas permita resolver este problema.

En primer lugar, aún cuando haya una buena comunicación entre distintas especialidades, ya sea por medio de lenguajes intermedios o por medio de expertos y expertas interactivas, no es claro que esto pueda resolver las diferencias en los estándares de evaluación de diferentes especialidades. Los y las científicas de distintas especialidades pueden tener una buena comunicación y entender que tienen diferentes estándares de evaluación y aún así seguir considerando sus estándares como los mejores.

En segundo lugar, la inconmensurabilidad metodológica podría dificultar el uso de objetos de frontera en diferentes especialidades. En el caso de los mapas, por ejemplo, los y las científicas de una especialidad podrían considerar los mapas de otra especialidad como malos mapas y no querer utilizarlos. Así, si bien considero que el desarrollo de lenguajes intermedios, objetos de frontera y experticias interactivas puede ser importante para la interdisciplina, también hay que encontrar formas de superar los problemas ocasionados por la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades.⁷

Las dificultades de la interdisciplina integrativa

En suma, hacer interdisciplina integrativa no es una tarea sencilla. Hay que superar distintos tipos de dificultades para lograr hacer interdisciplina. En particular, hay que encontrar formas de aprovechar la inconmensurabilidad semántica y metodológica

⁷ Aparte del desarrollo de lenguajes intermedios, objetos de frontera y experticias interactivas, ha habido otras propuestas que buscan explicar cómo se pueden superar los problemas epistémicos de la interdisciplina. El desarrollo de analogías (Knuuttila & Loettgers, 2014; Rice & Smart, 2011), la utilización de plantillas computacionales y plantillas de modelos (Knuuttila & Loettgers, 2016) y la triangulación entre los resultados de diferentes especialidades (Kuorikoski & Marchionni, 2016; Burian, 2001) son algunas de estas propuestas que aquí no revisaremos.

entre diferentes especialidades sin caer en un imperialismo científico. El desarrollo de lenguajes intermedios, objetos de frontera y experticias interactivas puede contribuir a superar los problemas de comunicación entre diferentes especialidades sin caer en un imperialismo. No obstante, no es claro que también contribuya a superar las diferencias ocasionadas por la inconmensurabilidad metodológica. Ahora que hemos explorado qué es la interdisciplina y cuáles son sus problemas desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia, trataremos de aclarar en qué consiste el problema de la interdisciplina en el estudio de la Tierra como un sistema en los casos que presentamos en el capítulo anterior.

2.3. Las dificultades de la interdisciplina en el estudio de la Tierra como un sistema

En el capítulo anterior exploramos la historia de la búsqueda de modelos interdisciplinarios para el estudio de la Tierra en la hipótesis de Gaia y en las CST. Analizamos la construcción del modelo de Daisyworld y la construcción de modelos en el IGBP y vimos que estos dos casos de estudio están muy relacionados. En particular, vimos que en ambos casos era complicado construir modelos de la Tierra porque para ello había que encontrar formas de integrar los modelos de diferentes especialidades. A continuación, a la luz de las discusiones anteriores, aclararemos qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en estos casos.

Interdisciplina en la construcción del modelo de Daisyworld

El modelo de Daisyworld fue creado con el objetivo de apoyar la hipótesis de Gaia. Como vimos en el capítulo anterior, esta hipótesis propone que la Tierra puede entenderse como un sistema autorregulado en el sentido de que las interacciones de los organismos vivos del planeta con su ambiente pueden ocasionar que la temperatura superficial, y otras variables ambientales superficiales del planeta, se mantengan constantes a pesar de que haya perturbaciones externas. Esta hipótesis fue muy criticada por dos razones: 1) se creía que la autorregulación se podía explicar sin necesidad de apelar a la biósfera; y 2) se creía que no había forma de que la selección natural, actuando al nivel de individuos egoístas, pudiera generar una autorregulación a nivel planetario como la que proponía la hipótesis de Gaia. Con el fin de responder a estas críticas, Lovelock y Watson tenían que encontrar una forma de mostrar que la autorregulación podía surgir a pesar de que la selección natural actuara al nivel de individuos egoístas, y que no podría surgir a menos de que se considerara a la biósfera. Para lograr esto, Lovelock y Watson tuvieron que integrar modelos pertenecientes a diferentes especialidades: un modelo de dinámica de poblaciones perteneciente a la ecología y un modelo del clima perteneciente a la climatología.

A mi parecer, este es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria integrativa, no reduccionista, local y temporal. En primer lugar, es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria integrativa porque Lovelock y Watson tenían que encontrar una forma de utilizar conjuntamente dos modelos que se usaban para estudiar problemas muy distintos, encontrando conexiones entre ellos, con el fin de estudiar un mismo problema. El modelo de Carter y Prince se utilizaba para estudiar los límites de las distribuciones geográficas de los organismos, particularmente de plantas. El modelo del clima sencillo se utilizaba para modelar la temperatura global promedio de la Tierra. Lovelock y Watson tenían que encontrar una forma de conectarlos para resolver el problema de mostrar cómo es que las interacciones de los seres vivos con su ambiente pueden ocasionar la regulación de la temperatura de la Tierra. En otras palabras, Lovelock y Watson tenían que encontrar una forma de integrar estos modelos para construir un modelo de la Tierra que les permitiera resolver este problema. En segundo lugar, es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria no reduccionista porque la integración de estos modelos no llevó a la reducción de la ecología a la climatología.⁸ En tercer lugar, es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria local porque esta investigación sólo llevó a la integración de un elemento de la ecología, el modelo de Carter y Prince, con un modelo de la climatología, y no involucró la integración de todos los elementos de estas especialidades. Finalmente, es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria temporal porque no llevó a la creación de una nueva especialidad con sus propios conceptos, métodos y prácticas, sino que la integración de especialidades sólo se buscó con el fin de resolver un problema específico.

Las dificultades de la interdisciplina en Daisyworld

Integrar el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y el modelo del clima sencillo no fue una tarea fácil para Lovelock y Watson. No fue cuestión simplemente de juntar o sumar los modelos vectorialmente. Si tan sólo juntáramos los modelos tal como son originalmente no obtendríamos nada, ya que estos modelos no tienen nada en común y ninguna de sus variables están relacionadas directamente. Para lograr la integración y encontrar una manera de relacionar los modelos había que hacer algo más. Había que superar ciertas dificultades. No obstante, no es claro que las dos dificultades de la interdisciplina que analizamos en la sección anterior apliquen en este caso.

En primer lugar, no es claro que el imperialismo científico sea un problema. Mäki (2013) sólo habla del imperialismo cuando los y las científicas de una especialidad tratan de resolver los problemas de otras especialidades sin tomar en cuenta la forma en la que se abordan estos problemas en dichas especialidades, o cuando tratan de remplazar los estilos, métodos y conceptos de otras especialidades con los suyos, ganando

⁸Como he dicho antes no tiene sentido hablar de una interdisciplina reduccionista. Aquí muestro que en el caso de Daisyworld no hubo reducción sólo para remarcar este punto.

prestigio a costa de otras especialidades. Es decir, sólo habla del imperialismo cuando una especialidad intenta invadir o colonizar ciertos dominios, áreas o problemas asociados claramente con otras especialidades.

En este caso, sin embargo, no es claro que el problema de explicar cómo es posible la autorregulación de las variables ambientales superficiales de la Tierra pertenezca a una determinada especialidad. No es un problema clásico ni en la climatología ni en la ecología. Más bien parece que este es un problema que no se puede subsumir dentro del marco de una sola especialidad y que necesita de las herramientas de diversas especialidades para ser resuelto. Así, no es claro que aquí se corra el riesgo de que una especialidad invada el terreno de otra especialidad, y no es claro que el imperialismo sea un problema. No obstante, creo que también hay un problema cuando una especialidad impone sus métodos, conceptos y técnicas al tratar de resolver un problema que no se puede identificar claramente como perteneciente a otra especialidad, pero que requiere las contribuciones de diferentes especialidades para poder ser resuelto. Más que un problema de imperialismo es un problema de apropiación.

El problema de la apropiación se distingue del problema del imperialismo en que ocurre con problemas que no se pueden enmarcar claramente dentro del área de una especialidad. Cuando tratamos con este tipo de problemas no tiene sentido hablar de un imperialismo, pues no hay un área clara que pertenezca a una determinada especialidad que pueda ser colonizada. Más que imperializar o colonizar un problema, lo que ocurre en este tipo de casos es que una especialidad trata de apropiárselo. Esto representa una dificultad porque el que una especialidad trate de apropiarse de un problema que requiere de las herramientas de distintas especialidades para poder ser resuelto sólo puede llevar al fracaso. En el caso de Daisyworld, sería un error tratar de resolver el problema de explicar cómo es posible la autorregulación de la Tierra con las herramientas de una sola especialidad. Imponer los métodos y conceptos de una sola especialidad no llevaría a nada en este caso porque entender y describir las interacciones de los seres vivos con el clima requiere de las contribuciones de diferentes especialidades, en particular de la ecología y de la climatología. Así, en este caso había que evitar el problema de la apropiación; es decir, había que evitar tratar de explicar la autorregulación de la Tierra con las herramientas de una sola especialidad.

Por otra parte, tampoco es claro que el problema de aprovechar la inconmensurabilidad esté presente en este caso. En primer lugar, no es claro que la intraducibilidad de algunos conceptos de la ecología y la climatología haya ocasionado problemas de comunicación, dificultando la integración del modelo de Carter y Prince y del modelo del clima sencillo. No parece que Lovelock y Watson hayan tenido dificultades debido a que no podían entender los conceptos de otras especialidades, o debido a que no podían comunicarse con las científicas de otras especialidades, al integrar estos modelos. De hecho, ni Lovelock ni Watson eran especialistas en climatología o

ecología. En esta época Lovelock se dedicaba más a la química atmosférica y Watson era un matemático interesado en la modelación de la Tierra. No obstante, estos autores pudieron entender perfectamente estos modelos.

En segundo lugar, no es claro que las diferencias en los estándares de evaluación en ecología y climatología hayan ocasionado dificultades para la integración del modelo de Carter y Prince y del modelo del clima sencillo. Como veremos más adelante en el caso del IGBP, sí hay fuertes diferencias en este sentido entre la ecología y la climatología. No obstante, parece que estas diferencias no ocasionaron problemas en este caso. Tanto el modelo del clima sencillo como el modelo de Carter y Prince son modelos muy sencillos en los que la simplicidad es una virtud. Ambos modelos buscan explicar diferentes fenómenos en términos muy simples, y dejan de lado valores como la predicción o la exactitud. Así parece que las diferencias en los estándares de evaluación entre la ecología y la climatología no se manifestaron en estos modelos, y no ocasionaron problemas para la integración.

Con todo, como he dicho antes, integrar estos modelos no fue una tarea sencilla. El problema, a mi parecer, era que simplemente estos modelos hablan de cosas muy diferentes y tienen variables muy diferentes. Por una parte, el modelo de Carter y Prince trata de explicar los límites de la distribución geográfica de los organismos. Por otra parte, el modelo del clima sencillo trata de explicar la temperatura global promedio del planeta. Encontrar una manera de relacionar modelos tan diferentes para resolver un problema específico no es sencillo. En el capítulo 3 trataremos de aclarar qué es lo que permitió la integración en este caso.

Interdisciplina en el IGBP

Como vimos en el capítulo anterior, el IGBP fue una de las instituciones más importantes de las CST y tenía por objetivo la creación de modelos integrales del sistema Tierra que permitieran estudiar, entender y predecir los cambios globales. Esta institución organizaba la investigación de la Tierra en diferentes proyectos que ponían énfasis en el estudio y la modelación de las interacciones entre determinados componentes del sistema. En particular, analizamos con un poco de detalle el caso del proyecto GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems). El objetivo de este proyecto era la creación de modelos para estudiar y entender la relación entre algunos cambios globales, como el cambio climático y el cambio de uso de suelo, y los ecosistemas de la Tierra. Para alcanzar este fin las y los científicos participantes en el proyecto tuvieron que encontrar formas de integrar modelos ecológicos que permitían estudiar los ecosistemas, con modelos del clima que permitían estudiar el cambio climático.

A mi parecer, al igual que en el caso de Daisyworld, este es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria integrativa, no reduccionista y local. En primer lugar, es

un ejemplo de una investigación interdisciplinaria integrativa porque los y las científicas participantes en el GCTE tenían que encontrar formas de relacionar o conectar los modelos de diferentes especialidades, integrándolos con el fin de poder estudiar y entender cómo es que el cambio climático afecta los ecosistemas de la Tierra y cómo éstos a su vez afectan al cambio climático. En segundo lugar, es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria no reduccionista porque el resultado de la integración de los modelos de ecosistemas de la ecología y los modelos del clima de la climatología no fue la reducción de la ecología a la climatología ni viceversa. En tercer lugar es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria local porque en ella sólo se integraron algunos de los elementos de la ecología y la climatología.

En cuanto a si esta investigación interdisciplinaria fue temporal o estable, la cuestión es más complicada. Se podría pensar que este es un ejemplo de una investigación interdisciplinaria estable porque la interacción entre la ecología y la climatología contribuyó al establecimiento de una nueva especialidad: las CST. No obstante, si bien las CST tienen un objeto de estudio propio (el sistema Tierra), no me parece tan claro que estén lo suficientemente aisladas de otras especialidades como para decir que forman una nueva especialidad. De hecho, para [Dutreuil \(2016, 544-552\)](#) las CST no deben considerarse como una especialidad. Puesto que el objetivo de esta tesis no es aclarar cómo surgieron las CST, ni aclarar si conforman una nueva especialidad dejaré este punto inconcluso y espero poder abordarlo en el futuro.

Las dificultades de la interdisciplina en el IGBP

Los y las científicas que participaron en el proyecto GCTE experimentaron algunas dificultades a la hora de tratar de implementar la integración de algunos modelos de la ecología con algunos modelos de la climatología. Al igual que en el caso de Daisyworld, en este caso también era complicado encontrar formas de relacionar modelos muy diferentes. La cuestión no era tan sencilla como hacer una simple suma vectorial de modelos porque los modelos ecológicos y los modelos climáticos tienen variables muy distintas y difíciles de relacionar. Para estudiar cómo se relaciona el cambio climático con los ecosistemas había que encontrar formas de relacionar estos modelos, lo cual no es una tarea sencilla. Además, al igual que en el caso de Daisyworld, no es claro que en este caso el imperialismo científico sea un problema. El problema de entender y explicar cómo se relacionan el cambio climático y los ecosistemas terrestres no es un problema que se pueda subsumir claramente dentro de una especialidad. No es un problema tradicional ni en la ecología ni en la climatología. Más que tratarse del problema de evitar que una especialidad invada el terreno de otra especialidad, se trata del problema de evitar que una especialidad se apropie de un problema, imponiendo sus conceptos, métodos y técnicas para tratar de resolverlo, cuando este problema necesariamente requiere de las

contribuciones de diferentes especialidades. Así, en este caso también está presente el problema de la apropiación.

Asimismo, en consonancia con el caso de Daisyworld, en este caso no es muy claro que la inconmensurabilidad semántica haya ocasionado dificultades para la integración. Como vimos en el capítulo anterior, el principal problema para los y las participantes del proyecto GCTE fue que la ecología ponía énfasis en estudios de regiones locales, lo cual era incompatible con el tipo de estudios a escala global que eran comunes en la climatología, y que necesitaba el IGBP. Aquí el problema no es la inconmensurabilidad semántica sino la inconmensurabilidad metodológica.

En la ecología y en la climatología hay estándares de evaluación de la investigación científica muy diferentes. Los ecólogos tienden a valorar más los modelos de ecosistemas a escalas locales, que no buscan ser predictivos en el sentido de especificar el estado de un ecosistema en un tiempo dado, sino que buscan ser fructíferos en el sentido de servir como herramientas para entender los procesos y las variables involucradas en el funcionamiento de los ecosistemas. También se valora mucho la simplicidad en los modelos. En cambio, en la climatología se valoran más los modelos de escala global en los que la predicción es un valor epistémico primordial. Predecir el estado del clima en el futuro es muy importante para el estudio del cambio climático, pues esto permitiría disminuir los efectos negativos de este fenómeno.

Así, en este caso la inconmensurabilidad semántica no es el problema. El problema es que la inconmensurabilidad metodológica entre la ecología y la climatología hace difícil discernir cómo se podría crear un modelo de la Tierra que tanto las ecólogas como las climatólogas consideren aceptable. Esto no quiere decir que la inconmensurabilidad semántica sea irrelevante en todas las investigaciones interdisciplinarias, sólo quiere decir que en estos casos en específico no es tan claro que este tipo de inconmensurabilidad haya ocasionado serias dificultades.

Las dificultades de la interdisciplina en el estudio de la Tierra como un sistema

En el capítulo anterior vimos que en los casos de la construcción del modelo de Daisyworld y de la construcción de modelos en el IGBP era complicado hacer interdisciplina porque para ello había que encontrar formas de integrar los modelos de diferentes especialidades. En este capítulo aclaramos qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en estos casos explorando algunas discusiones sobre la interdisciplina en filosofía de la ciencia.

En primer lugar vimos que el caso de Daisyworld y el caso del IGBP se pueden entender como ejemplos de investigaciones interdisciplinarias integrativas, no reduccionistas y locales en las que hay que encontrar formas de conectar los modelos de diferentes especialidades para resolver problemas específicos. En segundo lugar, vimos

que en estos casos el problema del imperialismo científico no parece estar presente. Más bien parece que el problema que encontramos en estos casos se trata de un problema de apropiación. Este problema consiste en evitar que una especialidad se apropie un problema científico, imponiendo sus conceptos, métodos, técnicas u otras herramientas para tratar de resolverlo, cuando es claro que su resolución requiere de las contribuciones de diferentes disciplinas. En tercer lugar, vimos que en ambos casos el hecho de que los modelos que se buscan integrar sean muy diferentes plantea dificultades para la integración. Mientras más diferentes sean los modelos que se buscan integrar, parece que es más difícil encontrar conexiones entre ellos. En cuarto lugar, en el caso del IGBP la inconmensurabilidad metodológica y las diferencias en la manera de evaluar las investigaciones científicas entre la climatología y la ecología ocasionaron dificultades para la integración.

Así, ahora podemos tener mayor claridad respecto a qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina integrativa en los estudios de caso que presentamos en el capítulo 1. Para lograr la integración de diferentes especialidades en estos casos había que superar tres tipos de dificultades: 1) el problema de la apropiación, 2) el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes y 3) el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades (sólo en el caso del IGBP).

Superando las dificultades de la interdisciplina en el estudio de la Tierra como un sistema

El historiador de la ciencia Chungling Kwa ha propuesto algunas formas de superar los problemas de la interdisciplina en el estudio de la Tierra como un sistema. De acuerdo con Kwa (2005, 925), “el rol mediador de los modelos y de los datos globales de satélite en la configuración interdisciplinaria de las ciencias de la Tierra hace de estos modelos y datos típicos ejemplos de ‘objetos de frontera’” (véase también Dutreuil, 2016, 563).⁹ Además, para este autor “las llamadas a la interdisciplina... fueron objetos de frontera que permitieron la cooperación...” entre diferentes especialidades en el estudio de la Tierra (Kwa, 2005, 946). Como vimos anteriormente, los objetos de frontera son objetos lo suficientemente flexibles como para ser compartidos por miembros de diferentes culturas y adaptarse a sus necesidades locales, pero lo suficientemente robustos como para mantener una identidad común entre ellos. Así, para Kwa los modelos de la Tierra, los datos globales y las llamadas a la interdisciplina son objetos que pueden ser usados y entendidos por miembros de diferentes especialidades, lo cual permite mantener una cierta

⁹Aquí Kwa está hablando de un rol mediador de los modelos, pero no en el sentido de Morgan & Morrison (1999). Para estas autoras los modelos pueden entenderse como mediadores entre datos y teorías. Kwa, en cambio, está hablando de los modelos como objetos de frontera que sirven como mediadores entre los y las científicas de diferentes especialidades, de modo que facilitan la interdisciplina.

unidad entre comunidades que de otra forma no tendrían nada en común, facilitando la interdisciplina. Si bien estos objetos de frontera no resuelven por completo las tensiones entre diferentes especialidades en el estudio de la Tierra, sí contribuyen a superar los problemas de comunicación ocasionados por la inconmensurabilidad entre diferentes especialidades.

No obstante, no es claro que esta propuesta sea útil para superar los problemas que encontramos en este capítulo. En primer lugar, el uso de objetos de frontera no nos dice mucho sobre cómo superar el problema de la apropiación. Los modelos de la Tierra, los datos y las llamadas a la interdisciplina pueden favorecer una buena comunicación entre diferentes especialidades, pero esto no evita que una de las especialidades intente imponer sus conceptos, métodos, técnicas, etc., al tratar de estudiar la Tierra como un sistema. En segundo lugar, que los modelos y datos funcionen como objetos de frontera tampoco nos dice mucho sobre cómo encontrar conexiones entre modelos muy diferentes. De hecho, para crear un modelo integral de la Tierra que pueda servir como un objeto de frontera primero hay que encontrar formas de relacionar los modelos de diferentes especialidades. En tercer lugar, los objetos de frontera pueden evitar los problemas de comunicación entre diferentes especialidades, pero como vimos anteriormente, no es claro que en los casos estudiados en el capítulo anterior la comunicación represente un problema tan fuerte. Finalmente, esta propuesta tampoco nos dice mucho sobre cómo superar el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica en el caso del IGBP.

A mi parecer, la propuesta de Kwa es muy valiosa y tiene mucho sentido una vez que se logra la construcción de modelos integrales del sistema Tierra. Estos modelos pueden facilitar la interdisciplina sirviendo como un ejemplo de qué es lo que se espera de una investigación interdisciplinaria en el estudio de la Tierra como un sistema. Sin embargo, también es importante entender cómo se pueden superar las dificultades que identificamos en este capítulo al construir conexiones entre modelos de diferentes especialidades para crear este tipo de modelos. En el capítulo siguiente trataremos de responder a estas preguntas.

2.4. Conclusiones

En este capítulo exploramos algunas discusiones en filosofía de la ciencia sobre la interdisciplina y sus dificultades con el fin de aclarar qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en los casos de Daisyworld y del IGBP. Vimos que la interdisciplina no debe ser entendida de una sola manera, sino que hay una pluralidad de nociones válidas de interdisciplina. Entendimos que los casos que estudiamos en el capítulo anterior son un ejemplo de investigaciones interdisciplinarias integrativas, no reduccionistas y locales. También vimos que en algunos casos hay que superar el problema de aprovechar la inconmensurabilidad entre diferentes especialidades y el problema del imperialismo

científico para hacer interdisciplina integrativa. No obstante, en el caso de Daisyworld y en el caso del IGBP el problema del imperialismo no está presente, sino que se trata de un problema de apropiación. Tampoco es claro que en estos casos la inconmensurabilidad semántica haya ocasionado problemas serios. No obstante, en el caso del IGBP la inconmensurabilidad metodológica entre la biología y la ecología ocasionó problemas en el proyecto GCTE. Así, en este capítulo concluimos que para lograr la integración de diferentes especialidades en los casos de estudio presentados en el capítulo anterior había que superar tres tipos de dificultades: 1) el problema de la apropiación, 2) el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes y 3) el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades (sólo en el caso del IGBP).

3| Superando las dificultades: abstracciones integrativas, metodologías intermedias y la necesidad de experticias integrativas en la interdisciplina

...the cognitive resources from the involved domains need to interlock, that is, there needs to be some connection between for example, selected concepts, models or generalizations. This interlocking requires that scientists have some additional skills beyond their contributory expertise; skills that enable them to recognize enough of the key elements from another domain to participate in the interlocking process.

(Andersen, 2016, 4-8)

En el capítulo anterior analizamos algunas discusiones sobre la interdisciplina en la filosofía de la ciencia con el fin de aclarar qué tipo de dificultades complicaron la interdisciplina en los estudios de caso que presentamos en el capítulo 1. Vimos que tanto en el caso de Daisyworld como en el caso del IGBP había que integrar modelos de diferentes especialidades para lograr la construcción de modelos integrales que permitieran estudiar problemas relacionados con la Tierra. No obstante, esto requería superar algunas dificultades.

En primer lugar, en ambos casos había que evitar que una sola especialidad tratara de apropiarse de un problema que requiere de las herramientas de diferentes especialidades para poder ser estudiado. En segundo lugar, el hecho de que los modelos de distintas especialidades hablaran de cuestiones muy diferentes, y tuvieran variables muy diferentes, dificultó la integración en ambos casos. Finalmente, en el caso del IGBP la inconmensurabilidad metodológica entre la ecología y la climatología causó problemas

para la integración. Así, en los estudios de caso presentados en el capítulo 1 se tenían que superar tres tipos de dificultades para lograr la integración de modelos de diferentes especialidades: 1) el problema de la apropiación, 2) el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes y 3) el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades (en el caso del IGBP).

El objetivo de este capítulo es explicar cómo se pudieron superar estas dificultades en los casos de Daisyworld y del IGBP, y sugerir qué se requiere en general para superarlas en otros casos de investigaciones interdisciplinarias en la ciencia.

En la sección 3.1 nos enfocaremos en tratar de entender cómo se resolvieron estos problemas. En primer lugar argumentaremos que en el caso del modelo de Daisyworld la construcción de una abstracción integrativa fue lo que permitió superar el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes sin caer en el problema de la apropiación. En segundo lugar argumentaremos que en el caso del IGBP la construcción de una metodología intermedia fue lo que permitió superar el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica y el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes, sin caer en el problema de la apropiación.

Después, en la sección 3.2 argumentaremos que hay algo común en la manera en la que se resolvieron los problemas de la interdisciplina integrativa en el caso de Daisyworld y en el caso del IGBP que se requiere en cualquier caso de interdisciplina integrativa para poder resolver estos problemas. Para resolver los problemas de la interdisciplina que identificamos en el capítulo anterior es necesario mantener una tensión, análoga a la tensión esencial de la que hablaba Kuhn, en la comunidad de científicos y científicas involucradas en la investigación interdisciplinaria.

Esta tensión se da entre científicas con un conocimiento básico de diferentes especialidades y una experticia integrativa, y científicas con un conocimiento profundo de alguna especialidad y una experticia contributiva.¹ Es mediante la interacción de estos dos tipos de científicas que pueden surgir maneras de integrar elementos de diferentes especialidades para resolver problemas específicos sin caer en el problema de la apropiación. Las científicas con un conocimiento básico de diferentes especialidades tienen una experticia integrativa que les permite buscar nuevas formas de integrar elementos de estas especialidades. Las científicas con una experticia contributiva evalúan que estas propuestas cumplan con los estándares de su especialidad, de modo que no sólo se impongan los métodos de una sola especialidad y se evite el problema de la apropiación.

Esto nos llevara a concluir que, al igual que la presencia de científicas expertas en una sola especialidad con experticia contributiva, la presencia de científicas con experticia integrativa, capaces de integrar elementos de diferentes especialidades, tiene una gran importancia en la ciencia. Así, nuestro análisis mostrará la importancia de mantener esta tensión, haciendo una división del trabajo cognitivo entre científicas con experticia

¹Véase la tabla 3.1 de la página 84.

integrativa y contributiva, para poder superar las dificultades de la interdisciplina. No obstante, también veremos que aunque mantener esta tensión es una condición necesaria para hacer interdisciplina con integración y superar sus dificultades, mantenerla no garantiza que una investigación interdisciplinaria integrativa será exitosa.

3.1. Superando las dificultades: abstracciones integrativas y metodologías intermedias

En esta sección trataremos de entender cómo es que se superaron las dificultades de la modelación interdisciplinaria en el estudio de la Tierra en el caso de Daisyworld y en el caso del IGBP. Comenzaremos recordando en qué consiste el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes en el caso de Daisyworld. Después, tras revisar brevemente la noción de abstracción en filosofía de la ciencia, argumentaremos que en este caso la construcción de una abstracción fue lo que permitió superar esta dificultad sin caer en el problema de la apropiación. Posteriormente recordaremos en qué consisten los problemas de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica, y de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes en el caso del IGBP. Argumentaremos que en este caso la construcción de una metodología intermedia fue lo que permitió superar estas dificultades sin caer en el problema de la apropiación. Finalmente, introduciremos brevemente algunas discusiones recientes sobre la modelación interdisciplinaria en la filosofía de la ciencia y diremos cómo nuestro análisis se relaciona con dichas discusiones.

El problema de conectar modelos muy diferentes en el caso de Daisyworld

Como vimos en el capítulo 1, el modelo de Daisyworld fue construido por Lovelock y Watson con el objetivo de apoyar la hipótesis de Gaia y responder a las críticas que algunos biólogos evolucionistas y algunos geoquímicos habían hecho a esta hipótesis. Recordemos que, de acuerdo con la hipótesis de Gaia, la Tierra puede entenderse como un sistema autorregulado en el sentido de que la regulación de la temperatura superficial, y de otras variables superficiales de la Tierra, puede ser resultado de las interacciones de los seres vivos con su ambiente. Daisyworld permitió mostrar que esta regulación no se podría explicar sin que se tomara en cuenta a la biósfera (en contra de lo que decían los geoquímicos), y que esta regulación puede surgir a pesar de que la selección natural actúe al nivel de individuos egoístas (en contra de lo que decían los biólogos evolucionistas).

Para construir este modelo, Lovelock y Watson tuvieron que integrar modelos de diferentes especialidades: el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince, y un modelo del clima muy sencillo. No obstante, integrar estos modelos no fue una tarea fácil. No fue cuestión de hacer una simple suma vectorial de modelos. De hecho, si solamente juntáramos estos modelos tal como son, con sus ecuaciones originales, no

obtendríamos nada, ya que dichos modelos no tienen nada en común. No hay ninguna relación directa entre sus variables. Sin embargo, como vimos en el capítulo anterior, el problema aquí no tiene que ver con la inconmensurabilidad. No es claro que en este caso la inconmensurabilidad semántica y metodológica entre la ecología y la climatología haya causado problemas. Más bien parece que en este caso el problema tiene que ver con que el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y el modelo del clima sencillo son muy diferentes. El problema es que estos modelos tienen variables que describen fenómenos muy diferentes y que no se pueden relacionar de manera directa y sencilla.²

Por otra parte, además de este problema, estos autores también tenían que evitar el problema de la apropiación. Puesto que el problema de explicar la autorregulación de la Tierra no se puede resolver con las herramientas de una sola especialidad, si Lovelock y Watson hubieran intentado explicar la autorregulación sólo con las herramientas de la ecología o la climatología, hubieran fracasado. De este modo, para integrar modelos de diferentes especialidades y crear un modelo integral de la Tierra, en este caso había que encontrar una forma de relacionar o de conectar dos modelos muy diferentes (el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y un modelo del clima sencillo), sin caer en el problema de la apropiación.

Abstracciones en filosofía de la ciencia

A mi parecer, lo que permitió superar estos problemas fue la construcción de una abstracción. Antes de pasar a argumentar esto es necesario que revisemos brevemente

²Cabe aclarar que el hecho de que en el caso de Daisyworld no haya habido problemas ocasionados por la inconmensurabilidad semántica y metodológica no excluye la posibilidad de que en este caso haya otro tipo de obstáculos que se podrían conceptualizar como inconmensurabilidades. Como hemos dicho antes, el concepto de inconmensurabilidad es muy complejo y es factible que haya otros tipos de inconmensurabilidad distintos a los que vimos en esta tesis.

En el caso de Daisyworld hablamos de las dificultades ocasionadas debido a que la ecología y la climatología estudian fenómenos muy diferentes. Este problema podría conceptualizarse como una inconmensurabilidad fenomenológica u ontológica en el sentido de que no hay reglas o algoritmos objetivos y universales que permitan comparar los fenómenos, u objetos de estudio, que investigan dos especialidades diferentes. Este tipo de inconmensurabilidad se distinguiría de la inconmensurabilidad semántica y metodológica en que ya no son los conceptos o valores de una comunidad los que no se pueden comparar con criterios objetivos y universales exteriores a la comunidad misma, sino que serían los propios fenómenos que estudian los que no se pueden comparar con este tipo de criterios.

Si bien considero que esta distinción tiene sentido, con el fin de evitar entrar en discusiones muy extensas sobre la inconmensurabilidad, en esta tesis nos concentraremos sólo en los dos tipos de inconmensurabilidad que distinguen [Hoyningen-Huene & Sankey \(2001, x\)](#) y seguiremos hablando de la diferencia entre la manera de estudiar los fenómenos en la ecología y la climatología como la principal dificultad que había que superar para hacer interdisciplina en el caso de Daisyworld.

Además, considero que no es necesario discutir la inconmensurabilidad ontológica para los propósitos de esta tesis. Recordemos que en esta tesis nos interesa entender cómo se pueden superar algunas de las dificultades epistémicas de la interdisciplina para resolver problemas científicos interdisciplinarios. Resulta complicado pensar en un problema científico cuya resolución requiera eliminar las diferencias ontológicas o fenomenológicas entre los objetos de estudio de diferentes especialidades. Parece que las características ontológicas de un objeto de estudio no se pueden modificar a voluntad. Tiene más sentido pensar en modificar las diferencias conceptuales y metodológicas entre diferentes especialidades para resolver un problema.

cómo se ha entendido la noción de abstracción en la filosofía de la ciencia. Esta noción típicamente se ha entendido como la omisión de detalles en la construcción de modelos o de generalizaciones (Godfrey-Smith, 2009; Knox, 2016; Jones, 2005) Por ejemplo, al tratar de modelar la caída de un cuerpo por un plano inclinado se puede omitir el color del cuerpo, haciendo una abstracción para describir el movimiento en términos simples y decir algo general sobre este tipo de eventos, tomando en cuenta sólo los factores relevantes que comparten todos los cuerpos que caen por un plano inclinado. Esta noción tradicional se ha criticado debido a que hay casos en los que el proceso de abstracción involucra mucho más que la mera omisión de propiedades (véase por ejemplo de Rijcke (2008)).

Debido a esto, para Martínez & Huang (2011) la noción tradicional de abstracción no puede agotar la discusión sobre abstracciones en la ciencia, ya que puede haber diferentes tipos de abstracciones asociadas a diferentes prácticas científicas. Dichos autores defienden que este pluralismo puede verse en las múltiples nociones de abstracción, diferentes a la noción clásica, que han surgido recientemente, poniendo como ejemplo tres nociones que no deben considerarse como rivales, sino como complementarias: la noción de abstracción de Cartwright (1989), , Radder (1996) y Nersessian (2002).

Para Cartwright la abstracción involucra suponer que hay capacidades y tendencias en la naturaleza que nos permiten identificar regularidades y generalidades por medio de un proceso de substracción cuyo fin es aislar ciertas causas de otras para obtener leyes, y un proceso de concretización cuyo fin es identificar la forma de estas leyes en una situación particular.

Para Radder la abstracción involucra la búsqueda de conceptos con significados no locales que pueden extenderse a múltiples dominios. Por ejemplo, en una serie de experimentos podemos identificar fenómenos que no dependen de las condiciones materiales específicas del experimento, y que pueden aparecer en otras condiciones; es decir, que son extensibles a otros dominios, por lo que son no locales. La abstracción involucra la búsqueda de estas no localidades.

Para Nersessian, la abstracción involucra hacer analogías para crear modelos genéricos que nos permitan estudiar situaciones particulares. Ella pone el ejemplo de las ecuaciones de Maxwell, que fueron el resultado de la analogía entre fenómenos mecánicos e hidrodinámicos con fenómenos electromagnéticos que realizó este autor. Todas estas nociones de abstracción son válidas y pueden estar asociadas a diferentes prácticas científicas. No hay una sola manera de hacer una abstracción. A veces para crear conceptos generales hay que hacer analogías, a veces hay que buscar no localidades, a veces hay que identificar tendencias y capacidades, o a veces hay que combinar estas formas de hacer abstracción. Lo importante es que mediante estos procesos de abstracción podemos obtener conceptos, leyes o modelos que nos permiten decir algo general sobre algunos fenómenos.

Construyendo una abstracción integrativa para resolver los problemas

La construcción del modelo de Daisyworld no fue una simple suma vectorial de modelos. Para lograr la integración del modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y del modelo del clima sencillo, Lovelock y Watson tuvieron que hacer algo más. Estos autores querían mostrar que la temperatura superficial de la Tierra, y otras variables ambientales superficiales, se pueden mantener constantes mediante la interacción de los seres vivos con su ambiente a pesar de que haya perturbaciones externas. No obstante, no era nada factible modelar las interacciones de millones de organismos de la Tierra con su ambiente.

Para poder estudiar el fenómeno de la autorregulación, Lovelock y Watson tuvieron que imaginar un planeta en el que sólo existen margaritas negras y blancas que responden de manera diferente al aumento de la luminosidad solar. Esto les permitió introducir ciertos elementos que no estaban en los modelos originales y que posibilitaron la integración. Me refiero al color, al albedo y a la función de dependencia de la tasa de crecimiento de las margaritas con su temperatura, que no son elementos considerados en el modelo original de Carter y Prince. Estos elementos permitieron a Lovelock y Watson introducir ecuaciones que relacionan el albedo de las margaritas con el albedo de Daisyworld, y la temperatura de las margaritas con la temperatura de Daisyworld (ecuaciones 1.5 y 1.6 del capítulo 1), lo cual permitió encontrar relaciones entre las variables de estos modelos, y posibilitó la integración.

A mi parecer, este proceso se puede conceptualizar como la construcción de una abstracción integrativa. Una abstracción integrativa es una abstracción que permite integrar modelos de diferentes especialidades, facilitando la búsqueda de conexiones entre estos modelos para poder decir algo general sobre algunos fenómenos que no se pueden estudiar con los modelos de una sola especialidad. Para construir esta abstracción integrativa, Lovelock y Watson tuvieron que imaginarse un planeta en el que sólo existen margaritas blancas y negras que responden de manera diferente al aumento de la luminosidad del sol. Esta abstracción les permitió introducir ciertos elementos integradores que no están en los modelos originales y que posibilitaron la integración. Estos elementos permitieron vincular las variables de ambos modelos de manera coherente para resolver el problema de explicar cómo las interacciones de los organismos vivos con su ambiente pueden regular la temperatura de la Tierra, mostrando que las críticas de los biólogos evolucionistas y de los geoquímicos no invalidan la hipótesis de Gaia.

A mi juicio, este proceso se puede considerar como una abstracción porque permitió decir algo general sobre las interacciones de los seres vivos con su ambiente: éstas pueden regular la temperatura de un planeta. Además, creo que construir esta abstracción no sólo fue cuestión de omitir propiedades de la Tierra hasta quedar con un planeta sin atmósfera y sin océanos en donde sólo viven margaritas negras y blancas. Para construir esta

abstracción había que tomar en cuenta qué es lo que decía el modelo de Carter y Prince y el modelo del clima sencillo, y buscar una forma de integrarlos que tuviera sentido, y no sólo omitir propiedades de la Tierra. Así, sostengo que la construcción de esta abstracción integrativa fue lo que permitió superar el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes en este caso. Más aún, la forma en la que se superó esta dificultad está libre del problema de la apropiación, ya que mediante esta abstracción integrativa se logró encontrar conexiones coherentes entre el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y el modelo del clima sencillo, que permitieron explicar la autorregulación de la Tierra sin que se tratara de explicar este fenómeno con las herramientas de una sola especialidad.

Las dificultades de la modelación interdisciplinaria en el caso del IGBP

Recordemos en qué consisten las dificultades de la modelación interdisciplinaria de la Tierra en el caso del IGBP. Como vimos en el capítulo 1, el IGBP fue una de las instituciones más importantes de las CST y tenía por objetivo el desarrollo de modelos integrales de la Tierra que permitieran estudiar los cambios globales. Para alcanzar este objetivo, los y las científicas del IGBP se organizaron en diferentes proyectos que buscaban integrar los modelos de diferentes especialidades para estudiar las interacciones de componentes específicos del sistema Tierra. No obstante, como vimos en el caso del proyecto GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems), se presentaron algunas dificultades a la hora de buscar esta integración.

El GCTE era un proyecto del IGBP cuyo objetivo era entender cómo se relacionan algunos cambios globales, como el cambio climático, con los ecosistemas terrestres. Para alcanzar este fin, los y las científicas participantes en el GCTE tenían que encontrar formas de integrar modelos ecológicos que permitían estudiar los ecosistemas, con modelos climáticos que permitían estudiar el cambio climático. Pero esta no era una tarea sencilla. Puesto que la ecología ponía énfasis en el estudio y la modelación de ecosistemas a escalas locales, y puesto que la climatología ponía énfasis en el estudio y la modelación del clima a nivel global, se dieron algunas dificultades a la hora de buscar la integración.

Como vimos en el capítulo anterior, estas dificultades son de tres tipos. En primer lugar, al igual que en el caso de Daisyworld, en este caso el hecho de que los modelos de la ecología y de la climatología sean muy diferentes y no tengan variables que se relacionen de manera sencilla, ocasionó problemas para la integración. En segundo lugar, en este caso la inconmensurabilidad metodológica entre la ecología y la climatología causó problemas para la integración. Dado que en la ecología se valoran los modelos simples de ecosistemas a escalas locales, y dado que en la climatología se valoran más los modelos predictivos y complejos a escala global, era complicado integrar los modelos de estas dos especialidades. Esto porque los y las ecólogas podrían considerar los modelos

globales y complejos como malos modelos, mientras que los y las climatólogas podrían considerar los modelos locales y sencillos como malos modelos, de modo que resulta complicado integrar los modelos de la ecología y la climatología en un modelo que los miembros de ambas especialidades consideren aceptable. Finalmente, también había que evitar el problema de la apropiación ya que las relaciones entre el cambio climático y los ecosistemas no se pueden estudiar con las herramientas de una sola especialidad.

Así, en este caso había que encontrar una forma de integrar modelos muy diferentes y de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre la ecología y la climatología sin caer en el problema de la apropiación.

Construyendo una metodología intermedia para resolver los problemas

Como vimos en el capítulo 1, para lograr el objetivo de integrar las contribuciones de la ecología con las de la climatología en el caso del proyecto GCTE, fue necesario que ambas especialidades hicieran cambios en su manera de hacer investigación. La ecología tuvo que moverse de su énfasis en estudios de ecosistemas a escala local, y comenzar a hacer estudios a escala regional. La climatología tuvo que aceptar la importancia de los estudios de ecosistemas a escala regional para los estudios del clima a escala global. Esto permitió resolver las dificultades de integrar modelos muy diferentes de distintas especialidades y de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre la ecología y la climatología, porque gracias a estos cambios se pudieron integrar los modelos de estas especialidades para construir modelos del sistema Tierra que fueran aceptables tanto para las ecólogas como para las climatólogas.

A mi parecer, este proceso se puede conceptualizar como la construcción de una metodología intermedia. Como vimos en el capítulo anterior, en este caso no es claro que el desarrollo de lenguajes intermedios, objetos de frontera y experticias interactivas puedan ser útiles para resolver las dificultades de la interdisciplina, en tanto que sólo contribuyan a mejorar la comunicación entre los miembros de distintas especialidades. Esto porque el problema aquí no tiene que ver con la inconmensurabilidad semántica, sino con la inconmensurabilidad metodológica. Que haya una buena comunicación entre los miembros de diferentes especialidades no garantiza que puedan resolver sus diferencias en términos de valores y fines. En el caso del IGBP y del proyecto GCTE, aun cuando las climatólogas y las ecólogas tuvieran una excelente comunicación y entendieran que sus dificultades al colaborar surgen de sus diferencias en fines y valores, podrían seguir considerando los fines y valores diferentes a los suyos como inadecuados. Así, creo que lo que permitió resolver las dificultades en este caso no fue el desarrollo de un lenguaje común, o el desarrollo de objetos de frontera o experticias interactivas que contribuyeran a mejorar la comunicación entre ecólogas y climatólogas. A mi parecer, lo que permitió resolver las dificultades en este caso fue la creación de una metodología intermedia en la

que tanto ecólogas y climatólogas pudieran estar de acuerdo.

Una metodología intermedia es una metodología que permite dirimir las diferencias de valores y fines entre los y las integrantes de distintas especialidades para resolver un determinado problema.³ Implementar una metodología intermedia requiere hacer cambios en la forma de hacer investigación de las especialidades involucradas, de modo que las diferencias en sus fines y valores no impidan la colaboración. En el caso del GCTE, considero que los cambios que tuvieron que hacer las ecólogas y las climatólogas para poder integrar los modelos de sus especialidades y estudiar la relación entre el cambio climático y los ecosistemas, se pueden entender como la implementación de una metodología intermedia. Gracias a que la ecología cambió su énfasis en la modelación de ecosistemas a escala local y comenzó a hacer modelos a escala regional, y gracias a que la climatología aceptó la importancia de los modelos de ecosistemas a escala regional para la modelación del clima a escala global, se pudieron construir modelos para estudiar la relación entre el cambio climático y los ecosistemas. Fue gracias a estos cambios que se logró crear una metodología de construcción de modelos de la Tierra en la que tanto ecólogas como climatólogas estaban de acuerdo. Y fue esto lo que posibilitó la integración de modelos de diferentes especialidades.

Así, a pesar de que en ecología se valoran más los modelos simples de escala local, y en la climatología se valoran más los modelos predictivos y complejos de escala global, se pudieron superar estas diferencias mediante la construcción de una metodología intermedia que consistió en integrar modelos ecológicos y climáticos medianamente complejos a nivel regional.

Ahora, cabe aclarar que esta metodología intermedia no eliminó las diferencias metodológicas entre la ecología y la climatología de manera definitiva. Sólo permitió dirimir estas diferencias para alcanzar un propósito particular: poder estudiar las relaciones entre el cambio climático y los ecosistemas. Además, la creación de esta metodología intermedia permitió evitar el problema de la apropiación porque mediante dicha metodología se pudieron integrar los modelos de la climatología y de la ecología sin imponer los métodos o conceptos de una sola especialidad.

Estrategias adaptativas de resolución de problemas

Recientemente, algunos filósofos de la ciencia como [MacLeod & Nersessian \(2016\)](#) y [MacLeod & Nagatsu \(2016\)](#) han discutido sobre cómo ocurre y cómo se puede facilitar la modelación interdisciplinaria en la ciencia. A continuación veremos cómo se relaciona lo que dicen estos autores con lo que hemos visto sobre la manera en que se resolvieron

³Los valores y fines compartidos de una comunidad científica son cuestiones metodológicas porque sin valores para evaluar y fines a los cuales aspirar no podría haber metodologías, no podría haber determinadas maneras de investigar un objeto de estudio. Los valores que se fomentan y los fines que se persiguen dentro de una comunidad científica definen y determinan la manera de investigar los objetos de estudio dentro de esta comunidad, definen las metodologías de una comunidad científica.

los problemas de la modelación interdisciplinaria en el estudio de la Tierra en los casos de Daisyworld y del IGBP.

Basándose en un estudio etnográfico de 5 años en dos laboratorios de biología integrativa de sistemas, [MacLeod & Nersessian \(2016\)](#) buscan entender cómo se pueden superar las dificultades causadas por la falta de estructura teórica y de metodologías, prácticas y valores epistémicos compartidos en las prácticas interdisciplinarias de resolución de problemas. De acuerdo con estos autores, los y las científicas involucradas en investigaciones interdisciplinarias manejan la complejidad de los problemas que estudian mediante una estrategia que ellos llaman “resolución de problemas adaptativa”. Cuando no se tienen métodos estandarizados o rutinas guiadas por una teoría para abordar un problema, como en el caso de las investigaciones interdisciplinarias, los y las científicas manejan la complejidad de los problemas que buscan resolver adaptando los métodos y conceptos de distintas especialidades de modo que sean útiles para resolver un problema, o adaptando los problemas que buscan resolver de modo que puedan ser abordados mediante las metodologías o conceptos de determinadas especialidades. Así, la resolución de problemas adaptativa consiste en buscar formas de adaptar las herramientas de distintas especialidades o de adaptar los problemas que se buscan resolver, de manera que estos problemas puedan ser de hecho resueltos.⁴ Ahora, no hay una sola forma de resolver un problema de manera adaptativa, la manera en la que se deben adaptar las herramientas de distintas especialidades, o los problemas de interés para poder ser abordados, depende de los problemas en específico.

A mi parecer, lo que dicen estos autores sobre las prácticas de resolución de problemas en contextos interdisciplinarios es compatible con lo que encontramos sobre la manera en que se resolvieron las dificultades de la modelación interdisciplinaria en el caso de Daisyworld y del IGBP. Considero que la construcción de abstracciones integrativas y de metodologías intermedias puede ser entendida como una estrategia adaptativa de resolución de problemas.

Para poder crear el modelo de Daisyworld y resolver el problema de explicar cómo es posible la autorregulación de la Tierra, Lovelock y Watson tuvieron que adaptar el inextricable problema de explicar la autorregulación de la Tierra, y transformarlo en un problema más fácil de abordar: explicar la regulación de la temperatura en Daisyworld. Esto se logró haciendo una abstracción que consistió en imaginarse un planeta sin océanos y sin atmósfera en el que sólo viven margaritas blancas y negras. Esta abstracción permitió modificar y adaptar el modelo de Carter y Prince y el modelo del clima sencillo, de manera que mediante la introducción de ciertos elementos integradores, estos modelos pudieran ser integrados para resolver el problema de explicar la autorregulación en Daisyworld.

⁴No hay términos generales para adaptar las herramientas de diferentes especialidades o los problemas que se buscan resolver. La solución adaptativa de un problema podría requerir la reducción de la complejidad del problema para que pueda ser abordado con determinadas herramientas, o podría requerir la introducción de variables o aspectos no tomados en cuenta en el problema original.

Por otra parte, la construcción de una metodología intermedia en el caso del IGBP requirió que las ecólogas y las climatólogas involucradas adaptaran sus valores epistémicos, sus estándares de evaluación y su manera de hacer investigación, de modo que se pudieran integrar los modelos de la ecología con los de la climatología para crear modelos del sistema Tierra útiles para estudiar los cambios globales.

Así, creo que las abstracciones integrativas y las metodologías intermedias pueden ser entendidas como casos especiales de estrategias adaptativas de resolución de problemas.

Marcos conceptuales integrativos

Por otro lado, MacLeod & Nagatsu (2016) buscan entender cómo es que se pueden superar las dificultades cognitivas de la interdisciplina, y cómo se puede facilitar la colaboración interdisciplinaria en la modelación científica. Estudiando las prácticas de modelación en la economía ecológica y forestal estos autores argumentan que la creación de marcos conceptuales para la integración de modelos y de prácticas de construcción de modelos puede facilitar la creación de respuestas colaborativas a determinados problemas. Estos marcos “están compuestos por conjuntos de modelos o de componentes de modelos recolectados de diferentes disciplinas, y por conjuntos de relaciones conceptuales y constricciones que los y las investigadoras formulan para integrar estos diferentes modelos” (MacLeod & Nagatsu, 2016, 417) Dichos marcos generan constricciones en las prácticas de modelación y coordinan la construcción de modelos, de modo que los integrantes de diferentes especialidades involucrados en una investigación interdisciplinaria tienen claro cómo proceder a la hora de buscar la integración de modelos. Es decir, tienen claro cómo deben modificar los modelos de su especialidad y qué tipo de variables deben relacionar para lograr la integración. De acuerdo con estos autores, la efectividad de estos marcos se puede definir en términos de las ganancias y afordancias (*affordances*) colaborativas que generan.⁵ Las ganancias colaborativas se refieren a los grados y dimensiones en que un marco permite mejorar ciertos valores epistémicos importantes para resolver problemas específicos que no se podrían mejorar sin la colaboración de diferentes especialidades. Las afordancias colaborativas se refieren a las características de un marco que permiten mejorar la habilidad de los colaboradores para definir y coordinar tareas con el fin de producir procesos eficientes de construcción de modelos. Así, para MacLeod y Nagatsu la creación de marcos conceptuales integrativos puede facilitar la colaboración interdisciplinaria en tanto que sirvan como guías para lograr la integración de modelos y permitan generar ganancias y afordancias colaborativas.

En general estoy de acuerdo con lo que dicen estos autores en cuanto a su estudio

⁵El término *afordancia* fue propuesto por Gibson (1979, 127-137) y se refiere a las posibilidades de acción dadas por el ambiente.

de caso. No obstante, creo que en los casos de Daisyworld y del IGBP los problemas de la interdisciplina no se resolvieron mediante la implementación de marcos conceptuales integrativos. En la construcción de una abstracción integrativa en el caso de Daisyworld, y de una metodología intermedia en el caso del IGBP, no había un marco conceptual que sirviera como guía en la integración de modelos de la ecología y de la climatología. Esto no quiere decir que lo que dicen MacLeod y Nagatsu no sea valioso. De hecho creo que la construcción de marcos conceptuales integrativos puede ser una estrategia muy útil en ciertos casos, pero en los casos de Daisyworld y el IGBP no fue la estrategia que se siguió para hacer modelación interdisciplinaria.

Resolviendo los problemas de la interdisciplina en el estudio de la Tierra

En esta sección explicamos cómo se superaron las dificultades de la interdisciplina en el caso de Daisyworld y del IGBP. Vimos que en el caso de Daisyworld la construcción de una abstracción integrativa fue lo que permitió conectar modelos muy diferentes de distintas especialidades sin caer en el problema de la apropiación. También vimos que en el caso del IGBP la construcción de una metodología intermedia fue lo que permitió conectar modelos muy diferentes y superar el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica sin caer en el problema de la apropiación. Finalmente vimos cómo se relacionan estos hallazgos con algunas discusiones contemporáneas sobre la modelación interdisciplinaria. En la siguiente sección veremos que hay algo común en la forma en la que se resolvieron las dificultades de la interdisciplina en el caso de Daisyworld y del IGBP, que es necesario para resolver estas dificultades en cualquier caso de interdisciplina integrativa.

3.2. La tensión esencial y la necesidad de experticias integrativas en la interdisciplina

En esta sección argumentaremos que para hacer interdisciplina con integración y superar los problemas de la interdisciplina es necesario mantener una tensión, análoga a la tensión esencial de la que hablaba Kuhn, en la comunidad de científicos y científicas involucradas en la investigación interdisciplinaria. Esta tensión se da entre científicas con experticia integrativa y científicas con experticia contributiva.⁶ Argumentaremos que en cualquier caso de interdisciplina integrativa es necesario mantener esta tensión para resolver los problemas que identificamos en el capítulo 2. Esto nos llevará a concluir que, del mismo modo que en las investigaciones interdisciplinarias integrativas es muy importante que haya científicas especializadas con un conocimiento profundo de sus especialidades, también es muy importante que en este tipo de investigaciones haya

⁶Véase la tabla 3.1 de la página 84.

científicas con un conocimiento básico de diferentes especialidades que sean capaces de encontrar conexiones entre los elementos de diferentes especialidades.

Comenzaremos revisando la noción de la tensión esencial en Kuhn y la noción de la tensión esencial de la interdisciplina de Andersen (2013). Después argumentaremos que la noción de la tensión esencial de la interdisciplina de esta autora no se puede mantener en algunos casos de interdisciplina integrativa, particularmente en el caso del IGBP, por lo que no es tan esencial para la interdisciplina. Finalmente, argumentaremos que a partir de los casos de Daisyworld y del IGBP surge una noción diferente de la tensión esencial de la interdisciplina que es necesario mantener en cualquier caso de interdisciplina integrativa en la ciencia.

La tensión esencial en Kuhn

Kuhn presentó por primera vez sus ideas sobre la tensión esencial durante una conferencia sobre la identificación del talento científico en 1959 (Kuhn, 1977a). Algunos de los participantes en esta conferencia pensaban que la característica más importante que los científicos debían tener para garantizar el avance de la ciencia es el pensamiento divergente. De acuerdo con estos participantes, los científicos con este tipo de pensamiento se distinguen por su capacidad de innovar, “rechazando la[s] vieja[s] solución[es]... y aventurándose en nuevas direcciones” (Kuhn, 1977a, 226). No obstante, en contra de lo que pensaban estos participantes, durante esta conferencia Kuhn argumentó que, si bien es cierto que el pensamiento divergente y la innovación son muy importantes para el avance de la ciencia, no había que olvidar la importancia del pensamiento convergente y la tradición para el avance científico. En palabras de Kuhn: “Debo, por tanto, sugerir que algo así como un pensamiento convergente es tan importante para el avance científico como el divergente. Como estos dos modos de pensamiento están inevitablemente en conflicto, se sigue que la habilidad para apoyar una tensión que ocasionalmente se puede volver inaguantable es uno de los requisitos más importantes para la investigación científica del mejor tipo” (Kuhn, 1977a, 226). Esto porque de acuerdo con Kuhn, hay dos tipos de cambio y avance científico: el que se da durante la ciencia normal, en el que se van resolviendo problemas con las herramientas de un paradigma, para lo cual el pensamiento convergente es muy importante; y el que se da en la ciencia revolucionaria, en el que se crean nuevas herramientas (conceptos, métodos, instrumentos etc.) para resolver anomalías y en el que el pensamiento divergente es muy importante.

Así, para Kuhn es necesario que en la ciencia haya científicos tradicionalistas con pensamiento convergente, que permitan el avance de la ciencia normal, resolviendo problemas con las técnicas tradicionales de un paradigma, pero también es necesario que haya científicas innovadoras con pensamiento divergente, que se atrevan a proponer nuevas formas de resolver problemas que no se pueden resolver con las técnicas

tradicionales de un paradigma, y que promuevan la creación de nuevos paradigmas. Sin científicas con pensamiento convergente, la ciencia se volvería un caos. Sin científicas con pensamiento divergente, no habría innovación. Es mediante el balance de estos dos tipos de científicos y científicas en una comunidad, que la ciencia puede progresar resolviendo nuevos problemas dentro de un paradigma, y creando nuevos paradigmas.⁷

Esto abre el problema de explicar cómo se mantiene esta tensión entre innovación y tradición en las comunidades científicas. Kuhn resuelve este problema mediante el argumento de la distribución del riesgo (D'Agostino, 2008, 276-277) De acuerdo con este argumento, puesto que las comunidades científicas se caracterizan por estar unidas por valores compartidos, y puesto que los valores no determinan las decisiones de las científicas sino que sólo las influyen, es de esperarse que haya diferentes tipos de respuestas ante una anomalía debido a las diferencias individuales de cada científica. Así, habrá científicas que reaccionen de manera más conservadora y traten de abordar la anomalía con las herramientas clásicas de su paradigma, y habrá científicas que reaccionen de manera más innovadora y riesgosa, tratando de crear nuevas herramientas para resolver la anomalía. Como resultado, las particularidades y diferencias individuales de cada científica permiten que el riesgo de tratar con la anomalía se distribuya en la comunidad, lo que garantiza que se mantendrá la tensión esencial. Así, gracias a las diferencias individuales de cada científica y científico se puede distribuir el riesgo en la comunidad y se puede mantener la tensión esencial, lo cual posibilita el avance de la ciencia.⁸

La tensión esencial de la interdisciplina

Andersen (2013) ha argumentado que del mismo modo que hay una tensión esencial entre innovación y tradición en la ciencia mono-disciplinaria, en la ciencia interdisciplinaria hay una tensión esencial entre la independencia epistémica y el escrutinio crítico por un lado, y la dependencia epistémica y la confianza por otro lado. De acuerdo con esta autora, esta tensión puede verse al tomar el análisis Kuhniano de las relaciones diacrónicas entre diferentes estados teóricos en una misma disciplina, como un modelo de las relaciones sincrónicas entre diferentes disciplinas.

Para Andersen, un agente A es epistémicamente dependiente de un agente B, si A tiene que recurrir a B para basar sus creencias sobre un área en la que A no es competente, pero B sí. En este caso, las creencias de A sobre proposiciones de esta área basadas en el testimonio de B serán superiores a las creencias de A por sí solas. De este

⁷En su conferencia de 1959 Kuhn parece sugerir que son los y las científicas individuales las que deben ser innovadoras y tradicionalistas a la vez. No obstante, como aclara en su nota número 2 (Kuhn, 1977a, 227), no es en el individuo sino en la comunidad donde se debe mantener esta tensión, manteniendo una distribución de científicas innovadoras y tradicionalistas.

⁸Desde luego, como ha mostrado D'Agostino (2008), para garantizar la distribución del riesgo y mantener la tensión esencial, también hay que ejercer ciertas políticas a nivel institucional.

modo, Andersen considera que en una investigación interdisciplinaria es muy importante que haya científicas epistémicamente dependientes que puedan tener confianza en el testimonio de científicas de otras especialidades en las que ellas no tienen competencia. No obstante, también es importante que haya científicas epistémicamente independientes, que no confíen en el testimonio de las científicas de otras áreas, y que obtengan un cierto grado de competencia en áreas diferentes a las suyas para que puedan ejercer un escrutinio crítico sobre lo que dicen las científicas de otras áreas. “Sin dependencia epistémica y confianza, la investigación interdisciplinaria nunca sería iniciada y las comunidades mono-disciplinarias de expertos altamente especializados se mantendrían aisladas, sin ser capaces de trabajar en problemas cuya solución se expande a través de fronteras disciplinarias. Sin el constante escrutinio crítico de los mismos resultados, hecho por científicas intelectualmente independientes, la investigación interdisciplinaria no sería capaz de aislar y enfocar sitios de problemas potenciales” (Andersen, 2013, 7).

Así, para esta autora, del mismo modo que para el avance de la ciencia mono-disciplinaria hay que mantener una tensión entre innovación y pensamiento divergente por un lado, y tradición y pensamiento convergente por otro lado; para el avance de la ciencia en contextos interdisciplinarios es indispensable mantener una tensión entre dependencia e independencia epistémica en la comunidad de científicos y científicas interesadas en hacer interdisciplina. Las científicas epistémicamente dependientes permiten iniciar la investigación interdisciplinaria, confiando en lo que dicen las científicas de otras áreas. Y las científicas epistémicamente independientes permiten asegurarse de que los resultados de la investigación interdisciplinaria sean válidos.

Experticias conectivas, contributivas e interactivas⁹

La idea de la tensión esencial de la interdisciplina apunta a la importancia de que haya científicas con un cierto grado de conocimiento de áreas y especialidades distintas a las suyas, que tengan la capacidad de proponer maneras de conectar los elementos de estas especialidades. Andersen introduce el término de experticia conectiva (*interlocking expertise*) para explorar el tipo de habilidades que requiere una científica para encontrar conexiones entre los recursos cognitivos de diferentes especialidades. De acuerdo con ella, la experticia conectiva “requiere que las científicas tengan algunas habilidades adicionales que van más allá de su experticia contributiva; habilidades que les permiten reconocer suficientes de los elementos clave de otros dominios para participar en el proceso de conexión. Usualmente, reconocer estos elementos clave requiere que ellas hayan adquirido algunos elementos básicos de los recursos cognitivos de este otro dominio, como un reconocimiento básico de las categorías ontológicas importantes y un entendimiento básico de los conceptos clave” (Andersen, 2016, 3-4).

⁹En esta tesis hablaremos de cuatro tipos de experticia: contributiva, interactiva, conectiva e integrativa. Véase la tabla 3.1 de la página 84 para ver las definiciones y algunos ejemplos de estas experticias.

La noción de experticia contributiva se refiere a la capacidad de una científica para contribuir al desarrollo de una especialidad. En contraste con la experticia interactiva, en la que una científica, sin necesariamente entender perfectamente un lenguaje extraño, puede establecer una comunicación efectiva con los miembros de alguna otra comunidad científica, en la experticia contributiva las científicas deben tener un entendimiento profundo de los conceptos, métodos, técnicas e instrumentos de una especialidad, con el fin de poder contribuir a su desarrollo (Collins & Evans, 2002, 2007, 2015; Collins *et al.*, 2015). Así, cuando Andersen dice que la experticia conectiva requiere habilidades que van más allá de la experticia contributiva, se refiere a que para ser una experta conectiva no basta con ser capaz de hacer contribuciones a una determinada especialidad, sino que también es necesario tener conocimientos básicos de otras especialidades para poder ver posibles conexiones entre los recursos cognitivos de diferentes especialidades.

Andersen distingue su noción de experticia conectiva de las nociones de experticia interactiva y contributiva de Collins y Evans, diciendo que estos autores se “han centrado en describir la experticia interactiva como la experticia que requiere una académica de los estudios de la ciencia para interactuar con científicas... [y] hacer estudios de caso, ignorando el problema de cómo la experticia interactiva en diferentes dominios de la ciencia se puede combinar con la experticia contributiva en la producción de nuevas contribuciones para la investigación en las ciencias mismas. En contraste, la noción de experticia conectiva... se elige para enfocarse explícitamente en el proceso de conexión de contribuciones parciales de diferentes áreas de experticia en la producción de una genuina contribución a la investigación en un campo cognitivamente divergente” (Andersen, 2016, 4). Así, Andersen considera que, a diferencia de las nociones de experticia interactiva y contributiva, la noción de experticia conectiva sí permite estudiar de manera explícita cómo se da el proceso de encontrar conexiones entre elementos de diferentes especialidades en contextos interdisciplinarios.

Cabe preguntarse si, además de esta diferencia, hay alguna relación entre la experticia conectiva y las experticias interactivas y contributivas. Más allá de decir que para ser una experta conectiva no basta con ser una experta contributiva, Andersen no dice más sobre esto. No queda claro si para ser una experta conectiva hay que ser una experta contributiva o interactiva, o si la experticia conectiva debe de resultar en una contribución para alguna especialidad, dando lugar a una experticia contributiva.

Yo concuerdo con Andersen en que no es suficiente ser una experta contributiva en una o todas las especialidades involucradas en una investigación interdisciplinaria para ser una experta conectiva. Tener experticia contributiva no garantiza que se tengan las habilidades necesarias para proponer maneras de conectar los elementos de diferentes especialidades. No obstante, también creo que no es necesario ser una experta contributiva en una o todas las especialidades involucradas en una investigación interdisciplinaria para ser una experta conectiva. Se pueden hacer propuestas exitosas para la integración

de los elementos de diferentes especialidades sin tener experticia contributiva. Por ejemplo, como veremos más adelante, en el caso de Daisyworld sucedió esto. A pesar de que Lovelock y Watson no eran expertos en climatología ni en ecología, y no tenían una experticia contributiva en estas especialidades, su conocimiento básico de estas especialidades y su experticia conectiva les permitió integrar exitosamente un modelo de dinámica de poblaciones y un modelo del clima. Además, la integración no tiene que resultar en una contribución para una especialidad en particular, dando lugar a una experticia contributiva. Algunos problemas que no se inscriben en el marco de una especialidad particular pueden ser resueltos mediante la integración de elementos de distintas especialidades sin que esto resulte en una contribución para una especialidad en específico.

Del mismo modo, considero que no basta ser una experta interactiva para ser una experta conectiva. Ser una experta interactiva, y tener una buena comunicación con los miembros de otras especialidades no garantiza que se puedan encontrar conexiones entre los elementos de diferentes especialidades. Como hemos visto antes, cuando hay problemas de inconmensurabilidad metodológica, una buena comunicación no basta para integrar elementos de diferentes especialidades. Ahora, si bien tener experticia interactiva no es una condición suficiente para tener experticia conectiva, cabe la posibilidad de que sí sea una condición necesaria. Si los y las científicas con experticia conectiva no tienen la capacidad de interactuar con los y las científicas de las especialidades involucradas en la investigación interdisciplinaria, no podrían hacerles ver por qué sus propuestas de integración son valiosas y relevantes. Parecería que si no tienen experticia interactiva sus propuestas no podrían adquirir relevancia en la ciencia. Considero que en los casos de Daisyworld y del IGBP esto es así. Lovelock, por ejemplo, interactuó con algunos climatólogos y climatólogas cuando trabajó para la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) (Gribbin & Gribbin, 2009, capítulo 5). En el caso del IGBP, el trabajo de los ecólogos como Harold Mooney y Jean Claude Menaut, que buscaban integrar los modelos de la ecología con los de la climatología, los obligaba a interactuar constantemente con climatólogos y climatólogas durante las reuniones del GCTE.

Creo que es necesario investigar más casos para decir cómo es que la experticia interactiva podría ser necesaria para la experticia conectiva. Por ahora sólo dejaré esta posibilidad abierta, porque lo que me interesa en este momento es remarcar que las habilidades que se requieren para ser una experta conectiva son diferentes de las habilidades que se requieren para ser una experta contributiva o interactiva, y aunque pueden estar relacionadas, no dejan de ser diferentes. Mientras que para ser una experta contributiva hay que tener habilidades para contribuir al avance de una especialidad, y mientras que para ser una experta interactiva hay que tener habilidades para comunicarse con los miembros de otras especialidades, para ser una experta conectiva hay que

tener habilidades que permitan proponer formas de conectar los recursos cognitivos de diferentes especialidades.

En resumen, para Andersen hacer interdisciplina requiere que haya un proceso de conexión o de entrelazamiento entre los recursos cognitivos de diferentes especialidades, lo cual a su vez requiere que haya científicas con una experticia conectiva que tengan un conocimiento de algunos aspectos básicos de las especialidades involucradas, de modo que puedan ver las posibles conexiones entre estos recursos. A mi parecer, esto apunta a que del mismo modo en que es importante para las investigaciones interdisciplinarias que haya científicas especializadas con un conocimiento muy específico de alguna especialidad y una experticia contributiva, también es importante que haya científicas con experticia conectiva y un conocimiento básico de diferentes especialidades.

Inconmensurabilidad y la tensión esencial

En general coincido con mucho de lo que dice Andersen. Sin embargo, hay algunos aspectos de su forma de caracterizar la tensión esencial de la interdisciplina y la experticia conectiva con los que no estoy muy de acuerdo.

Al caracterizar la tensión esencial, Andersen niega que pueda haber una relación de inconmensurabilidad entre diferentes especialidades que no están relacionadas por medio de una revolución científica. Kuhn consideraba que la inconmensurabilidad y la falta de una comunicación completa es lo que permite distinguir entre diferentes especialidades, de modo que los y las científicas de una misma especialidad pueden tener una comunicación completa, mientras que los y las científicas de diferentes especialidades no. De igual manera, los y las científicas de una misma especialidad tienen creencias compatibles, mientras que los miembros de diferentes especialidades tienen creencias incompatibles.

Para Andersen (2013, 5-6), en cambio, “la disparidad conceptual entre dos especialidades localizadas en diferentes ramas del árbol evolutivo de la ciencia, es diferente en maneras importantes de la disparidad conceptual entre dos especialidades a cada lado de una división revolucionaria”.

Por una parte, en una división revolucionaria hay problemas de comunicación debido a que las científicas de distintas especialidades tienen conceptos y creencias que pueden identificar como incompatibles gracias a que estas especialidades comparten un dominio. Por otro lado, dos especialidades que no se ubican en distintos lados de una revolución científica tienen problemas de comunicación debido a que no comparten un dominio. Mientras que en el primer caso hay inconmensurabilidad y disparidad conceptual gracias a que las especialidades comparten un dominio, en el segundo caso no hay inconmensurabilidad y la disparidad conceptual se debe a la falta de un dominio compartido entre las especialidades.

De este modo, Andersen piensa que no tiene que ser el caso que haya creencias incompatibles y juicios caracterizados por el desacuerdo entre las científicas de cualesquiera dos especialidades. Más bien, en los casos que a ella le interesan “el juicio profesional está distribuido”, es decir, cada científica “provee juicios profesionales dentro de su propia área de experticia y depende de los juicios de sus colaboradores en áreas de experticia cercanas. Así, en lugar de la conocida situación de las revoluciones científicas en la que las científicas discrepan con científicas de comunidades en competencia, la situación aquí es la de que, en áreas que complementan su propia experticia, las científicas desisten de hacer sus propios juicios y en cambio dependen de los juicios hechos por científicas de comunidades vecinas ” (Andersen, 2013, 6).

Esta postura en cuanto a la inconmensurabilidad también puede verse en algunos otros trabajos de Andersen. En un artículo escrito conjuntamente con Susann Wagenknecht en el que Andersen desarrolla más su idea de independencia epistémica en contextos interdisciplinarios, estas autoras escriben: “nos centraremos en situaciones... [en las que hay]... grupos cuyos miembros tienen conocimiento en diferentes áreas; conocimiento que es complementario y no conflictivo” (Andersen & Wagenknecht, 2013, 1891). Asimismo, esta postura está presente en un artículo reciente en el que Andersen describe cuatro diferentes tipos de actividades científicas en la ciencia contemporánea, incluyendo la interdisciplina, con base en un análisis de si involucran el pensamiento convergente o divergente, y de si involucran la independencia o la dependencia epistémica. Al hablar de su noción de experticia conectiva y de la importancia de reconocer los conceptos clave de otras especialidades, Andersen escribe: “aunque este punto se parece a la idea de Galison... de lenguajes *pidgin* especiales usados en una zona de intercambio, el análisis aquí proporcionado difiere del de Galison al no asumir una relación de inconmensurabilidad entre diferentes campos” (Andersen, 2016, 4).

Estoy de acuerdo en que la inconmensurabilidad no siempre tiene que ser un problema para la interdisciplina y en que puede haber casos, como el caso de Daisyworld, en los que la inconmensurabilidad no representa un problema. Sin embargo, creo que al caracterizar a la inconmensurabilidad de esta manera, Andersen parece sólo estar hablando de la inconmensurabilidad en un sentido semántico, dejando a un lado la inconmensurabilidad metodológica. De hecho, me parece que al caracterizar la tensión esencial de la interdisciplina, Andersen pone demasiado énfasis en los aspectos semánticos y proposicionales, dando como resultado una visión demasiado proposicional de la tensión esencial que deja de lado aspectos como las diferencias metodológicas entre distintas especialidades. A mi parecer, esto representa una desventaja para el análisis de Andersen. Al olvidarse de la inconmensurabilidad metodológica, su análisis no permite explicar cómo es que la integración de herramientas de distintas especialidades que pueden ser compatibles, pero cuya integración resulta complicada debido a la inconmensurabilidad metodológica, puede dar lugar a la solución de algunos problemas

que requieren de la interdisciplina.

El análisis de Andersen parece sugerir que al mantener una tensión entre científicas que aceptan los juicios y las proposiciones de las científicas de otras áreas, y científicas que buscan justificar estos juicios y proposiciones por sí mismas, la interdisciplina puede avanzar. No obstante, no siempre es el caso que los y las científicas de una especialidad puedan aceptar los juicios y las proposiciones de los y las científicas de otras especialidades. Por ejemplo, en el caso del IGBP las ecólogas y las climatólogas no podían simplemente aceptar sus juicios de manera mutua debido a sus diferencias en su forma de evaluar qué es un buen modelo. Los resultados sobre los modelos de ecosistemas no podían ser aceptados por las climatólogas porque son resultados que no concuerdan con sus estándares, y los resultados de las climatólogas no podrían ser aceptados por las ecólogas por la misma razón. No obstante, el caso del IGBP y de GCTE es un caso genuino de interdisciplina. En consecuencia, hay casos de interdisciplina en los que no se puede mantener la tensión de la que habla Andersen, y por tanto, esta tensión no es tan esencial para la interdisciplina.

Experticias integrativas y conectivas

También hay un aspecto en la forma de caracterizar la noción de experticia conectiva de Andersen con el que no concuerdo. De acuerdo con esta autora, esta noción “es neutral a la pregunta de si la integración es parte del proceso [de conexión] y por tanto, es neutral a la distinción estándar entre ínter- y multidisciplina” (Andersen, 2016, 4). Andersen afirma esto sin aclarar con precisión a qué se refiere por integración. No obstante, podemos darnos una idea de lo que está pensando por integración en su artículo escrito junto con Susann Wagenknecht.

Para estas autoras la integración es el proceso de combinar el conocimiento proposicional de diferentes especialidades. Ellas hablan de la integración mediante el siguiente ejemplo: el conocimiento de una citóloga de que los “... cromosomas son la probable ubicación del material hereditario en las células germinales” y el conocimiento de una genetista de que “hay patrones de herencia y hay una entidad llamada gen que es causalmente responsable de estos patrones” se integra por una tercer científica que es capaz de concluir que “los cromosomas son la ubicación física de los genes” (Andersen & Wagenknecht, 2013, 1886). Así, para ellas la integración tiene que ver con el proceso de combinar las proposiciones de diferentes especialidades. Estas autoras no explican cómo ocurre esta integración, pero sugieren que tiene que ver con la experticia conectiva y con la creación de conceptos o modelos que permiten relacionar las proposiciones de diferentes especialidades.

Considero que esta noción de integración es muy limitada porque sólo se da entre proposiciones de diferentes especialidades, y porque es una noción de integración muy

lineal. En su ejemplo, Andersen y Wagenknecht parecen sugerir que la integración se reduce a la suma de las proposiciones de diferentes especialidades.

No obstante, si aceptamos el análisis que hemos hecho en esta tesis sobre la integración no tendría sentido decir que la noción de experticia conectiva es neutral a si el proceso de conexión involucra la integración, ya que en nuestro análisis la integración es justamente el proceso de encontrar conexiones entre los elementos de diferentes especialidades. Además, como hemos visto anteriormente, la integración se puede dar entre diferentes elementos, no sólo entre proposiciones, y no es una simple suma vectorial de estos. Así, para remarcar el hecho de que la noción de integración en esta tesis es diferente de la noción de integración de Andersen, y para remarcar que los estudios de caso de esta tesis son casos de interdisciplina integrativa en los que el proceso de conexión entre elementos de diferentes especialidades necesariamente involucra la integración, hablaré de experticias integrativas, en lugar de experticias conectivas, para referirme a las habilidades que permiten a una científica conectar elementos de distintas especialidades. En total hemos hablado de cuatro tipos de experticias. En la tabla 3.1 pueden verse las definiciones y algunos ejemplos de estas nociones de experticia.

Tipo de experticia	Autores que la proponen	Definición	Ejemplos
Interactiva	Collins & Evans (2002)	Las expertas interactivas tienen la habilidad de comunicarse efectivamente con los miembros de otras culturas, con lenguajes inconmensurables, sin necesariamente entender a la perfección estos lenguajes	Investigadoras de los estudios de la ciencia
Contributiva	Collins & Evans (2002)	Las expertas contributivas tienen un conocimiento profundo de los conceptos, métodos, técnicas e instrumentos de una especialidad que les permite contribuir al desarrollo de esta especialidad	Científicas expertas en una especialidad

Conectiva	Andersen (2016)	Las expertas conectivas tienen un conocimiento básico de distintas especialidades y habilidades que les permiten proponer maneras de conectar los elementos de diferentes especialidades sin necesariamente integrarlos	La científica que conecta el conocimiento proposicional de la citóloga y la genetista en el ejemplo de Andersen & Wagenknecht (2013, 1886)
Integrativa	Propuesta en esta tesis	Las expertas integrativas tienen un conocimiento básico de distintas especialidades y habilidades que les permiten proponer maneras de integrar los elementos de diferentes especialidades	James Lovelock, Andrew Watson, Harold Mooney y Jean-Claude Menaut

Tabla 3.1: Tipos de experticia de las que se hablan en esta tesis

A mi parecer, Andersen tiene razón al decir que hay una tensión esencial que es necesario mantener en las investigaciones interdisciplinarias. Esta idea también puede verse en los estudios de caso que analizamos en esta tesis. Sin embargo, como veremos, la noción de la tensión esencial de la interdisciplina que surge a partir de estos casos es un tanto diferente de la noción de Andersen. Es una noción que no se da entre dependencia e independencia epistémica, sino entre experticias integrativas y contributivas, y es una noción que sí reconoce que puede haber inconmensurabilidades semánticas y metodológicas entre diferentes especialidades, y que no tiene la desventaja de ser demasiado proposicional.

La tensión esencial de la interdisciplina en el caso de Daisyworld

Para crear el modelo de Daisyworld y mostrar que la autorregulación de la Tierra es posible, Lovelock y Watson tuvieron que crear una abstracción integrativa que les permitiera relacionar las variables de dos modelos que trataban de cosas muy distintas: el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y un modelo del clima sencillo. Esta abstracción consistió en imaginarse un planeta en el que sólo existen margaritas blancas y negras que responden de manera diferente al aumento de la luminosidad del sol. La construcción de dicha abstracción permitió a estos autores introducir ecuaciones y variables que posibilitaron la integración de estos modelos de manera coherente. Recordemos precisamente cómo ocurrió este proceso. Al construir la abstracción de Daisyworld, Lovelock y Watson introdujeron una variable que no estaba presente en el

modelo original de dinámica de poblaciones de Carter y Prince: el color y el albedo de las margaritas. Esto les permitió introducir ecuaciones que relacionan el albedo de Daisyworld con el albedo de las margaritas (ecuación 1.5 del capítulo 1), y una ecuación que relaciona la temperatura de Daisyworld con la temperatura de las margaritas (ecuación 1.6 del capítulo 1). De esta manera Lovelock y Watson pudieron explicar cómo es que las interacciones entre el clima y las margaritas da lugar a la regulación de la temperatura superficial de Daisyworld.

Ni Lovelock ni Watson eran especialistas en climatología o ecología. En esta época Lovelock se dedicaba más a la química atmosférica y Watson era un matemático interesado en la modelación de la Tierra. No obstante, construir esta abstracción requirió que estos autores tuvieran un conocimiento básico de climatología y ecología. Fue gracias a este conocimiento básico que Lovelock y Watson pudieron entender el modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince y el modelo del clima sencillo. Ahora, para construir esta abstracción también fue necesario que estos autores tuvieran una experticia integrativa. Gracias a sus habilidades para ver posibles conexiones entre las variables de estos modelos Lovelock y Watson pudieron dar con un escenario en el que resultaba coherente relacionar estas variables. Esta experticia involucró la habilidad de estos autores para intuir qué variables relacionar y qué tipo de ecuaciones utilizar para relacionar estas variables, de modo que estas ecuaciones les permitieran explicar cómo se da la autorregulación.

Así, este caso apunta a la importancia de que haya científicas y científicos con una experticia integrativa, que tengan un conocimiento básico de algunas de las especialidades involucradas en la investigación interdisciplinaria, y que puedan proponer nuevas formas de integrar los elementos de distintas especialidades. La experticia integrativa en este caso consistió en la habilidad de estos autores para relacionar las variables del modelo de dinámica de poblaciones de Carter y Prince, y del modelo del clima sencillo, utilizando sus conocimientos básicos de climatología y ecología para crear una abstracción integrativa, imaginándose un planeta en el que sólo viven dos tipos de margaritas que reaccionan de maneras diferentes al aumento de la luminosidad del sol. No obstante, esto no resultó en una contribución para la ecología o para la climatología, ya que el problema de explicar la autorregulación de la Tierra no es un problema clásico en ninguna de estas especialidades.

Ahora, algo interesante de este caso es que en él no parece haber una comunidad científica que desarrolle la investigación interdisciplinaria. El modelo de Daisyworld fue creado sólo por dos personas con experticia integrativa (Lovelock y Watson) y su construcción no requirió de la presencia y colaboración de científicos y científicas con experticia contributiva. Lovelock comenta que la idea de Daisyworld se le ocurrió poco después de leer el artículo en el que Carter y Prince publicaron su modelo de dinámica de poblaciones pero no colaboró de manera directa con estos autores. Tampoco colaboró

de manera directa con algún climatólogo o climatóloga para hacer este modelo. No obstante, el trabajo de los y las científicas con experticia contributiva es indispensable para poder hacer interdisciplina. Sin el trabajo de científicos como Carter y Prince, no habría herramientas que integrar para hacer interdisciplina. Si no hubiera habido científicos y científicas que desarrollaran el modelo de dinámica de poblaciones y el modelo del clima que se integraron para crear el modelo de Daisyworld, no se hubiera podido crear este modelo. Además, si bien el modelo de Daisyworld jugó un papel muy importante en el estudio de la autorregulación de la Tierra, después este modelo fue mejorado en aspectos tanto ecológicos como climatológicos, para lo cual el trabajo de ecólogas y climatólogas con experticia contributiva fue muy importante. Por ejemplo, algunos ecólogos como Stephan Harding, Joel Ephraim Cohen y Rich Albert contribuyeron a criticar y mejorar la parte correspondiente a la ecología en el modelo de Daisyworld (Harding & Lovelock, 1996; Cohen & Rich, 2000). Asimismo, algunos climatólogos como Xubin Zeng, Roger A. Pielkey y Werner von Bloh contribuyeron a criticar y mejorar la parte correspondiente a la climatología en este modelo (Xubin *et al.*, 1990; von Bloh *et al.*, 1997).

Así, si vemos solamente el caso aislado de la creación del modelo de Daisyworld, parece que no fue necesario mantener la tensión esencial de la interdisciplina para estudiar la autorregulación de la Tierra. Pero si vemos los desarrollos posteriores que se hicieron a este modelo, vemos que mantener esta tensión fue necesario para el avance de la investigación interdisciplinaria. Sin científicos y científicas con experticia integrativa como Lovelock y Watson, no habría propuestas que busquen integrar los elementos de diferentes especialidades; y sin científicos y científicas con experticia contributiva como Carter y Prince, o Rich Albert y Xubin Zeng, no habría herramientas con las cuales hacer interdisciplina, y no habría críticas y desarrollos especializados que busquen mejorar la manera en las que las propuestas de integración utilizan las herramientas de las especialidades involucradas en la investigación interdisciplinaria. En consecuencia, en el caso de Daisyworld fue necesario mantener una tensión esencial entre científicos y científicas con experticia integrativa y contributiva para el avance de la investigación de la autorregulación de la Tierra.

La tensión esencial de la interdisciplina en el caso del IGBP

Para crear modelos integrales de la Tierra que permitieran estudiar las relaciones entre el cambio climático y los ecosistemas terrestres, las ecólogas y las climatólogas del IGBP, y particularmente del proyecto GCTE, tuvieron que crear una metodología intermedia que les permitiera resolver sus diferencias metodológicas. Esto requirió que las ecólogas y las climatólogas participantes en el GCTE hicieran cambios en su manera de hacer investigación, ya que en la ecología se prefieren los modelos simples, y en la climatología se valoran más los modelos predictivos y complejos. Con el fin de

superar estas diferencias, las ecólogas tuvieron que cambiar su énfasis en hacer modelos de ecosistemas a escala local y comenzar a hacer modelos a escala regional, y las climatólogas tuvieron que aceptar la importancia de los modelos de ecosistemas a escala regional para los modelos del clima a escala global. Estos cambios constituyeron una metodología intermedia; es decir, una metodología que permitió dirimir las diferencias de fines y valores entre la ecología y la climatología para resolver el problema de estudiar la relación entre el cambio climático y los ecosistemas.

A mi parecer, la construcción de esta metodología intermedia requirió tanto de científicos y científicas con un conocimiento básico de diferentes especialidades y una experticia integrativa, como de científicos y científicas con un conocimiento profundo en alguna de las especialidades involucradas y una experticia contributiva. Por una parte, sin ecólogos como Harold Mooney y Jean-Claude Menaut, que buscaron resolver las diferencias metodológicas entre la ecología y la climatología, tratando de encontrar formas de integrar los modelos de estas especialidades, no hubiera sido posible crear esta metodología intermedia, ni cumplir los objetivos del GCTE. Como vimos en el capítulo 1, Mooney y Menaut son dos ecólogos que fueron parte de los y las científicas que propusieron que para superar las diferencias metodológicas entre los modelos de la ecología y la climatología, había que buscar relacionar estos modelos a una escala regional. Hacer esta propuesta requirió que estos autores tuvieran un conocimiento básico de climatología, de modo que pudieran entender de manera básica cómo se hacen y cómo funcionan los modelos del clima y por qué era complicado relacionarlos con los modelos de la ecología. Además, hacer esta propuesta también requirió que estos autores tuvieran una experticia integrativa que les permitiera tener habilidades no sólo para entender que sería más sencillo relacionar estos modelos a escala regional, sino para entender qué tipo de variables y mediante qué tipo de ecuaciones hacer esta integración. Fue gracias a su experticia integrativa que estos autores pudieron hacer una propuesta efectiva para relacionar los modelos de la ecología y la climatología.

Por otra parte, para construir esta metodología intermedia no fue suficiente con la presencia de científicos y científicas con una experticia integrativa. También fue necesario que hubiera científicos y científicas con un conocimiento especializado de alguna de las especialidades involucradas y con una experticia contributiva. Los y las científicas como Jelte Rozema y Rien Aerts que, como vimos en el capítulo 1, no buscaban proponer formas de lograr la integración entre la ecología y la climatología, sino asegurarse de que la parte correspondiente a la ecología en el proyecto fuera aceptable, también fueron muy importantes para el éxito del GCTE. Al igual que en el caso de Daisyworld, si no hubiera científicos y científicas con una experticia contributiva no habría modelos que integrar para hacer interdisciplina en este caso.

Pero en este caso se puede discernir otra razón por la cual este tipo de científicos y científicas son muy importantes en una investigación interdisciplinaria integrativa: ellos

y ellas se aseguran de que la parte correspondiente a su especialidad sea aceptable en la investigación interdisciplinaria. Cuando los y las científicas con experticia integrativa proponen una manera de integrar las contribuciones de diferentes especialidades podría suceder que sus propuestas tiendan a alinearse con los métodos y valores de la especialidad en la que fueron entrenados, de modo que alguna de las especialidades termine imponiendo sus métodos y estándares para hacer investigación, en lugar de encontrar métodos y estándares intermedios con los que ambas especialidades estén de acuerdo. Los y las científicas especializadas con experticia contributiva pueden evitar esto evaluando las propuestas de los y las científicas con experticia integrativa, asegurándose de que estas propuestas den como resultado metodologías y estándares que les parezcan apropiados.

Así, en este caso podemos ver cómo es que la dinámica entre científicas con experticia integrativa y científicas con experticia contributiva puede dar lugar a la integración de elementos de diferentes especialidades sin caer en el problema de la apropiación. Las científicas con experticia integrativa hacen propuestas para integrar los elementos de diferentes especialidades y las científicas con experticia contributiva evalúan estas propuestas, asegurándose de que sean aceptables y de que no se trate de una mera imposición de los métodos y estándares de una sola especialidad.

Una tensión esencial de la interdisciplina diferente

A mi parecer, la noción de la tensión esencial de la interdisciplina que surge a partir de estos estudios de caso es un tanto diferente de la noción de Andersen. Como vimos, para esta autora hay una tensión entre dependencia e independencia epistémica que es necesario mantener para llevar a cabo la interdisciplina. En su análisis las científicas epistémicamente dependientes son las que permiten que las investigaciones interdisciplinarias empiecen, confiando en los juicios y proposiciones de las científicas de otras áreas, y las científicas epistémicamente independientes son las que evalúan la investigación, desconfiando de lo que dicen las científicas de otras áreas e identificando problemas potenciales. No obstante, no siempre es el caso que una científica pueda aceptar y confiar en las proposiciones de las científicas de otras áreas. Las diferencias metodológicas entre distintas especialidades pueden ocasionar que las científicas de una especialidad no puedan simplemente aceptar lo que dicen las científicas de otras especialidades, porque va en contra de sus estándares de evaluación. Así, puede haber casos como el del IGBP en los que no se puede mantener esta tensión pero sí puede haber interdisciplina.

La noción de la tensión esencial de la interdisciplina que surge a partir de estos estudios de caso no se da entre científicas epistémicamente dependientes y científicas epistémicamente independientes. Se da entre científicas con experticia integrativa y

científicas con experticia contributiva. Sin científicas con experticia integrativa, con las habilidades necesarias para proponer maneras de conectar los elementos de diferentes especialidades, no podría haber interdisciplina integrativa. Si no hubiera nadie con la habilidad de hacer propuestas para integrar elementos de diferentes especialidades, no habría forma de utilizar las herramientas de estas especialidades para resolver problemas específicos, y no habría forma de hacer interdisciplina integrativa. Por otra parte, si no hubiera científicas con experticia contributiva no habría herramientas con las cuales hacer interdisciplina. Si no hubiera científicas capaces de contribuir al avance de una especialidad específica no habría elementos que integrar para hacer interdisciplina, y no habría críticas y desarrollos especializados para mejorar la manera en la que se usan estas herramientas en la investigación interdisciplinaria.

Esta noción se distingue de la noción de Andersen en que admite que, si bien no siempre es el caso que la inconmensurabilidad causa problemas para la interdisciplina, sí puede haber casos en los que la inconmensurabilidad semántica y metodológica dificulte la interdisciplina. Así, en la noción de la tensión esencial de la interdisciplina que surge a partir de estos estudios de caso no es necesario que las científicas de una especialidad puedan aceptar sin problemas los juicios y proposiciones de las científicas de otras especialidades, y que no haya conflictos, para poder hacer interdisciplina. Aún cuando haya conflictos entre las metodologías de distintas especialidades, puede haber formas, como la construcción de metodologías intermedias, de dirimirlos y de posibilitar la interdisciplina.

Asimismo, esta noción se distingue de la de Andersen en que una científica con experticia integrativa o contributiva puede ser epistémicamente dependiente o independiente, de modo que no es necesario mantener la tensión de Andersen para mantener la tensión que surge a partir de nuestros estudios de caso.

Además, considero que la idea de la tensión esencial de la interdisciplina que surge a partir de estos casos es análoga a la tensión esencial de Kuhn, pero hay algunas diferencias. Las científicas con experticia integrativa se pueden beneficiar de un pensamiento divergente para encontrar maneras innovadoras de integrar los elementos de diferentes especialidades. Las científicas con experticia contributiva se pueden beneficiar del pensamiento convergente para utilizar las herramientas de su especialidad y poder contribuir al avance de la misma, resolviendo nuevos problemas que se enmarcan dentro de esta especialidad.

La diferencia entre la tensión esencial de Kuhn y la tensión esencial de la interdisciplina de esta tesis es que para mantener esta tensión no basta con mantener la tensión esencial de Kuhn. No es suficiente que haya una tensión entre científicas innovadoras y tradicionalistas para que haya una tensión entre científicas con experticia integrativa y contributiva. No basta con tener pensamiento convergente para tener experticia integrativa. También hay que tener habilidades para proponer maneras de

integrar elementos de distintas especialidades. Además, no es necesario tener pensamiento divergente para tener experticia integrativa. La experticia integrativa no siempre tiene que resultar en una innovación. Integrar elementos de diferentes especialidades no siempre requiere nuevas metodologías o conceptos, también puede involucrar la aplicación de metodologías y conceptos estables que se han utilizado en varias ocasiones para integrar elementos de diferentes especialidades. Así, si bien la tensión esencial de la interdisciplina de esta tesis y la tensión esencial de Kuhn son similares, no son idénticas.

Lo esencial de la tensión esencial

La tensión esencial de la interdisciplina entre científicas con experticia integrativa y científicas con experticia contributiva es esencial en el sentido de que es una condición necesaria para hacer interdisciplina integrativa. Si no se mantuviera esta tensión no sería posible hacer este tipo de interdisciplina y no se podrían resolver los problemas de la interdisciplina que identificamos en el capítulo 2. Si no hubiera una tensión entre científicas con experticia integrativa y contributiva no habría propuestas para integrar los elementos de diferentes especialidades, y no habría elementos o herramientas que integrar para resolver problemas que requieren de la interdisciplina, ni críticas o desarrollos especializados para mejorar estas propuestas.

Así, sin esta tensión no se podrían resolver ni las dificultades de la integración causadas debido a que diferentes especialidades pueden estudiar fenómenos muy distintos, como en el caso de Daisyworld, ni las dificultades causadas por la inconmensurabilidad, como en el caso del IGBP. En estos dos casos fue indispensable que existiera esta tensión para poder resolver los problemas de la interdisciplina e integrar modelos de distintas especialidades. Sin propuestas ni herramientas no se podría lograr la integración, por lo que superar estos problemas necesariamente requiere de la tensión entre experticias integrativas y experticias contributivas. Puesto que para resolver dichos problemas es necesario encontrar maneras de integrar los elementos de diferentes especialidades y puesto que esto no se puede lograr sin la tensión esencial, es indispensable mantener esta tensión para poder resolver estos problemas.

Además, sin esta tensión tampoco se podría resolver el problema de la apropiación. Una vez que se produce este problema, si sólo hubiera científicas con experticia integrativa y no hubiera nadie con experticia contributiva en las especialidades a las cuales se les impusieron los métodos, conceptos o valores de otra especialidad, no habría nadie que pudiera estar en desacuerdo con las propuestas de integración que sólo imponen la forma de hacer investigación de una sola especialidad. Si sólo hubiera científicas con experticia contributiva, no habría forma de hacer propuestas para la integración, y no habría forma de que el problema emergiera. Así, considero que para superar este problema es indispensable mantener esta tensión.

Ahora, si bien mantener esta tensión es una condición necesaria para hacer interdisciplina integrativa, no es una condición suficiente. Mantener esta tensión no garantiza que se puedan resolver las dificultades de la interdisciplina y que una investigación interdisciplinaria vaya a ser exitosa. Para esto, la dinámica y la interacción entre las propuestas de las científicas con experticia integrativa y la evaluación de las científicas con experticia contributiva tendría que dar lugar a propuestas exitosas.

Si mantener una tensión entre científicas con experticia integrativa y contributiva es una condición necesaria para hacer interdisciplina, entonces esto apunta a que del mismo modo que en la ciencia es muy importante que haya científicas con experticia contributiva, es igualmente importante que haya científicas con experticia integrativa, que tengan un conocimiento básico de distintas especialidades y que puedan proponer nuevas formas de relacionar o conectar los elementos de estas especialidades. Sin este tipo de científicas no sería posible hacer interdisciplina integrativa. Lo anterior sugiere que para hacer interdisciplina integrativa es necesario mantener una división del trabajo cognitivo entre científicas cuya labor es buscar formas de integrar los elementos de distintas especialidades y científicas cuya labor es contribuir al avance de especialidades específicas.

La idea de la división del trabajo cognitivo fue propuesta por [Kitcher \(1990\)](#) para indagar cómo se puede optimizar la producción de conocimiento cuando hay diversas alternativas para abordar un problema científico. El punto es entender qué distribución de científicos y científicas entre las diferentes alternativas maximiza la probabilidad de resolver el problema y cómo se puede alcanzar dicha distribución. No obstante, con la idea de que la tensión esencial de la interdisciplina apunta a que es importante mantener una división del trabajo cognitivo entre científicas con experticia contributiva e integrativa, no quiero decir que hay una distribución óptima de científicas con experticia integrativa y contributiva para maximizar el avance de la interdisciplina. Aquí estoy de acuerdo con [D'Agostino \(2009\)](#) en que no hay mucho qué decir sobre la distribución óptima de la división de la labor cognitiva porque esta división está sujeta a cambios contingentes y dependientes de trayectoria. Sólo quiero decir que es necesario dividir el trabajo cognitivo entre científicas con experticia integrativa y contributiva para hacer interdisciplina integrativa.

La interdisciplina vista desde la práctica

En un artículo reciente, [MacLeod & Nagatsu \(2018\)](#) estudian las prácticas de modelación interdisciplinarias en las ciencias ambientales para ver cómo luce la interdisciplina en la práctica. De acuerdo con estos autores, a pesar de que en los discursos principales sobre la interdisciplina se tiende a retratar a la interdisciplina como una práctica que requiere de la innovación y diversificación conceptual y metodológica, en el caso de la ciencias

ambientales las prácticas de modelación interdisciplinarias parecen ser conservadoras, cristalizándose en torno a cuatro estrategias de modelación integrativas. Así, para estos autores, antes de proponer requerimientos normativos para la interdisciplina es necesario e importante estudiar cómo se da la interdisciplina en la práctica, ya que así podemos obtener información valiosa sobre cómo implementar y manejar la interdisciplina y sobre el tipo de beneficios que es razonable esperar de la interdisciplina.

Yo estoy completamente de acuerdo con esos autores en que es importante estudiar la interdisciplina en la práctica para hacer filosofía de la interdisciplina. No obstante, podría parecer que parte de su análisis está en contra de la idea de que la tensión esencial es necesaria para la interdisciplina integrativa. En última instancia lo que MacLeod y Nagatsu parecen sugerir es que quizás la interdisciplina no necesita tanto de la innovación y de la diversificación de metodologías y conceptos como pensábamos y que los resultados de la interdisciplina no siempre tiene que ser metodologías o conceptos innovadores. Las prácticas interdisciplinarias se pueden cristalizar en torno a unas cuantas metodologías y conceptos útiles sin la continua necesidad de la innovación, de modo que puede haber casos de interdisciplina en los que la innovación no es necesaria. Esto parecería sugerir que una vez que una investigación interdisciplinaria cristaliza en torno a unas cuantas metodologías y conceptos exitosos, ya no es necesario mantener la tensión esencial de la interdisciplina de la que hablamos en esta tesis, ya que la experticia integrativa puede estar muy ligada con la innovación. Así, se podría pensar que lo que dicen estos autores sugiere que puede haber casos de interdisciplina en los que esta tensión no es tan esencial.

Ante esta posible crítica, yo respondería que la tensión esencial de la interdisciplina entre experticias integrativas y contributivas no es idéntica a la tensión entre innovación y tradición de Kuhn. Si bien la experticia integrativa puede resultar en la innovación, con la creación de nuevas metodologías, conceptos o abstracciones, este no tiene que ser necesariamente el caso. Tratar de aplicar una metodología que se ha utilizado en otras ocasiones para integrar elementos de diferentes especialidades también requiere de experticia integrativa para entender cómo es que una propuesta para la integración de elementos de diferentes especialidades que permitió resolver un problema específico, se podría utilizar para resolver otro problema. Esto requeriría entender qué tipo de conceptos o variables se podrían relacionar mediante esta propuesta, lo cual requeriría un conocimiento básico de las especialidades involucradas para entender estos conceptos o variables.

Así, considero que la idea de que la innovación no tiene que ser una norma para la interdisciplina no va en contra de la idea de que la tensión esencial es una condición necesaria para hacer interdisciplina integrativa. En cualquier investigación en la que sea necesario integrar los elementos de diferentes especialidades para resolver problemas específicos, será necesario mantener la tensión esencial de la interdisciplina.

3.3. Conclusiones

En este capítulo tratamos de entender cómo se pudieron superar las dificultades de la interdisciplina en el caso de la construcción del modelo de Daisyworld y en el caso de la construcción de modelos de la Tierra en el IGBP. En primer lugar, argumentamos que en el caso de Daisyworld, la construcción de una abstracción integrativa que consistió en imaginarse un planeta sin océanos y sin atmósfera, en el que sólo existen margaritas blancas y negras que responden de manera diferente al aumento de la luminosidad del sol, fue lo que permitió superar la dificultad de encontrar conexiones entre modelos con variables muy diferentes, sin caer en el problema de la apropiación. En segundo lugar, argumentamos que en el caso del IGBP, la construcción de una metodología intermedia fue lo que permitió superar las dificultades de encontrar conexiones entre modelos con variables muy diferentes, y de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades, sin caer en el problema de la apropiación. Esta metodología intermedia consistió en hacer modificaciones en la manera de modelar de la ecología y de la climatología, de modo que sus diferencias en estándares de evaluación de la modelación científica no causaran problemas para la colaboración y para la creación de modelos integrales de la Tierra. En tercer lugar, identificamos que hay algo común en la forma en la que se resolvieron las dificultades de la interdisciplina y que es necesario en cualquier caso de interdisciplina integrativa. Para superar estas dificultades, y para hacer interdisciplina integrativa, es necesario mantener una tensión análoga a la tensión esencial de Kuhn, en la comunidad de científicos y científicas involucradas en la investigación interdisciplinaria. Esta tensión se da entre científicas con experticia integrativa y un conocimiento básico de las especialidades involucradas, y científicas con experticia contributiva y un conocimiento profundo de alguna de las especialidades involucradas. Sin científicas con experticia integrativa, no habría propuestas para la integración, y no podría haber interdisciplina integrativa. Sin científicas con experticia contributiva, no habría herramientas con las cuales hacer interdisciplina integrativa, y sería difícil evitar que una especialidad trate de apropiarse de un problema que requiere de la interdisciplina integrativa para poder ser resuelto.

4 | Conclusiones generales

Hacer interdisciplina es muy necesario. Es indispensable para estudiar algunos de los problemas más importantes actualmente. No obstante, hacer interdisciplina no siempre es fácil. Diferentes disciplinas y especialidades tienen diferentes lenguajes, conceptos, objetivos, métodos y diferentes maneras de entender lo que es una buena investigación científica, por lo que puede ser difícil superar estas diferencias y lograr que haya una colaboración interdisciplinaria. En esta tesis indagamos este tipo de dificultades analizando la historia de dos casos en las ciencias de la Tierra en los que se logró hacer interdisciplina exitosamente. Investigamos en qué consistieron las dificultades en estos casos, cómo se pudieron resolver y qué podemos aprender a partir de ellos sobre cómo superar estas dificultades en otros casos de interdisciplina.

En el capítulo 1 presentamos estos estudios de caso. Analizamos la historia de la construcción del modelo de Daisyworld y la historia de la construcción de modelos de la Tierra en el IGBP para entender por qué era complicado hacer interdisciplina en estos casos. Concluimos que en el caso de Daisyworld hacer interdisciplina era complicado porque había que integrar modelos muy diferentes: un modelo de dinámica de poblaciones y un modelo del clima. También concluimos que en el caso del IGBP, y en particular en el proyecto GCTE, hacer interdisciplina era complicado porque para estudiar las relaciones entre el cambio climático y los ecosistemas había que integrar modelos de disciplinas con tradiciones de investigación muy diferentes: la ecología y la climatología.

En el capítulo 2 analizamos algunas discusiones en filosofía de la ciencia sobre la interdisciplina para aclarar en qué consistieron las dificultades de la interdisciplina en estos casos. Argumentamos que los casos de Daisyworld y del IGBP pueden entenderse como casos de interdisciplina integrativa, no reduccionista, local y temporal, y concluimos que en estos casos hacer interdisciplina era complicado porque había que superar tres tipos de dificultades: 1) el problema de la apropiación, 2) el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes y 3) el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades (en el caso del IGBP).

En el capítulo 3 explicamos cómo se pudieron superar estas dificultades en estos casos. En primer lugar, argumentamos que en el caso de Daisyworld la construcción de una abstracción integrativa fue lo que permitió superar los problemas. Una abstracción integrativa es una abstracción que permite integrar modelos de diferentes especialidades,

facilitando la búsqueda de conexiones entre estos modelos para poder decir algo general sobre algunos fenómenos que no se pueden estudiar con los modelos de una sola especialidad. En segundo lugar argumentamos que en el caso del IGBP la construcción de una metodología intermedia fue lo que permitió superar los problemas. Una metodología intermedia es una metodología que permite dirimir las diferencias de valores y fines entre los y las integrantes de distintas especialidades para resolver un determinado problema. Finalmente, argumentamos que a partir de la forma en que se resolvieron las dificultades de la interdisciplina en estos casos podemos aprender algo general sobre cómo superar estas dificultades en cualquier caso de interdisciplina integrativa. Para poder resolver estos problemas, y para poder hacer interdisciplina integrativa, es necesario mantener una tensión análoga a la tensión esencial de la que hablaba Kuhn entre científicas con experticia integrativa y científicas con experticia contributiva.

En esta tesis nuestro objetivo principal fue analizar los estudios de caso de la construcción del modelo de Daisyworld y de la construcción de modelos de la Tierra en el IGBP para entender qué tipo de problemas dificultaron la interdisciplina en estos casos, qué es lo que permitió hacer interdisciplina a pesar de estas dificultades, y qué podemos aprender a partir de estos casos sobre cómo superar estas dificultades en otros casos de interdisciplina. Después de nuestro análisis podemos responder a estas preguntas. En primer lugar, en estos casos hacer interdisciplina era complicado porque había que superar tres tipos de dificultades: 1) el problema de la apropiación, 2) el problema de encontrar conexiones entre modelos muy diferentes y 3) el problema de aprovechar la inconmensurabilidad metodológica entre diferentes especialidades (sólo en el caso del IGBP). En segundo lugar, estas dificultades se resolvieron mediante la construcción de una abstracción integrativa, en el caso de Daisyworld, y mediante la implementación de una metodología intermedia, en el caso del IGBP. En tercer lugar, a partir de la forma en que se resolvieron estos problemas en estos casos podemos aprender que para resolver estos problemas en otros casos es necesario mantener una tensión entre científicas con experticia integrativa y científicas con experticia contributiva en la comunidad de científicos y científicas interesadas en hacer interdisciplina. Así, nuestro análisis apunta a que para estudiar a la Tierra de manera interdisciplinaria es necesario que haya científicas con experticia integrativa que se embarquen en la búsqueda de conexiones entre las herramientas de diferentes especialidades para resolver problemas relacionados con nuestro planeta.

Para terminar, deseo aclarar que en esta tesis seguimos el tema epistemológico-social de la experticia principalmente por dos razones. En primer lugar, porque los estudios de caso que analizamos sugerían este camino. En segundo lugar, porque uno de los propósitos a nivel personal de esta tesis es contribuir al reconocimiento de la experticia y de la importancia en la ciencia de los y las científicas que se embarcan en investigaciones interdisciplinarias. Como estudiante de una licenciatura interdisciplinaria en una facultad

donde se enseñan mayoritariamente licenciaturas disciplinarias, puedo decir que en ocasiones se tiende a pensar que los y las científicas que tratan de aprender un poco sobre distintas especialidades para poder resolver problemas que requieren de la interdisciplina, no tienen la capacidad para contribuir al estudio de estos problemas. Esto porque no son expertas en todas las especialidades relevantes para resolver este tipo de problemas, y no tienen la capacidad de entender perfectamente todos los detalles de dichas especialidades. En esta tesis espero haber mostrado que esto no tiene por qué ser así, y que de hecho es necesario que haya científicas que traten de aprender un poco sobre distintas especialidades para poder resolver problemas que requieren de la interdisciplina, ya que tienen una experticia que les permite integrar los elementos y herramientas de estas especialidades para resolver este tipo de problemas.

Bibliografía

- Adams, B., & Carr, J. 2003. Spatial pattern formation in a model of vegetation-climate feedback. *Nonlinearity*, **16**, 1339 – 1357.
- Adams, B., Carr, J., Lenton, Timothy, & White, A. 2003. One-dimensional Daisyworld: Spatial interactions and pattern formation. *J. Theor. Biol.*, **223**, 505 – 513.
- Andersen, Hanne. 2013. The Second Essential Tension: on Tradition and Innovation in Interdisciplinary Research. *Topoi*, **32**, 3–8.
- Andersen, Hanne. 2016. Collaboration, interdisciplinarity, and the epistemology of contemporary science. *Studies in History and Philosophy of Science*, **56**, 1–10.
- Andersen, Hanne, & Wagenknecht, Susann. 2013. Epistemic dependence in interdisciplinary groups. *Synthese*, **190**, 1881–1898.
- Bechtel, William. 1986. Introduction. The Nature of Scientific Integration. *En*: Bechtel, William (ed), *Integrating Scientific Disciplines*. The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, 3–55.
- Bechtel, William. 1993. Integrating Sciences by Creating New Disciplines: The Case of Cell Biology. *Biology and Philosophy*, **8**, 277–299.
- Bird, Alexander. 2013. Thomas Kuhn. *In*: Zalta, Edward N. (ed), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, fall 2013 edn. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Brigandt, Ingo. 2010. Beyond Reduction and Pluralism: Toward an Epistemology of Explanatory Integration in Biology. *Erkenntnis*, **73**(3), 295–311.
- Brigandt, Ingo. 2013. Integration in biology: Philosophical perspectives on the dynamics of interdisciplinarity. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, **44**, 461–465.
- Burian, Richard. 2001. The Dilemma of Case Studies Resolved: The Virtues of Using Case Studies in the History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, **9**(4), 383–404.

- Carter, R. N., & Prince, S. D. 1981. Epidemic models used to explain biogeographical distribution limits. *Nature*, **293**, 644 – 645.
- Cartwright, Nancy. 1989. *Nature's Capacities and Their Measurement*. Clarendon: Oxford.
- Chang, Hasok. 2013. Incommensurability: Revisiting the Chemical Revolution. *En: Kindi, Vasso, & Arabatzis, Theodore (eds), Kuhn's The Structure of Scientific Revolutions Revisited*. Routledge, 153–176.
- Claussen, Martin, Ganopolski, Andrey, Schellnhuber, John, & Cramer, Wolfgang. 2000. Earth System Models of Intermediate Complexity. *Global Change. IGBP News Letter*, **41**.
- Cohen, J., & Rich, A. 2000. Interspecific competition affects temperature stability in Daisyworld. *Tellus B*, **52**(3), 980–984.
- Collins, Harry, & Evans, Robert. 2002. The third wave of science studies: Studies of expertise and experience. *Social Studies of Science*, **32**, 235–296.
- Collins, Harry, & Evans, Robert. 2007. *Rethinking Expertise*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Collins, Harry, & Evans, Robert. 2015. Expertise revisited, Part I–Interactional expertise. *Studies in History and Philosophy of Science*, **xxx**, 1–11.
- Collins, Harry, Evans, Robert, & Gorman, Mike. 2007. Trading zones and interactional expertise. *Studies in History and Philosophy of Science*, **38**, 657–666.
- Collins, Harry, Evans, Robert, & Weinel, Martin. 2015. Expertise revisited, Part II: Contributory expertise. *Studies in History and Philosophy of Science*, **xxx**, 1–8.
- Conway, Erik. 2010. Earth Science and Planetary Science: A Symbiotic Relationship? *En: Dick, Steven (ed), NASA's First 50 Years. Historical Perspectives*. Library of Congress, 563–585.
- Cornell, S., Prentice, I., House, J., & Downy, C. 2012. *Understanding the Earth system : Global change science for application*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- D'Agostino, Fred. 2008. Naturalizing the essential tension. *Synthese*, **162**, 275–308.
- D'Agostino, Fred. 2009. From the organization to the division of cognitive labor. *Politics, philosophy & economics*, **8**(1), 101–129.
- Darden, Lindley, & Maull, Nancy. 1977. Interfield Theories. *Philosophy of Science*, **44**, 43–64.

- Dawkins, Richard. 1982. *The extended phenotype: The long reach of the gene*. Oxford University Press.
- de Rijcke, Sarah. 2008. Drawing into Abstraction: Practices of Observation and Visualization in the Work of Santiago Ramon y Cajal. *Interdisciplinary Science Reviews*, **33**(4), 287–311.
- Doolittle, Ford. 1981. Is Nature Really Motherly? *The Coevolution Quarterly Spring*, **29**, 58–62.
- Dutreuil, Sébastien. 2016. *Gaïa : hypothèse, programme de recherche pour le système terre, ou philosophie de la nature?* Ph.D. thesis, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Tesis de doctorado.
- Fumagalli, Roberto. 2017. Who is afraid of scientific imperialism? *Synthese*, **In press**, 1–22.
- Galison, Peter. 1997. *Image and logic: A material culture of microphysics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Garduño Ruíz, Daniel Iván. 2017. La enseñanza de las margaritas: manejando la complejidad en un mundo egoísta. *Elementos*, **106**, 37–44.
- Gibson, James. 1979. The Theory of Affordances. *En: The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin Harcourt, 127–137
- Godfrey-Smith, Peter. 2009. Abstractions, Idealizations, and Evolutionary Biology. *En: Barberousse, A., Morange, M., & Pradeu, T. (eds), Mapping the Future of Biology. Evolving Concepts and Theories*. Springer, 47–56.
- Goldstein, Edward. 2010. NASA's Earth Science Program: The Space Agency's Mission to Our Home Planet. *En: Dick, Steven (ed), NASA's First 50 Years. Historical Perspectives*. Library of Congress, 503–541.
- Grantham, Todd. 2004. Conceptualizing the (Dis)unity of Science. *Philosophy of Science*, **71**, 133–155.
- Gribbin, John, & Gribbin, Mary. 2009. *He Knew He Was Right. The Irrepressible Life of James Lovelock*. Penguin Books.
- Griesemer, James, & Star, Susan. 1989. Institutional Ecology, “Translations” and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907–39. *Social Studies of Science*, **19**, 387–420.

- Grüne-Yanoff, Till. 2011. Models as products of interdisciplinary exchange: Evidence from evolutionary game theory. *Studies in History and Philosophy of Science*, **42**, 386–397.
- Grüne-Yanoff, Till. 2016. Interdisciplinary success without integration. *Euro Jnl Phil Sci*, **6**, 343–360.
- Grüne-Yanoff, Till, & Mäki, Uskali. 2014. Introduction: Interdisciplinary model exchanges. *Studies in History and Philosophy of Science*, **48**, 52–59.
- Hamilton, C. 2016. The anthropocene as rupture. *The anthropocene review*, **3**(2), 93–106.
- Harding, S. 1999. Food web complexity enhances community stability and climate regulation in a geophysiological model. *Tellus*, **51**(4), 815–829.
- Harding, S., & Lovelock, J. 1996. Exploiter-mediated coexistence and frequency-dependent selection in a numerical model of biodiversity. *Journal of theoretical biology*, **182**(2), 109–116.
- Hartmann, Dennis. 1994. *Global Physical Climatology*. Primera edn. Academic Press.
- Holbrook, Britt. 2013. What is interdisciplinary communication? Reflections on the very idea of disciplinary integration. *Synthese*, 1865–1879.
- Hoyningen-Huene, Paul, & Sankey, Howard (eds). 2001. *Incommensurability and Related Matters*. The Netherlands: Springer.
- Hung, Edwin. 2006. *Beyond Kuhn. Scientific Explanation, Theory Structure, Incommensurability and Physical Necessity*. New York,: Routledge.
- IGBP. 1986. *The International Geosphere-Biosphere Programme : A Study of Global Change. Report No. 1. Prepared for the 21 st General Assembly*.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jacobson, M., Charlson, R., Rodhe, H., & Orians, G. 2000. *Earth System Science : from biogeochemical cycles to global changes*. Primera edn. Amsterdam: Elsevier.
- Jones, Martin. 2005. Idealization and Abstraction: A Framework. *En: Jones, Martin, & Cartwright, Nancy (eds), Idealization XII: Correcting the Model. Idealization and Abstraction in the Sciences.*, vol. 86. Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities, 172–217

- Keeling, Ralph. 1991. Mechanisms for stabilization and destabilization of a simple biosphere : Catastrophe on Daisyworld. *En: Schneider, Stephen, & Boston, P. J. (eds), Scientists on Gaia.* The MIT Press, 118–120.
- Kirchner, James. 1989. The Gaia hypothesis : can it be tested. *Reviews of Geophysics*, **27**, 223– 235.
- Kirchner, James. 2002. The Gaia hypothesis: Fact, Theory, and Wishful Thinking. *Climatic Change*, **52**, 391–408.
- Kitcher, Phillip. 1990. The Division of Cognitive Labor. *The Journal of Philosophy*, **87**(1), 5–22.
- Klein, Thompson. 2010. A taxonomy of interdisciplinarity. *En: Frodeman, Robert, Klein, Thompson, Mitcham, Carl, & Holbrook, Britt (eds), The Oxford Handbook of Interdisciplinarity.* Oxford University Press, 15–31.
- Knox, Eleanor. 2016. Abstraction and its Limits: Finding Space For Novel Explanation. *Noû[s]*, **50**(1), 41–60.
- Knuuttila, Tarja, & Loettgers, Andrea. 2014. Varieties of noise: Analogical reasoning in synthetic biology. *Studies in History and Philosophy of Science*, **48**, 76–88.
- Knuuttila, Tarja, & Loettgers, Andrea. 2016. Model templates within and between disciplines: from magnets to gases – and socio-economic systems. *Euro Jnl Phil Sci*, **6**, 77–400.
- Kuhn, Thomas. 1977a. The essential tension: tradition and innovation in scientific research. *En: The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change.* University of Chicago Press, 225–239.
- Kuhn, Thomas. 1977b. Objectivity, Value Judgement and Theory Choice. *En: The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change.* The University of Chicago Press, 320–339.
- Kump, L. R., Kasting, J., & Crane, R. 1999. *The Earth system.* Primera edn. Upper Saddle River, NJ.: Prentice Hall.
- Kuorikoski, Jaakko, & Marchionni, Caterina. 2016. Triangulation across the lab, the scanner and the field: the case of social preferences. *Euro Jnl Phil Sci*, **6**, 361–376.
- Kwa, Chunglin. 2005. Local Ecologies and Global Science: Discourses and Strategies of the International Geosphere-Biosphere Programme. *Social Studies of Scienc*, **35**(6), 923–950.

- Kwa, Chunglin. 2006. The programming of interdisciplinary research through informal science-policy interactions. *Science and Public Policy*, **36**(6), 457–467.
- Kwa, Chunglin, & Rector, René. 2010. A data bias in interdisciplinary cooperation in the sciences : ecology in climate change research. *En: Parker, J. N., Vermeulen, N., & Penders, B. (eds), Collaboration in the new life sciences*. Routledge, 161– 176.
- Lawton, John. 2005. Earth System Science. *Science*, **292**, 1965.
- Lenton, Timothy. 2009. Earth as a Self-Regulating System. *En: Cilek, Vaclav (ed), Earth System: History and Natural Variability. Encyclopedia of Life Support Systems*. Oxford, United Kingdom: EOLSS Publishers, 280–302.
- Lenton, Timothy. 2016. *Earth System Science. A Very Short Introduction*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Leonelli, Sabina. 2013. Integrating data to acquire new knowledge: Three modes of integration in plant science. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, **44**, 503–514.
- Levins, Richard. 1996. The Strategy of Model Building in Population Biology. *American Scientist*, **54**(4), 421–432.
- Liss, P. 2001. The Earth system : a physiological perspective. *En: Ehlers, E., & Krafft, T. (eds), Understanding the Earth system : compartments, processes and interactions*. Berlin: Springer, 57–70.
- Lovelock, James. 1972. Gaia as Seen Through the Atmosphere. *Atmospheric Environment*, **6**, 579–580.
- Lovelock, James. 1992. A numerical model for biodiversity. *Philosophical Transactions : Biological Sciences*, **338**(1286), 383–391.
- Lovelock, James. 1995. *The Ages of Gaia. A Biography of Our Living Planet*. Segunda edn. New York. London.: w. w. Norton & Company.
- Lovelock, James. 2000. *Homage to Gaia. The Life of an Independent Scientist*. Oxford university press. edn.
- Lovelock, James. 2009. *The Vanishing Face of Gaia. A Final Warning*. Basic Books.
- Lovelock, James. 2016. *Gaia. A New Look at Life on Earth*. Second edition as oxford landmark science edn. Oxford University Press.
- Lovelock, James, & Epton, Sidney. 1975. The quest for Gaia. *The New Scientist*, **65**, 304–306.

- Lovelock, James, & Margulis, Lynn. 1974a. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis. *Tellus*, **26**.
- Lovelock, James, & Margulis, Lynn. 1974b. Homeostatic Tendencies of the Earth's Atmosphere. *Origins of Life*, **5**.
- Lovelock, James, & Watson, Andrew. 1982. The regulation of carbon dioxide and climate: Gaia or geochemistry. *Planet. Space Sci.*, **30**(8), 795–802.
- Lovelock, James, & Watson, Andrew. 1983. Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. *Tellus*, **35B**, 284–289.
- MacLeod, Miles. 2016. What makes interdisciplinarity difficult? Some consequences of domain specificity in interdisciplinary practice. *Synthese*, 1–24.
- MacLeod, Miles, & Nagatsu, Michiru. 2016. Model Coupling in Resource Economics: Conditions for Effective Interdisciplinary Collaboration. *Philosophy of Science*, **83**, 412–433.
- MacLeod, Miles, & Nagatsu, Michiru. 2018. What does interdisciplinarity look like in practice: Mapping interdisciplinarity and its limits in the environmental sciences. *Studies in History and Philosophy of Science*, 1–11.
- MacLeod, Miles, & Nersessian, Nancy J. 2016. Interdisciplinary problem-solving: emerging modes in integrative systems biology. *Euro Jnl Phil Sci*, **6**(3), 401–418.
- Mäki, Uskali. 2013. Scientific Imperialism: Difficulties in Definition, Identification, and Assessment. *International Studies in the Philosophy of Science*, **27**(3), 325–339.
- Mäki, Uskali. 2016. Philosophy of interdisciplinarity. What? Why? How? *Euro Jnl Phil Sci*, **6**, 327–342.
- Malone, Thomas. 1999. Global Change. *En: Samson, P., & Pitt, D. (eds), The Biosphere and Noosphere Reader. Global environment, society and change.* London and New York: Routledge, 131–134.
- Margulis, Lynn. 2004. Gaia by Any Other Name. *En: Schneider, Stephen, Miller, James, Crist, Eileen, & Boston, Penelope (eds), Scientists Debate Gaia.* MIT Press, 7–12.
- Margulis, Lynn, & Lovelock, James. 1974. Biological Modulation of the Earth's Atmosphere. *Icarus*, **21**, 471–489.
- Martínez, Sergio. 2013. The Scientific Undercurrents Of Philosophical Naturalism. *En: Galparsoro, J., & Cordero, A. (eds), Reflections on Naturalism.* Sense Publishers, 105–127.

- Martínez, Sergio, & Huang, Xiang. 2011. Epistemic Groundings of Abstraction and Their Cognitive Dimension. *Philosophy of Science*, **78**(3), 490–511.
- McGuffie, Kendal, & Henderson-Sellers, Ann. 2014. *The Climate Modelling Primer*,. Wiley-Blackwell.
- Merchant, Paul. 2010. *Lovelock, James. An oral history of British Science*. British Library.
- Mitchell, Sandra. 2003. *Biological Complexity and Integrative Pluralism*. Cambridge University Press.
- Mitchell, Sandra. 2004. Why integrative pluralism? *E:CO*, **6**, 81–91.
- Morgan, Mary, & Morrison, Margaret (eds). 1999. *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science (Ideas in Context)*. Primera edición. Cambridge University Press.
- Nagel, E. 1961. *The structure of science. Problems in the logic of scientific explanation*. London: Routledge and Kegan Paul.
- NASA Earth System Science Committee. 1986. *Earth system science, a program for global change : an overview*. Tech. rept. National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C.
- NASA Earth System Science Committee. 1988. *Earth system science, a program for global change : a closer view*. Tech. rept. National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C.
- National Research Council. 1983. *Toward an international Geosphere-Biosphere Program : a study of global change*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Nersessian, Nancy. 2002. Abstraction via Generic Modeling in Concept Formation in Science. *Mind and Society*, **5**(3), 129–54.
- O'Rourke, Michael, Crowley, Stephen, & Gonnerman, Chad. 2016. On the nature of cross-disciplinary integration: A philosophical framework. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, **56**, 62–70.
- Pérez Ransanz, Ana Rosa. 2011. Recuperando la inconmensurabilidad axiológica. In: Lorenzano, Pablo, & Nudler, Oscar (eds), *El camino desde Kuhn. La inconmensurabilidad hoy*. Madrid, España: Biblioteca Nueva.
- Politi, Vincenzo. 2018. Scientific revolutions, specialization and the discovery of the structure of DNA: toward a new picture of the development of the sciences. *Synthese*, 1–27.

- Radder, Hans. 1996. *In and about the World. Philosophical Studies of Science and Technology*. New York: SUNY Press.
- Rice, Collin, & Smart, Joshua. 2011. Interdisciplinary modeling: a case study of evolutionary economics. *Biol Philos*, **26**, 655–675.
- Robertson, D., & Robinson, J. 1998. Darwinian daisyworld. *Journal of theoretical biology*, **195**, 129–134.
- Rollinson, Hugh. 2007. *Early Earth Systems: A Geochemical Approach*. Blackwell Publishing.
- Ruse, Michael. 2013. *The Gaia hypothesis. Science in a pagan planet*. The University of Chicago Press.
- Sankey, Howard. 1993. Kuhn's Changing Concept of Incommensurability. *Brit. J. Phil. Sci.*, **44**, 759–774.
- Schellnhuber, H. 1999. Earth system analysis and the second Copernican revolution. *Nature*, **402**, C19–C23.
- Schellnhuber, J. 2001. Earth system analysis and management. *En*: Ehlers, E., & Krafft, T. (eds), *Understanding the Earth System : Compartments, Processes and Interactions*. Berlin: Springer, 17–56.
- Seitzinger, Sybil, Gaffney, Owen, Brasseur, Guy, Broadgate, Wendy, Ciais, Phillipe, Claussen, Martin, Erismann, Willen, Kiefer, Thorsten, Lancelot, Christiane, Monks, Paul, Smyth, Karen, Syvitski, James, & Uematsu, Mitsuo. 2015. International Geosphere–Biosphere Programme and Earth system science: Three decades of co-evolution. *Anthropocene*, 3–16.
- Skinner, B., & B., Murck. 2004. *Global change and the earth system : a planet under pressure*. Tercera edición edn. Wiley.
- Steffen, W., Sanderson, A., P., Tyson, & J., Jäger. 2004. *The blue planet : an introduction to Earth system science*. Springer.
- Thorén, Henrik, & Persson, Johannes. 2013. The Philosophy of Interdisciplinarity: Sustainability Science and Problem-Feeding. *J Gen Philos Sci*, **44**, 337–355.
- Tuana, Nancy. 2013. Embedding philosophers in the practices of science: bringing humanities to the sciences. *Synthese*, **190**, 1955–1973.
- Uhrqvist, Ola. 2015. One model to fit all? The pursuit of integrated earth system models in GAIM and AIMES. *Historical Social Research*, **40**(2), 271–297.

- von Bloh, W, Block, A., & Schellnhuber, J. 1997. Self-stabilization of the biosphere under global change: A tutorial geo- physiological approach. *Tellus*, **49**, 249 – 262.
- Walker, James, Kasting, James, & Hays, P. B. 1981. A Negative Feedback Stabilization Mechanism for the Long-term Of Earth's Surface Temperature. *Journal of Geophysical Research*, **86**(C10), 9776–9782.
- Wilkinson, David. 2006. *Fundamental Processes in Ecology. An Earth System Approach*. Oxford University Press.
- Wray, Brad. 2011. Scientific Specialization. *En: Kuhn's Evolutionary Social Epistemology*. Cambridge University Press, 117–136.
- Xubin, Zeng, Pielke, R. A., & Eykholt, R. 1990. Chaos is Daisyworld. *Tellus*, **42B**, 309–318.