



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Posgrado en Filosofía de la Ciencia

Estudios Filosóficos y Sociales sobre Ciencia y Tecnología

Del Ciclotrón al Ecotrón

Representar e Intervenir a los Ecosistemas en la Era Nuclear

Trabajo de Investigación

que para optar por el grado de

Maestra en Filosofía de la Ciencia

Presenta:

Alejandrina Viesca Ramírez

Asesora:

Edna María Suárez Díaz

Facultad de Ciencias, UNAM

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, noviembre de 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Del Ciclotrón al Ecotrón

Representar e Intervenir a los Ecosistemas en la Era Nuclear

Índice

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | 4 |
| AGRADECIMIENTOS | 6 |
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| A. RADIOISÓTOPOS: UN NUEVO LENTE PARA COMPRENDER LA VIDA | 17 |
| A1. La radioactividad en lo vivo: de 1900 a los años treinta | 17 |
| A2. Del organicismo a la fisicalización de la ecología (1866-1943) | 21 |
| A3. Radioisótopos artificiales de 1930 a 1945 | 27 |
| A4. La posguerra: nuevo orden geopolítico y nuclearización | 30 |
| B. RADIOECOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE ECOSISTEMAS, O CÓMO REPRESENTAR PARA INTERVENIR E INTERVENIR PARA REPRESENTAR | 37 |
| B1. De la <i>health physics</i> a la radioecología | 39 |
| B2. Radioecología. De lo nuclear a lo ambiental (1943 - <i>circa</i> 1970) | 46 |

| | |
|---|------------|
| B3. Ecología de ecosistemas: representar, intervenir, apropiar | 52 |
| C. AMBIENTES CONTROLADOS | 65 |
| C1. Fitotrones | 67 |
| C2. Ecosistemas fabricados: el encuentro entre ambientes controlados y ecología de ecosistemas | 80 |
| C 2.1 El Biotrón: un fitotrón mejorado | 81 |
| C 2.2 Viajes espaciales: el Algratrón y la Astronave Tierra | 83 |
| C 2.3 ¿Una copia de la Tierra? La <i>Biosphere 2</i> | 91 |
| C 2.4 El Ecotrón: ¿ecosistemas controlados? | 95 |
| D. LA MODERNIZACIÓN AGRÍCOLA DESDE MÉXICO: CAMBIOS EPISTÉMICOS EN LOS ALBORES DE LA REVOLUCIÓN VERDE | 101 |
| D1. Primeras décadas: control genético + cambio productivo-social | 104 |
| D2. Implicaciones: control genético + control ambiental + control social | 110 |
| E. EL BUCLE: REPRESENTAR E INTERVENIR A DIVERSAS ESCALAS (CONCLUSIONES) | 123 |
| i. Datos colaterales | 125 |
| ii. Cambios profundos | 126 |
| iii. De ecosistema a ambiente: Nuevas naturalezas | 131 |
| ANEXO. MODERNIZACIÓN AGRÍCOLA DESDE MÉXICO | 134 |
| REFERENCIAS | 162 |

Lista de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Esquema generalizado de las temáticas abordadas en este trabajo | 14 |
| Figura 2. Trabajadoras de una fábrica de la United States Radium Corporation pintando relojes con pintura de radio | 18 |
| Figura 3. Esquema generalizado de la cadena alimenticia en un ecosistema lacustre..... | 26 |
| Figura 4. M. S. Livingston y Ernest O. Lawrence junto al ciclotrón de 37 pulgadas, construido en 1934..... | 28 |
| Figura 5. La prueba nuclear Test Baker en el Atolón de Bikini, Islas Marshall, el 25 de julio de 1946..... | 32 |
| Figura 6. El Earhart Plant Research Laboratory en el California Institute of Technology en 1957 | 72 |
| Figura 7. El biólogo Paul Kramer en un fitotrón, presumiblemente el de la Duke University | 79 |
| Figura 8. La Tierra vista desde la Luna (1968)..... | 88 |
| Figura 9. La Biosphere 2 | 95 |
| Figura 10. Vista del IRRI, 1962 | 110 |
| Figura 11. Evangelina Villegas Moreno, Norman Borlaug (ambos al centro) y otros científicos en un invernadero de la OEE en Chapingo..... | 112 |
| Figura 12. Un campo gamma, donde se generarían nuevas variedades por medio de mutaciones radioinducidas | 118 |
| Figura 13. Campo experimental de la OEE en Santa Mónica, Texcoco, México, 1957..... | 152 |

Figura 14. Norman Borlaug en un campo experimental demostrando la variedad de trigo Sonora-64, una de las variedades semi-enanas clave en la RV, a un grupo de entrenandos internacionales, en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO) cerca de Ciudad Obregón, Sonora, México (1962) 153

Figuras 15a y 15b. Envío en 1966 de semillas de trigo de México hacia India..... 155

Agradecimientos

A mi Eli. Por tu luz, siempre, toda presente y cada día más brillante. Por tu amor, tu compañía, tu apoyo, tu cuidado, tu impulso, tu paciencia, tu apapacho, tu guía, tu consejo, tus deliciosas comidas. Por este y todos nuestros proyectos.

A mamá y papá. Porque esta tesis fue hecha pensando mucho en ustedes, mis agrónomxs favoritxs. Porque su amor y enseñanzas van más allá de lo que nos imaginamos. Por sus cariños, impulsos, apoyos, porras, consejos, charlas, y su gran gran amor, con los que navego.

A Carli. Por tu amor que es una gran compañía e impulso. Por tu apoyo y compañía incondicionales.

A Suegris. Por su apoyo incondicional y por acogernos, por su gran cariño. *A Horte.* Por tu compañía, tus porras, tus memes.

A tías y tíos. Por su cariño constante y, además: *A Rube* por su apoyo incondicional y su presencia constante. *A Chati* por su tierno cariño y compañía. *A Sari* por su gran amistad espontánea. *A Roge y Chelín* por siempre tenerme presente. *A Sanjuana* por compartir nuestras noches de desvelo.

A Edna. Por tu gran guía, tus magníficas clases, tu gran ejemplo. Por tu cariño, comprensión, paciencia y apoyo. Por ayudarme a ser mejor.

A mis profesoras y profesores de maestría, especialmente a quienes me formaron y además me inspiraron: Edna Suárez, Gisela Mateos, Violeta Aréchiga, Juan Felipe Guevara, Cristian Gutiérrez, Mayte Muñoz, César Guzmán, Adriana Munguía, Ricardo Vázquez.

To Hania Rani, and Dobrawa Czocher, for translating my thoughts into their music, and their music into my thoughts.

A mi comité tutorial: Gisela Mateos, Siobhan Guerrero, Javier Andrés Juárez. Por sus observaciones, sugerencias y reflexiones a este trabajo. Un agradecimiento especial a Fernanda Figueroa por su cuidadosísima revisión, sugerencias, reflexiones y comentarios.

Al Posgrado en Filosofía de la Ciencia. Por ser un buen lugar para ser mejor cada día, por esos esfuerzos (casi) invisibles pero que están muy ahí. *A Marisela,* que mueve montañas por el posgrado y sus estudiantes. *A Héctor,* por su siempre dispuesta ayuda y sonrisa.

A la UNAM. Entrañable lugar (espacio, personas, contexto) que hicimos nuestro hogar durante dos años. Por acogernos con tanta magnificencia en un país con tanta necesidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología y Humanidades (CONACyT). Por la magnífica beca que me fue otorgada para mis estudios de maestría durante el periodo de agosto de 2018 a julio de 2020.

A México. Por esta gran oportunidad.

INTRODUCCIÓN

Esta investigación se centra en estudiar la construcción de los ecosistemas en la Era Nuclear desde dos flancos: la representación y la intervención; y desde dos perspectivas en ensamble: la histórica y la filosófica. Delimito la Era Nuclear como el periodo entre el comienzo del Proyecto Manhattan en 1942 hasta que se hizo efectivo el Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares en 1970, pues durante este periodo el ímpetu de lo nuclear estuvo íntimamente relacionado a las nociones de interés y seguridad nacional, y a la Guerra Fría. En este contexto, y como resultado de preocupaciones y ambiciones emanadas del mismo, se inyectó a las ciencias nucleares y a numerosas disciplinas biológicas una vena geopolítica que las hizo proliferar de manera particular. En la intersección de ambas ramas científicas ubico a la ecología de ecosistemas, cuyo objeto de estudio son los ecosistemas, comprendidos como unidades básicas estructurales y funcionales en la naturaleza, compuestas de una parte abiótica y una parte biótica que de forma auto-regulada interactúan entre sí e intercambian energía y materia. Aquí argumento que la ecología de ecosistemas se construyó y robusteció en este contexto, con lo que se afectó la representación e intervención de la vida y de la naturaleza a diversas escalas, desde el organismo hasta los ecosistemas.

El título de este trabajo necesariamente remite a la obra de Ian Hacking *Representing and Intervening*, texto sumamente influyente en la filosofía de la ciencia desde su publicación en 1983, en el cual el autor discute el problema del realismo en la ciencia, con base en la capacidad que tienen las personas científicas para representar el mundo e intervenirlo. Hacking argumenta que la ciencia y el conocimiento científico se hacen por medio de representar e intervenir. De acuerdo con él, la representación es la conexión, a través de la persona científica, entre la experiencia y el mundo, manifiesta en objetos, discursos, diagramas, teorías. Intervenir, por otra parte, es experimentar, hacer; es poner el mundo a prueba, cambiarlo, alterarlo. Para Hacking, la representación no sólo es pensar, sino también

manifestar; y la intervención no sólo es actuar, sino también *hacer* o crear; por lo que ambos términos son complementarios e igualmente relevantes en el trabajo científico, que puede darse por comenzado tanto con un experimento como con un pensamiento u observación.¹

Más que continuar la discusión que plantea Hacking sobre el realismo, aquí sigo a este autor buscando elucidar los ciclos de representación e intervención, donde representamos para intervenir, intervenimos para representar y hacemos ambas a la luz de la otra, una y otra vez. A estos ciclos es a lo que llamo “el bucle”, que, más que de un ciclo cerrado bidimensional (... representar-intervenir-representar-intervenir-representar ...), se trata de una hélice, una geometría helicoidal donde la trayectoria de las prácticas científicas es infinita y recurrente pero nunca es exactamente la misma.

Aquí doy cuenta de la representación y la intervención como prácticas fundamentales en la ecología que construyen a los *ecosistemas* como el concepto² y la entidad primordial de la ecología durante la Era Nuclear. Asimismo, profundizo sobre dicha construcción, pues ésta se da en una relación de co-creación entre la ciencia, su objeto, y su contexto, que configura la realidad misma, a la que le son impresos conocimientos, valores, supuestos, y modos-de-hacer y de habitar el mundo, cuya trascendencia alcanza horizontes inesperados, como ilustro con diversos ejemplos.

Para dar cuenta de esta construcción particular de los ecosistemas hago un recorrido histórico sobre su teórica y su práctica, donde desentraño algunas de las construcciones científicas que se hacen de las unidades de lo vivo a diversas escalas: organismos, poblaciones, ecosistemas. En este recorrido rastreo representaciones e intervenciones sobre cada una de dichas unidades, partiendo de la realidad experimental que les interviene y que, al interpretarlas y representarlas científicamente, se las reduce y se las modifica. Asimismo, en este recorrido procuro evidenciar la multiplicidad de agentes que participaron en la construcción de los ecosistemas, agentes humanos y no humanos. Entre las interacciones

¹ Hacking, Representing and Intervening.

² Sobre la historia del concepto, ver Golley, *History of the Ecosystem*.

humanas científicas, destacan las relaciones de intercambio, que constituyeron suelo fértil para el surgimiento de la ecología y cuya zona de intercambio con frecuencia fueron laboratorios/ecosistemas de diversos tipos.³

Mi reconstrucción histórica comienza con el uso de la radioactividad (capítulo A), una nueva realidad experimental que permitió generar interpretaciones distintas de lo vivo a comienzos del siglo XX. Aquí esbozo generalidades sobre la novedad de la radioactividad en su contexto y la novedad que imprimió a los estudios biológicos y ecológicos, pues la radioactividad, y en particular ciertos tipos de radioisótopos, permitió experimentar con los individuos vivos de maneras sin precedentes. Ello evidenció procesos metabólicos y celulares, con lo que la radioactividad se convirtió en una herramienta científica, particularmente por medio de su potencial para inducir mutaciones y de los radioisótopos como marcadores (rastreadores de procesos). Esta nueva herramienta reconfiguró las ciencias de la vida, entre ellas la ecología. Después de la detonación de las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki en 1945, la radioactividad además se posicionó en el escenario internacional como una herramienta útil tanto para la ciencia como para la política y la guerra, popularizándose rápidamente todas sus aplicaciones.

El rastreo de las aplicaciones de la radioactividad a la ecología, y de las tensiones entre la física y las ciencias de la vida, y entre la protección de la salud y del ambiente, y el desarrollo nuclear, los abordo en el capítulo B. La proliferación durante la posguerra e inicios de la Guerra Fría de las aplicaciones de la energía nuclear se debió de manera importante a la proliferación de armas nucleares y de las tecnologías diseñadas para crearlas y detectarlas. En biología, una veta importante de investigación radicó en el estudio de las relaciones organismo-ambiente, cuando el ambiente se encontrase contaminado radioactivamente (ya fuera por un ataque nuclear o por la producción de radioisótopos) y ello tuviera el potencial de afectar a los seres vivos. En este contexto se desarrolló el campo de *health physics*, que

³ Al hablar de intercambio, me refiero al *trading* de Galison, donde a pesar de la diversidad de intereses, contextos, conocimientos y perspectivas, las personas científicas consiguen colaborar. Galison, *Image and Logic*.

estudiaría las relaciones entre organismos, ambiente y radiación, comprendiendo ampliamente los efectos de la radioactividad sobre los seres vivos.

Para entonces, algunos ecólogos ya habían estudiado y desarrollado la noción de ecosistema, pero ésta nutriría especialmente a la *health physics* –y se nutriría de ella– al rastrear radioisótopos en el ambiente y revelar el dinamismo, flujos y equilibrio de los ecosistemas, dando origen a la Radioecología. De esta manera, de observar relaciones y realizar descripciones, la ecología pasó a buscar causalidades y leyes naturales, lo cual implicó formas totalmente nuevas de representar las relaciones entre los seres vivos y con su ambiente. El ecosistema adoptó entonces un rol central en la explicación ecológica y se sumó a nuevas prácticas que se incorporaron a la ecología (perspectiva cibernética, uso de matemáticas aplicadas, modelos y simulaciones) para dar lugar a la ecología de ecosistemas.

Estas formas de representaciones condujeron a nuevas formas de intervención, donde el control sobre el sistema era imperativo y directivo; y éstas a su vez generaron nuevas concepciones sobre la vida y el mundo que influyeron sobre la manera de relacionarse del ser humano con los organismos y ambientes, y sobre la manera de habitar el mundo. En el capítulo C estudio a los ambientes controlados como un caso que permite estudiar estas dinámicas. De la construcción de la vida como algo reducible a factores manipulables, se generaron representaciones que permitían modelarla y, de éstas, intervenciones sobre los sistemas vivos y de soporte vital dirigidas a *obtener* organismos y ambientes acordes a objetivos e intereses particulares; algunos para aumentar la productividad agrícola, otros para explorar el espacio exterior, algunos más para ampliar el conocimiento biológico y ecológico. Las representaciones y las formas de intervención se modificaron de manera entrelazada; los ambientes controlados, por ejemplo, se fueron robusteciendo durante el diálogo con la ecología, la agronomía y las preocupaciones ambientales, y pasaron de ser ambientes controlados creados para determinar el crecimiento de organismos y poblaciones, a *construir* ecosistemas enteros.

De esta manera, los ambientes controlados son un entrelazamiento entre la representación y la intervención. Un claro ejemplo es el fitotrón: complejos invernaderos de alta tecnología cuya finalidad es profundizar en el conocimiento biológico al tiempo que posibilitar la manipulación estricta de seres vivos y sistemas naturales. La consecución de ambos fines implica reducir dichas entidades a factores, elementos y variables susceptibles de ser intervenidos eficazmente por medio de sistemas tecnológicos y científicos.⁴ Debido al control necesario para tales intervenciones, los fitotrones son emblemas de la modernización y el “desarrollo”, conceptos utilizados con fines políticos y geopolíticos durante la Guerra Fría.

Precisamente en la intersección entre la profundización cada vez más detallada de la biología gracias a los radioisótopos, la creciente ambición por el control del organismo, el discurso del desarrollo y lo moderno,⁵ la Guerra Fría, y el creciente terror a catástrofes malthusianas, surgió el Programa Agrícola Mexicano (PAM): una estrategia de origen estadounidense consistente en el aumento de la productividad agrícola por todos los medios posibles y que derivó en la Revolución Verde (RV), estrategia reconocida por combatir al hambre en los países “subdesarrollados”. El caso del PAM y la RV son ilustrativos de mi argumento porque fueron el contexto de nuevas formas de hacer una ciencia que buscaba ostentar el control racional sobre el organismo, control que cambiaría la vida biológica y la vida social a diversas escalas, desde el organismo hasta el ecosistema, y desde el núcleo productivo hasta sociedades enteras. En este sentido, hablo sobre cambios profundos en la construcción de la vida y de la naturaleza, y, por ende, de los ecosistemas como unidades de lo vivo: espacios y entidades donde la vida tiene lugar, pero donde se reduce, operacionaliza e instrumentaliza a la vida misma y a sus condiciones de posibilidad. Ofrezco una aproximación a estas cuestiones en el capítulo D, y en el Anexo profundizo sobre los detalles históricos del PAM, ilustrando cómo se entretejen el cambio científico y el social.

⁴ Lo mismo aplica al ecotrón en el campo del conocimiento ecológico.

⁵ Sobre la importancia de “lo moderno” y de “el desarrollo” en la época, ver Munns, *Engineering the Environment*, 22; y Mateos, y Suárez-Díaz, “We are not a rich country,” 243-58.

Así, este texto se nutre de manera importante de la literatura sobre el papel de la radioactividad y de diversas disciplinas y prácticas en la segunda mitad del siglo XX, que confluyen en los ecosistemas, confluencia de la que resultan muchas otras ramas. A sabiendas de que cada rama se entrelaza con muchas más, formando una red o un rizoma, y que cada cual tiene su propio cauce, he decidido representar el cauce de este texto como un río, que se nutre de muchos tributarios y termina en un delta. En esta representación, aguas arriba, donde están las montañas y el nacimiento de los ríos, es el inicio del periodo que me interesa reconstruir; aguas abajo, donde el río termina en delta y desemboca en el mar, se ubica la temporalidad más reciente y el presente. En el capítulo E, a manera de conclusiones, abordo diversos de sus efluentes y procuro atar los cabos entre las diversas escalas de intervención-representación, explicitar los bucles y discutirlos. Asimismo, concluyo con una descripción sucinta de la construcción de los ecosistemas en la Era Nuclear.

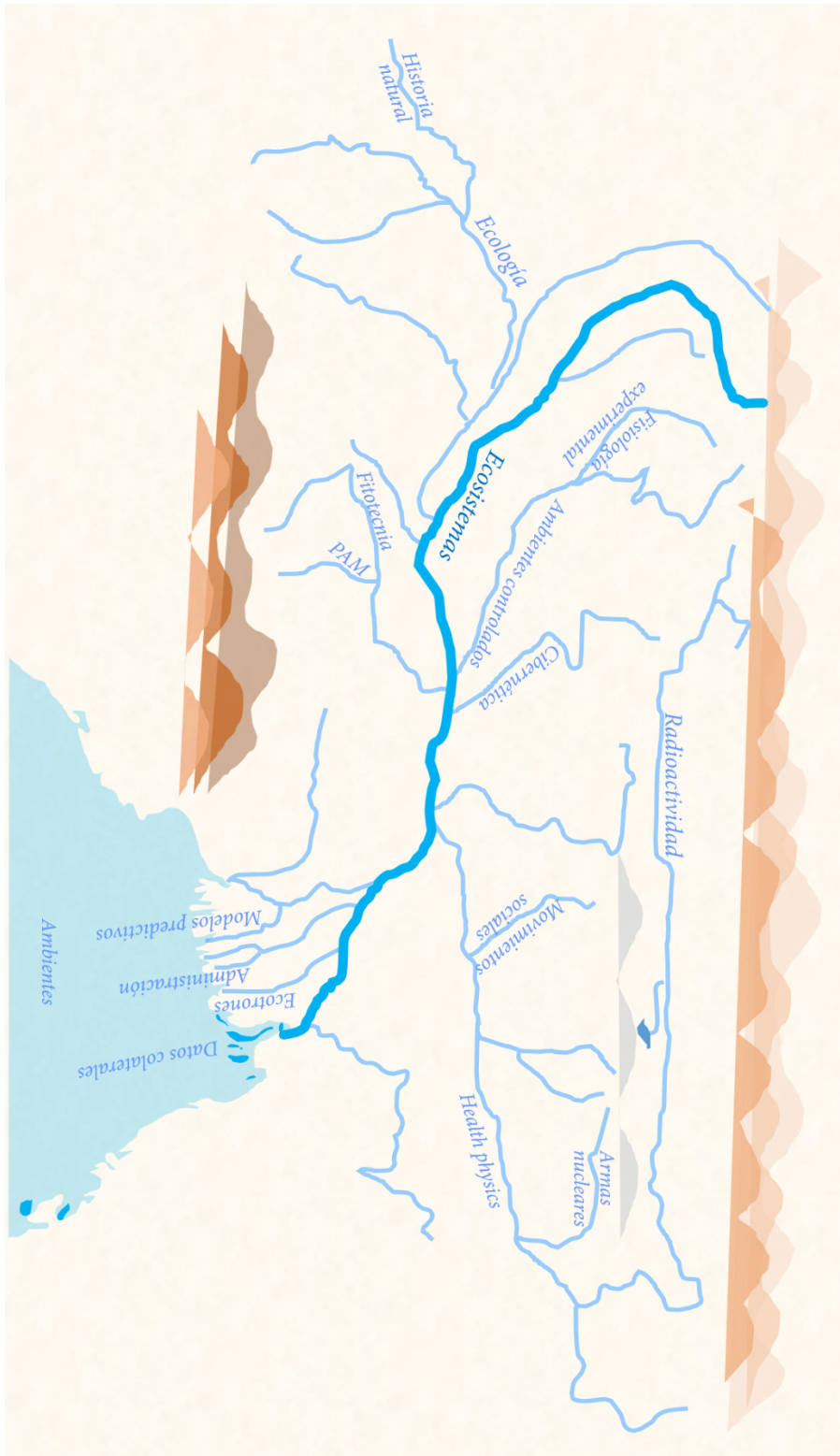


Figura 1. Esquema generalizado de las temáticas abordadas en este trabajo. El modelo está inspirado en el Río Ganges.

Si bien la narrativa que presento a continuación está profundamente centrada en la historia de la radioactividad, la ecología y los ecosistemas desde los Estados Unidos, ofrezco además una aproximación a otras realidades y construcciones al estudiar el caso de la modernización agrícola desde el PAM y hasta la Revolución Verde. La historia que presento se encuentra entrelazada con la de los Estados Unidos debido a que este país tuvo la hegemonía científica en ese periodo y fue escenario del desarrollo del primer ciclotrón, de los primeros reactores nucleares, del primer fitotrón y de la gestación de la Revolución Verde. El Proyecto Manhattan incentivó intensivamente la investigación en ciencias nucleares y en armamento nuclear, lo que, sumado a la posición geopolítica de los Estados Unidos hacia el final de la Segunda Guerra Mundial y durante la Guerra Fría, les permitió continuar desarrollando investigación nuclear de manera intensiva y extensiva, en cuyo seno la ecología dio un giro hacia la radioecología y la ecología de ecosistemas.⁶ Asimismo, los Estados Unidos tuvieron un importante movimiento de modernización agrícola durante la primera mitad del siglo XX, que les dio las bases para posteriormente exportar prácticas y quehaceres a otros países.⁷ Por si fuera poco, durante la Guerra Fría los Estados Unidos se convirtieron en un centro de movilización de ciencia, tecnología y discursos de desarrollo, crecimiento económico, combate al hambre y optimización de la producción agrícola.

A pesar de que existe alguna diversidad en los contextos que abordo en este trabajo, es necesario también reconocer que aquí retrato a una(s) ciencia(s) que, junto con otros agentes, construye(n) una realidad dominante occidental, que se ha impuesto históricamente sobre otras formas de saber y de habitar, sobre otras materialidades y sobre otros grupos sociales. Mi interés en este texto es justamente retratar esta realidad hegemónica e intervencionista, sin embargo, esto no excluye que existan construcciones alternas, y es posible que otras formas de construir la realidad natural conduzcan a reflexiones divergentes de las mías.⁸

⁶ Cfr. Creager, *Life Atomic*.

⁷ Ver Matchett, "At Odds over Inbreeding," 345-72; y Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 457-83.

⁸ Sobre la diversidad de construcciones de la naturaleza, ver: Durand, *Naturalezas Desiguales*.

Finalmente, quiero hacer notar que la mayoría de los personajes que forman parte de esta historia son masculinos, de modo que en general me refiero a las personas científicas por su plural instituido (“científicos”, “ecólogos”). La presencia tan importante de personajes masculinos en esta historia corresponde a una época y contextos científicos dominados por hombres y, probablemente, a la invisibilización histórica de las mujeres que habrán formado parte de la historia. Como no es la intención de este trabajo el rastrear y rescatar a las personajes femeninas, sino esbozar historias y reflexiones más generales, en general acuso género masculino porque hablo de actores masculinos; cuando en la historia hay personajes femeninas, procuro reconocerlas.

A. Radioisótopos: un nuevo lente para comprender la vida

A partir del descubrimiento de la radioactividad en 1898, la biología del siglo XX dio un giro inesperado. Primero, porque las sustancias radioactivas generaban efectos insospechados sobre los organismos vivos; segundo, porque la medición y el rastreo de la radiación permitieron asociar efectos a su circulación en organismos, aportando así una nueva dimensión metodológica a la radioactividad, que sería empleada para investigación en biología: los radiotrazadores o radiomarcadores.

A lo largo de este capítulo describiré en qué consistió el giro que imprimió la radioactividad a la biología y cómo este cambio permeó en disciplinas específicas como la ecología. Ello permitirá comprender la relevancia de la radioactividad como herramienta e incentivo en el quehacer ecológico de la posguerra, para posteriormente comprender el surgimiento de la ecología de ecosistemas.

A1. La radioactividad en lo vivo: de 1900 a los años treinta

A partir del descubrimiento, investigación y empleo del radio en 1898 por Marie Curie, los Curie desarrollaron prácticas para extraer sustancias radioactivas de minerales y conocer sus propiedades químicas, al tiempo que otros investigadores en Europa y América estudiaban las propiedades de las sustancias radioactivas. Para 1903 ya se extraía y distribuía radio en un mercado naciente, con lo que se desarrolló una industria del radio, liderada por Marie Curie

y cuya importancia internacional crecía debido a la amplia difusión de las aplicaciones médicas, científicas e industriales de la radioactividad que se iban descubriendo.⁹

Así, desde la primera década del siglo XX, el radio y la radioactividad fueron revestidos de una fascinación popular en la que confluían las descripciones biologicistas y las místicas del mismo. De esta manera, se consideraba popularmente que el radio contenía el secreto de la vida, la capacidad de revitalizar, características similares a las de los seres vivos y, además, poderes especiales que le conferían la cualidad de ser multiusos y benéfico para toda clase de situaciones. Esto provocó que a inicios del siglo XX sus aplicaciones se extendieran en los campos médico, científico, agroproductivo y cotidiano, por medio de una manipulación desprotegida, que hoy día es indicador del amplio desconocimiento de comienzos del siglo XX sobre los efectos nocivos de la radiación.¹⁰



Figura 2. Trabajadoras de una fábrica de la United States Radium Corporation pintando relojes con pintura de radio. "Radium Girls work in a factory owned by the United States Radium Corporation", circa 1922. Obtenida a través de Wikimedia Commons. Dominio público.

⁹ Jeff Hughes indica que Marie Curie acuñó el término de "radioactividad" en 1898, aunque dicho término describía un tipo de radiación que ya había sido identificado previamente por Henri Becquerel; Hughes, "Radioactivity," 352-55. Boudia, "Curie laboratory," 250-53.

¹⁰ Campos, Radium, 2-7, 43-48, 51. Tan diversas eran las aplicaciones del radio, que se inventó pintura de radio en 1908 y fue utilizada al menos hasta la década de 1950 en relojes de pulsera cuyos números y/o manecillas eran fosforescentes. Tal era la desprotección ante la radiación, que numerosas pintoras de dichos relojes murieron por sus efectos en la década de 1920 en los Estados Unidos; Rowland y Lucas, The Radium Dial Workers; Rentetzi, "Women Radium Dial Painters," 233-48; United Nations, Report of the United Nations Scientific Committee, 70; Creager, Life Atomic, 224.

Tales aplicaciones e interpretaciones hicieron de la radioactividad un instrumento práctico y una herramienta epistémica que incentivó numerosas investigaciones experimentales en biología y, posteriormente, en ecología. En genética, embriología y fisiología, por ejemplo, la radioactividad resultó en una fuente importante de innovación, sumándose al ya de por sí acelerado desarrollo de estas disciplinas durante las primeras décadas del siglo XX, y generando incluso subdisciplinas como la genética de la radiación o la radiobiología.¹¹

La radiobiología buscaría dar cuenta de la relación radioactividad-vida, que en ese entonces “[se refería] a estudios sobre los efectos de los rayos X sobre los procesos biológicos,”¹² albergando bajo un programa “sombilla” (de radiobiología) diversas investigaciones, principalmente biomédicas, asociadas a la radiación. Algunos de dichos estudios abordaban, por ejemplo, la radiosensibilidad de las células, la esterilidad y la mutagénesis relacionadas a la exposición a rayos X, y estudios relacionados al control del cáncer.¹³ En esta misma línea, en el campo de la genética, la mutación radioinducida fue particularmente explorada en las décadas de 1920 y 1930, con lo que se incentivaron desarrollos en genética, fisiología, embriología y agronomía.¹⁴

Por otra parte, en el campo de la fisiología, los radioisótopos¹⁵ sirvieron como *marcadores* que se incorporaban –como se incorporan los elementos estables– a procesos fisiológicos y bioquímicos, como el metabolismo, pero que emitían radiación en su paso por los procesos,

¹¹ Campos, *Radium*. Evelyn Fox Keller elabora sobre los desarrollos tempranos de la genética en su relación con la embriología y la fisiología a principios de siglo; Keller, *Lenguaje y vida*. Sobre el desarrollo de la biología experimental a comienzos de siglo, ver Kohler, “*Drosophila*,” 281-310.

¹² Creager, y Santesmases, “Radiobiology,” 637.

¹³ Creager, “Nuclear Energy,” 677; Bedford, y Dewey, “Historical and Current Highlights,” 253.

¹⁴ Luis Campos describe a profundidad los experimentos e investigaciones biológicos en este contexto; Campos, *Radium*. Por otra parte, Helen Anne Curry describe el rol de la mutación radioinducida en agronomía en los Estados Unidos durante estas décadas; Curry, “Speeding Up Evolution,” 459-78.

¹⁵ Un isótopo es un átomo de un elemento químico (cada elemento químico tiene el mismo número atómico, es decir, número de protones) pero que posee distinta masa atómica (es decir, que difieren en número de neutrones). Un isótopo radioactivo o radioisótopo es un isótopo inestable que desprende alguna forma de radiación ionizante. La nomenclatura de los isótopos que indicaré aquí será de la forma elemento-masa atómica (por ejemplo, plomo-212). En 1947 se introdujo el término núclido o radionúclido como alternativa a isótopo o radioisótopo, pero su uso se popularizó hasta la década de 1960. Las fuentes que consulto en general los llaman radioisótopos, de modo que yo haré lo mismo. Creager, *Life Atomic*, 1, 363.

permitiendo rastrear cambios y flujos. El primer estudio experimental con radioisótopos como marcadores en biología lo realizó George de Hevesy en 1923, quien empleó plomo-212 para estudiar su circulación y absorción en tejidos vegetales, con lo que se sentó un precedente metodológico para estudiar la vida que habría de emplearse frecuentemente y que habría de extrapolarse a la ecología hacia finales de la década de 1930.¹⁶

Para la década de los años treinta ya había numerosos radioisótopos disponibles que permitieron, a través de la experimentación y de su uso como trazadores, el conocimiento del metabolismo, de la herencia y de la fisiología de los seres vivos, lo que propició la llamada “comprensión molecular de la vida”.¹⁷ A partir de ello, la temprana biología molecular, de las décadas de los años treinta y cuarenta, fundaba sus aproximaciones sobre la idea de que la estructura molecular (apreciable gracias a la química orgánica y a la cristalografía de rayos X) era clave para la comprensión de las funciones biológicas. La relación entre la física y la química con la biología se estrechó cuando, hacia finales de los años treinta, se dio “una gran fusión de los métodos, técnicas y conceptos de la química orgánica, la química de polímeros, la bioquímica, la química física, la cristalografía de rayos X, la genética y la bacteriología”, propiciada por la recién entablada comunicación entre especialistas interesados en las macromoléculas. Tales puentes fueron a su vez ampliados por la migración en los años cuarenta de químicos y físicos a las ciencias de la vida, así como por la diáspora de científicos europeos a los Estados Unidos desde los años veinte hasta los cuarenta.¹⁸

Estas interconexiones son claves para comprender la creación de los fitotrones (capítulo C) como punto de encuentro interdisciplinario y transnacional, pero también como parte de un

¹⁶ Hamilton, “Radioactive Tracers,” 542; Creager, “Timescapes,” 84; Creager, *Life Atomic*, capítulo 7. Notablemente, el estudio de la fotosíntesis también involucró radiotrazadores, a comienzos de la década de 1940, con Ruben y Kamen y, en la segunda mitad de la década de 1940, con Melvin Calvin y Benson. Hamilton, “Radioactive Tracers,” 567-69; Creager, “Timescapes,” 84; Calvin, *The Path of Carbon in Photosynthesis*.

¹⁷ Creager, *Life Atomic*, 258. Comprensión que Frits Went —como veremos más adelante— buscaría contrarrestar con una concepción del organismo como el resultado de factores ambientales y genéticos, no reducibles a interacciones químicas a nivel molecular; Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 312; Munns, “The phytotronist,” 36-38.

¹⁸ Furukawa, “Macromolecules,” 435-40; Hughes, “Radioactivity,” 368-69.

movimiento que buscaba ir más allá de la comprensión molecular de la vida. Si bien los promotores de estas tecnologías reconocían que el estudio de la vida a nivel molecular permitía comprender procesos, los fitotronistas –fisiólogos, principalmente– estaban convencidos de que el estudio del todo y de sus partes, y no sólo de las partes del organismo, daba cuenta de la vida misma y de sus condiciones de posibilidad.¹⁹ De dicho estudio también se encargaría la ecología en sus diversas vertientes, como se verá a continuación.

A2. Del organicismo a la fisicalización de la ecología (1866-1943)

Si bien Ernst Haeckel acuñó en 1866 el término de ecología para referirse a la “ciencia de las relaciones del organismo con el ambiente, incluyendo, en el sentido amplio, todas las ‘condiciones de la existencia’ [...] parte orgánicas y parte inorgánicas,”²⁰ la ecología como campo se nutre de un amplio espectro de estudios: historia natural, biogeografía, fisiología experimental, biología evolutiva, entre otros. Esto explica que la ecología tuviera dos formas básicas en la búsqueda de respuestas: la aproximación histórica, que enfatiza los procesos del pasado que dan lugar al presente; y la aproximación analítica o funcional, que enfatiza los procesos y condiciones en abstracto que ocurren en el presente, “la naturaleza de la naturaleza”. Esta tensión y complementación entre ambas perspectivas, además de la consideración del ser humano como agente y parte en el desarrollo del mundo natural, posicionan a la ecología como una “ciencia subversiva” en tanto consigue el encuentro entre dos mundos artificialmente separados: las ciencias naturales y las ciencias del espíritu.²¹

¹⁹ Munns, “The phytotronist,” 33, 36-38.

²⁰ Egerton, “History of Ecological,” 226.

²¹ Collins, Beatty, y Maienschein, “Between Ecology,” 169-71; Kingsland, *Evolution*, 156, 203-4. Es posible encontrar un recuento breve de las fuentes disciplinares de la ecología Goodland, “The Tropical Origin,” 240-45. Por ciencias del espíritu aquí me refiero especialmente a la historia y a la economía, pues el reconocimiento de la agencia humana en el desarrollo del mundo natural implica historizaciones distintas y consideraciones de causalidad desde y hacia la economía.

En la última década del siglo XIX, Eugenius Warming combinó ambos enfoques para dar cuenta de la relación entre fisiología vegetal y ambiente, que resulta en configuraciones particulares de distribución y abundancia de las especies. De esta manera, la perspectiva ecológica se distanciaría de la historia natural y de la biogeografía, para dar lugar a una forma de explicación novedosa y prolífica: la perspectiva fisiológica de la ecología. Esta nueva perspectiva condujo a que durante las primeras décadas del siglo XX la ecología se reorganizara en dos grandes ramas: la autoecología (o ecología fisiológica) y la sinecología. La primera se encargaría de estudiar las relaciones organismo-ambiente, mientras que la segunda se ocuparía de estudiar grupos o comunidades de especies.²²

Ambas ramas de la ecología se fundaban sobre la base del conocimiento fisiológico de los organismos, puesto que este permitiría el estudio de relaciones e interacciones. Dado el rol tan central de la fisiología en la ecología de inicios de siglo, la fisiología se convirtió en el modelo a seguir de la ecología, detonando un giro de ésta hacia lo cuantitativo y experimental, con énfasis en lo funcional más que en lo descriptivo; un ejemplo claro de lo cual son Frederic Clements y John Phillips, así como Frits Went, con sus incontables experimentos fisiológicos (apartado C1).²³

El quehacer de Clements en ecología es relevante para esta historia porque es un caso – sumamente influyente durante las tres primeras décadas del siglo XX–, de varios que menciono aquí, que ilustra y pone en marcha la búsqueda de los ecólogos por madurar la

²² Collins, Beatty, y Maienschein, “Between Ecology,” 170-71; Goodland, “The Tropical Origin,” 242-44; Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 293. De acuerdo con los niveles de organización que estudiaba, la ecología a comienzos del siglo XX se dividía en: autoecología o ecología fisiológica (estudio de relaciones organismo-ambiente), ecología de poblaciones (el estudio de la estructura y dinámica de poblaciones de la misma especie) y ecología de comunidades (o sinecología, estudio de comunidades compuestas por diversas poblaciones, sus relaciones y variaciones). A partir de la década de 1950 se añade la ecología de ecosistemas. E. Odum considera dos niveles generales en ecología: la autoecología, encargada del estudio del organismo o la especie individual y sus relaciones con el ambiente; y la sinecología, que se dividiría de acuerdo con el nivel de organización estudiado en ecología de poblaciones, de comunidades bióticas, o de ecosistemas. Kingsland, *Evolution*, 219-20; Odum, *Fundamentals*, 7. Kwa distingue a la ecología de sistemas como una vertiente de la ecología de ecosistemas, en la nota a pie número 74 profundizo al respecto; Kwa, “Radiation ecology,” 214.

²³ Collins, Beatty, y Maienschein, “Between Ecology,” 171-72; Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 293.

ecología como campo científico y por legitimar su disciplina en el ámbito académico y social, lo que les condujo a adoptar discursos de utilidad social y esquemas de otras disciplinas, como la fisiología y la física. Parte de la legitimación de la disciplina que impulsó Clements se debió a que posicionó a la ecología como una ciencia con utilidad práctica y resolutive de problemas en el contexto estadounidense de principios del siglo XX, en el que el desarrollo social y el progreso eran imperativos y, al mismo tiempo, se suscitaban importantes perturbaciones ambientales antropogénicas por cambios drásticos en el uso del territorio. En este contexto, el ecólogo estaría en la posición de comprender y predecir los procesos naturales y, por ende, de controlarlos para el beneficio del ser humano. Por otra parte, Clements impulsaría a la ecología como ciencia dotándola de métodos experimentales rigurosos, cuantitativos y reproducibles, así como de prácticas y teorías derivadas de la ciencia fisiológica. Entre dichas teorías destaca aquella que interpreta a la comunidad vegetal como un gran organismo complejo, con fisiología propia, con un ciclo vital propio y cuya relación con el ambiente es similar a la del organismo con su ambiente.²⁴

En 1935, el británico Arthur Tansley buscó dar un giro a la ecología al proponer una concepción fundamental en torno a un “*sistema* entero (en el sentido de la física), incluyendo no sólo el complejo de organismos, sino también todo el complejo de factores físicos formando lo que llamamos el ambiente del bioma”.²⁵ Su propuesta criticaba la visión organicista de la comunidad biótica, cuestionaba las ideas de sucesión y de clímax de Clements, y enfatizaba el dinamismo de la naturaleza frente a la teleología y el determinismo que veía en Phillips y Clements. A partir de estas consideraciones, Tansley propuso a los ecosistemas como una “categoría entre los *sistemas físicos* que conforman el universo,” que a

²⁴ Kingsland, *Evolution*, 150-54; Hagen, “Clementsian Ecologists,” 179-81; Hagen, *Entangled Bank*, 22-32. Estos aportes de Clements lo hicieron sumamente influyente en la década de 1920 en los Estados Unidos. Aunque la perspectiva organicista de Clements fue descartada más tarde, resulta interesante que el estudio de Clements de la comunidad biótica la reducía a procesos fisiológicos, físicos y químicos, algo que, desde otro marco conceptual (el de ecosistemas, de manera matematizada y con nociones cibernéticas) se haría en la ecología de ecosistemas; cfr. Hagen, “Research perspectives,” 433-55.

²⁵ Tansley, “Use and Abuse,” 299. Énfasis en el original; traducción propia.

su vez se conformarían en las unidades básicas de estudio del ecólogo, quien habría de definir y delimitar por su propia cuenta (artificialmente) a dichas unidades.²⁶

Aunque la idea del ecosistema como integración de los seres vivos y su ambiente puede rastrearse siglos atrás,²⁷ la propuesta de Tansley consistía en una reformulación de los conceptos de la ecología, con consideraciones metodológicas y que apuntaban hacia la física como modelo. Así, su ecología se encargaría de estudiar todos los componentes del ecosistema, sus interacciones y procesos, migrando de una concepción vitalista hacia una materialista, en la cual “los organismos y los factores inorgánicos [fueran] *componentes* [del ecosistema].”²⁸

La noción de ecosistema de Tansley fue adoptada por otros ecólogos y su uso se generalizó en la década de 1950. Sin embargo, pese a que el concepto fue adoptado y con él la perspectiva procesual de los ecosistemas, el organicismo subyacente prevalecía.²⁹ El ecólogo estadounidense G. Evelyn Hutchinson, por ejemplo, aunque defendía una perspectiva procesual de circulación de materia en ciclos biogeoquímicos, creía que la organicidad de la comunidad biológica permitía que se estudiara su metabolismo, de manera similar a como ocurría en la fisiología.³⁰ Con base en dicha premisa, a finales de la década de 1930 e inicios

²⁶ Tansley, “Use and Abuse,” 299-300, 306. El énfasis es mío; traducción propia.

²⁷ Willis, “The ecosystem,” 268.

²⁸ Tansley, “Use and Abuse,” 305-6. Énfasis en el original; traducción propia. Creager, *Life Atomic*, 352. La concepción vitalista se opone al reduccionismo mecanicista, lo que en este contexto significa que comprende a los ecosistemas o comunidades como organismos, con procesos propios de la vida (como el metabolismo), y no sólo como resultado de procesos físicos y químicos; cfr. Oyama, “Biologists Behaving Badly,” 401-23.

²⁹ Creager, *Life Atomic*, 352-53. No es sorprendente que la noción de ecosistema de Tansley fuera conocida internacionalmente, pues desde 1911 organizaba las *International Phytogeographical Excursion*, la primera de las cuales se realizó en las Islas Británicas y la segunda en los Estados Unidos (1913). Los ecólogos H. C. Cowles y F. E. Clements organizaron la excursión en Estados Unidos en colaboración con Tansley. Asimismo, Tansley fundó sociedades británicas de estudios ecológicos y, de 1917 a 1937, fue editor del *Journal of Ecology* que él mismo fundó; Godwin, “Arthur George Tansley,” 233-34; Kingsland, *Evolution*, 185.

³⁰ Hutchinson, “Bio-Ecology,” 268. Cabe mencionar que G. E. Hutchinson a su vez había sido influenciado por el ruso Vladimir Ivanovich Vernadsky (1863-1945) —al grado de, con la ayuda del hijo de Vernadsky, haber traducido al inglés algunas de sus obras—, quien desarrolló el concepto de *biósfera* para referirse a las relaciones entre las comunidades biológicas y los componentes abióticos del ambiente, así como a los procesos biogeoquímicos en la Tierra. Vernadsky dio de esta manera soporte teórico —al menos

de la de 1940, realizó múltiples investigaciones y experimentos sobre el metabolismo de comunidades y la circulación de materia en las mismas, llegando a emplear radioisótopos como trazadores para rastrear los procesos metabólicos, como se hacía en los estudios fisiológicos.³¹

En 1939 Hutchinson solicitó al físico Ernest Pollard, quien para entonces ya tenía un ciclotrón en Yale –y a cuya construcción ayudó Ernest O. Lawrence–, el marcador fósforo-32 –para entonces ya conocido como idóneo en biología– para estudiar ciclos biogeoquímicos en un ecosistema. Con dicho radioisótopo, Hutchinson realizó el primero de una serie de experimentos en el Linsley Pond, en Connecticut, Estados Unidos, para evaluar la circulación de fósforo en el ecosistema y la intervención de los factores bióticos y abióticos en este proceso. Realizó un experimento en 1941, otro en 1946 y uno más, plenamente exitoso, en 1947.³²

Dichos experimentos son relevantes porque, aunque Hutchinson concibiera a las comunidades de manera organicista, el estudio de su metabolismo le permitió incorporar nociones cibernéticas³³ que, junto con los radioisótopos, conjuntaron la perspectiva de la dinámica procesual en ecología con las técnicas y supuestos de la radiobiología, para sentar las bases de la aplicación de radioisótopos en la investigación de la dinámica ecológica. El descubrimiento de la dinámica ecológica y del flujo de materia en el ecosistema propició, a su vez, la comprensión de los ecosistemas conforme a Tansley, es decir, como confluencia entre procesos físicos, químicos y biológicos. De esta manera, los ecosistemas como entidades se consolidaron conceptualmente y se demostraron experimentalmente.

parcialmente– a estudios de radiogeología y biogeoquímica; Piqueras, “Meeting the Biospheres,” 165; Kautzleben, y Müller, “Vladimir Ivanovich Vernadsky,” 4-10; Vernadsky, *The Biosphere*.

³¹ Creager, *Life Atomic*, 353; G. Hutchinson, “Limnological Studies,” 21-60; Hutchinson, “Chemical Stratification,” 63-69; Hutchinson, y Bowen, “Direct demonstration,” 194-203. Hutchinson fue uno de los pioneros en experimentar con radioisótopos en ecología, lo que inició toda una tradición en radioecología.

³² Creager, *Life Atomic*, 357-59; Hamilton, “Radioactive Tracers,” 543-52, 569; Hutchinson, y Bowen, “Limnological Studies,” 194-203.

³³ Poole, “What Was Whole,” 224-25.

Raymond Lindeman, un alumno de Hutchinson, a inicios de la década de los cuarenta retomó las aproximaciones y la metodología de Tansley y Hutchinson, y estudió ciclos biogeoquímicos y la circulación de nutrientes y energía entre niveles tróficos en cuerpos de agua, incorporando a su estudio las nociones de flujos de energía (comprendidos en la dinámica trófica). Con base en estas experiencias, los flujos de materia y energía se integraron a la noción misma de ecosistema y al dinamismo inherente a ésta.³⁴

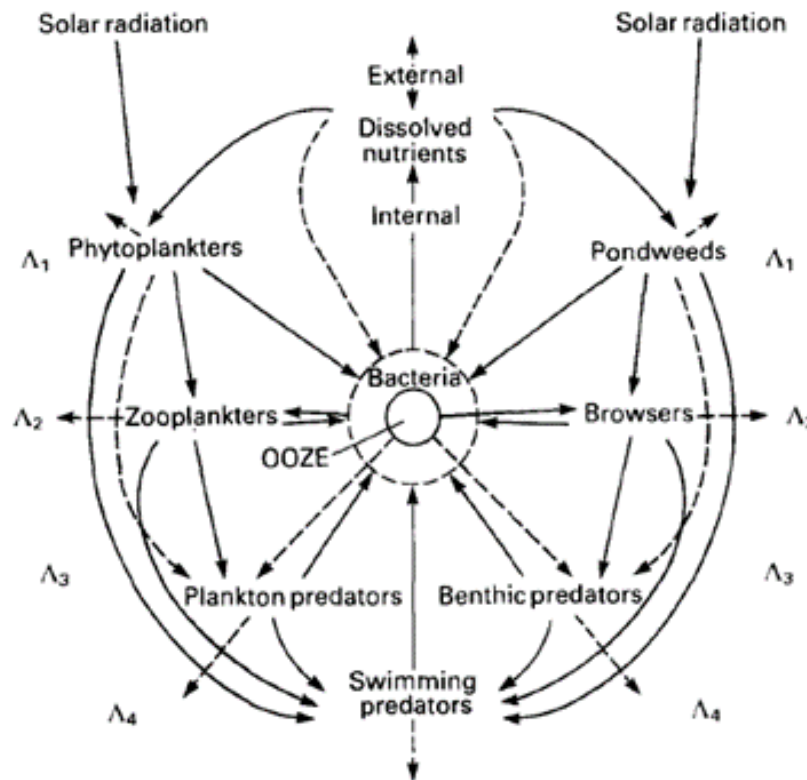


Figura 3. Esquema generalizado de la cadena alimenticia en un ecosistema lacustre.

Para Lindeman, las relaciones energéticas en la cadena alimenticia revelaban las peculiaridades de la dinámica de cada ecosistema, donde la energía fluye a través de los productores, consumidores y descomponedores y su medio abiótico. Lindeman, Raymond L., "The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology," *Bulletin of Mathematical Biology* 53, no. 1/2 (1991): 168, a su vez tomado de Lindeman (1942), "The Trophic-Dynamic," 401. Reproducido con permiso de Springer Nature y de John Wiley and Sons.

³⁴ Lindeman, "Trophic-Dynamic," 399-417; Creager, *Life Atomic*, 354-55; Kwa, "Radiation ecology," 222-23.

Posteriormente, Eugene Odum y Howard T. Odum, otros aprendices de Hutchinson, retomarían estos conceptos y prácticas, y se convertirían en figuras prominentes en la ecología estadounidense a partir de la década de 1950. Los hermanos Odum harían contribuciones teóricas y prácticas al conocimiento de los ecosistemas, primero desde la radioecología y posteriormente desde la ecología de ecosistemas. Más adelante profundizaré sobre sus aportes a la ecología de ecosistemas. Asimismo, describiré en el capítulo B cómo el desarrollo de la ecología de ecosistemas estuvo profundamente influenciado por los deseos de los ecólogos de legitimar su ciencia sobre la base y ejemplo de la física, retomando conceptos, representaciones y técnicas, entre las que destaca el uso de radioisótopos.

A3. Radioisótopos artificiales de 1930 a 1945

Aunque durante la década de 1920 ya se empleaban los radioisótopos como trazadores para rastrear procesos fisiológicos –y además de éstos se empleaban isótopos estables–, durante la década de 1930, los ciclotrones de Ernest O. Lawrence (el primero de los cuales terminó de construirse en 1930) en Berkeley y la producción de radioisótopos artificiales por esos medios, popularizaron a los radioisótopos como marcadores para la investigación en biología. Para entonces, los radioisótopos ya eran importantes en la investigación médica y biológica, al grado de que la Fundación Rockefeller financiaba investigación en biofísica y en los años treinta también financió de manera importante a E. O. Lawrence –a cuyo sodio radioactivo incluso publicitó–, y para finales de los años treinta ya se investigaba el ciclo fotosintético con carbono-11.³⁵ En este contexto, en 1934 Lawrence declaró que buscaba perfeccionar su ciclotrón con el propósito de “la creación de nuevos radioelementos y su manufactura en cantidades suficientes para investigación biomédica,” lo que implicaría,

³⁵ Yarris, “Ernest Lawrence’s,” 224-29; Heilbron y Seidel, *Lawrence*, 189. De hecho, hacia finales de la década de los años treinta, Lawrence proveyó de radioisótopos a George de Hevesy; Creager, “Radioisotopes as political,” 228.

desde su perspectiva, que los físicos y los técnicos (*machine builders*) fueran de utilidad para los biólogos.³⁶

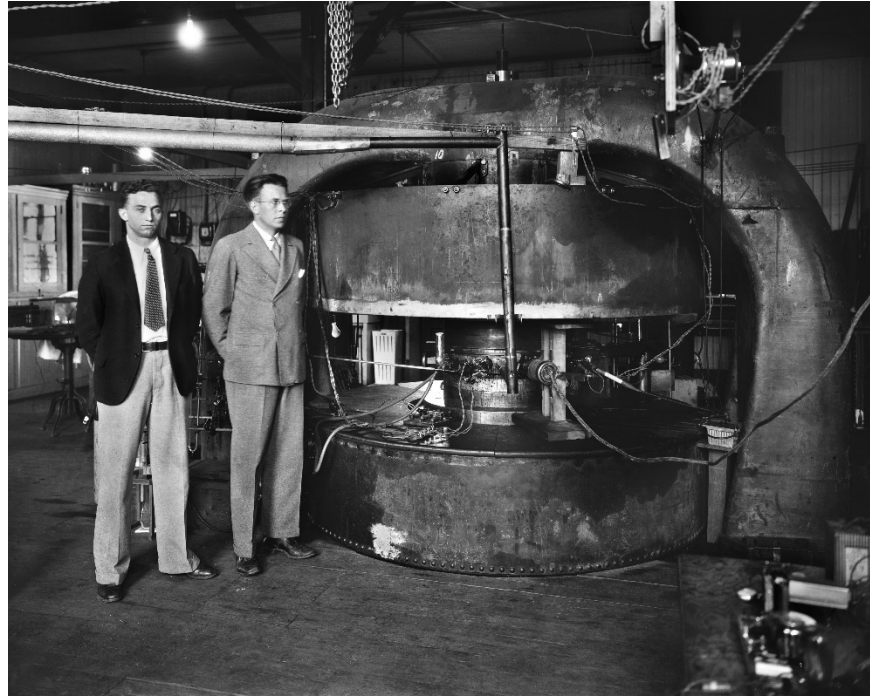


Figura 4. M. S. Livingston y Ernest O. Lawrence junto al ciclotrón de 37 pulgadas, construido en 1934. Fotografía XBD200904-00162.TIF del Lawrence Berkeley National Laboratory, con licencia CC BY-NC-ND 2.0, obtenida a través de Flickr (Berkeley Lab).

Años más tarde, en 1937, Lawrence comentaría en una conferencia que el fósforo y el hierro radioactivos (fósforo-32 y hierro-59) serían importantes para la investigación biológica del futuro, comentario que acompañó con una demostración en tiempo real del flujo de sodio radioactivo a través del cuerpo humano, en donde daría de comer a un voluntario el radioisótopo y rastrearía su tránsito a través del cuerpo con un contador Geiger. Si bien este tipo de experimentos ya se realizaban en biología desde hacía lustros, resulta indudable que Lawrence, con la publicidad que hacía de sus ciclotrones y con sus demostraciones, influyó

³⁶ Helibron y Seidel, *Lawrence*, 187; la traducción es propia.

en que se construyeran más ciclotrones y en que más científicos se interesaran en los radioisótopos.³⁷

Durante la Segunda Guerra Mundial, las investigaciones en los Estados Unidos sobre la relación entre la radioactividad y los organismos vivos proliferaron y adquirieron mayor alcance. Esto era consecuencia del desarrollo de la letalidad de las bombas atómicas y principalmente como parte del estudio de la seguridad de los trabajadores en el Proyecto Manhattan. Precisamente debido al enfoque de las investigaciones y la prioridad en este contexto, es que se nombró a dicha rama de estudio *health physics*,³⁸ pues en ella se investigaban, inicial y principalmente, los efectos de la radiación sobre la salud humana, y en ella el riesgo era asumido y atendido como un riesgo únicamente para los trabajadores: no para las víctimas potenciales de las bombas, y aún menos para el ambiente circundante.³⁹

Por otra parte, en el Laboratorio Nacional de Hanford (el cual formaba parte del Proyecto Manhattan, en el estado de Washington) la investigación durante la guerra de los efectos de la radiación sobre los organismos vivos también se enfocó en estudiar los potenciales efectos de los desechos radioactivos de la operación del reactor nuclear sobre el ambiente cercano, en especial sobre los organismos que lo habitaran, sentando el precedente para el trabajo ecológico en el seno de los proyectos nucleares.⁴⁰

Tanto las investigaciones en el área de *health physics*, como aquellas en torno a los efectos de la radioactividad sobre los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, como aquellas sobre los ambientes circundantes a los reactores nucleares, tuvieron gran

³⁷ Al grado de que para 1940 había veintidós ciclotrones construidos o en construcción en Estados Unidos. Heilbron y Seidel, *Lawrence*, 190-91, 311, 308.

³⁸ La traducción al español más común es “física de la salud”, sin embargo, he optado por no traducir este concepto porque pudiera resultar equívoco. Más adelante profundizo sobre la evolución del concepto y su contexto de aplicación. Beatty, “Scientific Collaboration,” 210; Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 4.

³⁹ Beatty, “Scientific Collaboration,” 210. Rothschild describe cómo se fue desarrollando la preocupación por los efectos de la radiación sobre el ambiente en el mismo seno de los Laboratorios Nacionales, migrando de preocupaciones biológicas a preocupaciones ecológicas, al tiempo que se desarrollaba la nueva ecología de la posguerra. Rothschild, “Environmental Awareness,” 492-530.

⁴⁰ Creager, *Life Atomic*, 364-65; Rothschild, “Environmental Awareness,” 497-99.

relevancia para el mayor desarrollo de la radiobiología y de la ecología en los Estados Unidos durante la posguerra. Precisamente, una fracción importante de dicha investigación ocurrió en los laboratorios que durante la guerra formaron parte del Proyecto Manhattan y que en la posguerra se convirtieron en Laboratorios Nacionales y se asociaron a universidades y científicos, en particular por medio del financiamiento y proyectos de la Atomic Energy Commission (AEC).

A4. La posguerra: nuevo orden geopolítico y nuclearización

Las bombas atómicas que el gobierno de Estados Unidos detonó sobre Hiroshima y Nagasaki el 6 y el 9 de agosto de 1945 horrorizaron al mundo; el mismo Harry Truman, entonces presidente de Estados Unidos de América, no estaba del todo consciente de las muertes y la destrucción que estas ocasionarían al ser utilizadas bajo su autorización.⁴¹ Sin embargo, horas después de que fuera arrojada la bomba atómica sobre Hiroshima el 6 de agosto, el presidente Truman dio un mensaje justificando el ataque y argumentando que se hizo en aras de la seguridad y la paz del mundo. Al mismo tiempo, Truman en este discurso enalteció “el logro de la ciencia organizada” y adelantó que este conocimiento recién adquirido (el control nuclear) permitiría eventualmente migrar a nuevas fuentes de energía; conocimiento que Estados Unidos consideraría, eventualmente, hacer público.⁴²

Durante los primeros años de la posguerra y ante el estigma contra la energía nuclear que generaron las bombas atómicas, el gobierno de los Estados Unidos implementó mecanismos que le permitieran legitimar internacionalmente el uso de los isótopos radioactivos. El desarrollo de los reactores nucleares durante el Proyecto Manhattan permitía producir

⁴¹ Wellerstein, “The Kyoto misconception: What Truman knew,” 34-55; Wellerstein, “A ‘purely military’”; Wellerstein, “The Kyoto misconception”; Dannen, “Harry S. Truman, Diary.”

⁴² “August 6, 1945: Statement by the President.”

radioisótopos a mayor escala que en los ciclotrones y aprovechar aquellos que resultaban como subproductos de la fisión nuclear, a los que, en el marco de legitimación de la posguerra, se les construyó como tecnologías para tiempos de paz, popularizando sus aplicaciones en medicina, biología, agricultura e industria. De esta manera, los radioisótopos se configuraron, por un lado, como tecnologías icónicas de poder y secrecía y, por otro, como herramientas de política pública, internacional y anticomunista.⁴³

En este contexto, en 1946 se firmó en Estados Unidos la Atomic Energy Act y se creó la Atomic Energy Commission (AEC), ambas con los objetivos iniciales de mantener el monopolio estadounidense sobre la energía atómica y de promover los usos civiles de la misma, lo que implicaría la distribución de radioisótopos controlada y bajo supervisión, principalmente para su uso en investigación y en medicina. Una parte importante de la investigación con radioisótopos a partir de entonces fue en el campo de la radiobiología y de la biología en general.⁴⁴

⁴³ Creager, "Radioisotopes as political," 219-39.

⁴⁴ Algunas de sus aplicaciones en biología fueron para investigación en fisiología vegetal. Creager, "Radioisotopes as political," 220-26, 229, 231; Creager, "Phosphorus-32," 30. Sobre la distribución de radioisótopos para investigación de 1947 a 1951, durante el gobierno de Truman, ver Krige, "Atoms for Peace," 168.

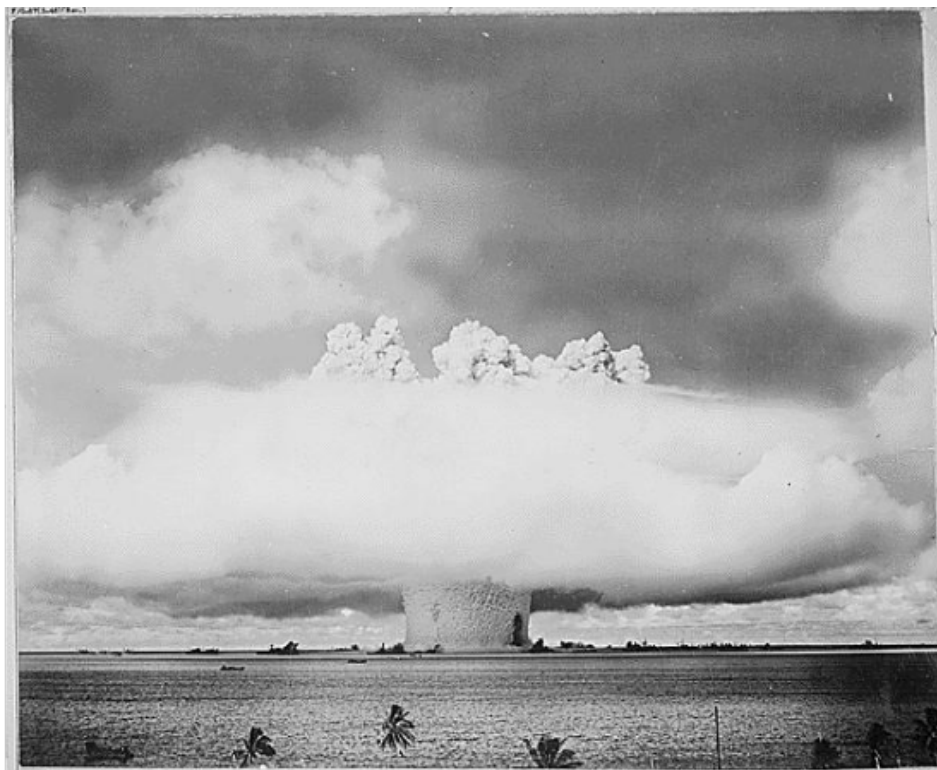


Figura 5. La prueba nuclear Test Baker en el Atolón de Bikini, Islas Marshall, el 25 de julio de 1946. Esta prueba fue la segunda de la Operation Crossroads, prueba diseñada para conocer los efectos de las bombas atómicas en los barcos de guerra y monitorear la radiación emitida. Fotografía tomada de: National Archives Catalog, "Atomic cloud during Baker Day blast at Bikini, 7/25/1946", id. 520714, creada por el Department of Defense. Department of the Navy. Naval Photographic Center. Disponible en: <https://catalog.archives.gov/id/520714>.

De esta manera se entrelazaron cercanamente la investigación en radiobiología, la política nuclear y la política pública, de lo cual son testigos los desarrollos en ecología y en agronomía llevados a cabo a partir de entonces y que abordaré más adelante. En este marco, en radiobiología, por ejemplo, se creó en 1947 la Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC) como un proyecto "conjunto" entre Japón y Estados Unidos, financiado por la AEC estadounidense, bajo la justificación de evaluar los efectos biológicos de la detonación de las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki. Aunque para entonces ya se conocían algunos de los daños a mediano plazo que ocasiona la radiación, los sobrevivientes de las bombas atómicas en Japón representaban para Estados Unidos una oportunidad de

investigación única y la ABCC constituía un nicho sin precedentes para la diplomacia, la “cooperación internacional” y la contención del comunismo.⁴⁵

En 1949, el presidente Truman, en su discurso inaugural, conocido por anunciar el *Point Four Program*, se atribuyó el rol de ser pacificador del mundo y de impulsar su bienestar, seguridad, justicia, orden y libertad, mientras colocaba a Europa a la vanguardia de la civilización y a Estados Unidos a la vanguardia de los esfuerzos por mejorar el mundo. En este marco, ofreció, entre otras cosas, socializar avances científicos y progresos industriales para mejorar y facilitar el crecimiento de “áreas subdesarrolladas”. Esto condujo a que su gobierno ofreciera a otros países recursos materiales y tecnológicos y conocimiento técnico para el “desarrollo” a través del *Point Four Program*. La política estadounidense de asistencia técnica ya había comenzado antes con el *Marshall Plan* y se extendió con este nuevo programa, con lo que abarcó la difusión de las tecnologías nucleares y el mejoramiento agrícola (como se verá en el capítulo D, a propósito de la Revolución Verde).⁴⁶ Ese mismo año, la aspiración del monopolio atómico estadounidense se quebrantó cuando la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) detonó su primera bomba atómica y los gobiernos de Canadá y Gran Bretaña comenzaron a comercializar radioisótopos.⁴⁷ A partir de entonces, la AEC intensificó el programa estadounidense de exportación de radioisótopos y de entrenamiento de científicos en su uso, imponiendo controles y vigilancia a las exportaciones.⁴⁸

Posteriormente, en 1953, el recién electo presidente estadounidense, Dwight Eisenhower retomó los esfuerzos de Truman y anunció la iniciativa *Átomos para la Paz*, misma que consistió en propagar los usos pacíficos de la energía nuclear y en diseminar el conocimiento,

⁴⁵ Beatty, “Scientific Collaboration,” 210, 205, 212. Susan Lindee documenta el tipo de investigaciones en radiobiología que se realizaban en la Atomic Bomb Casualty Commission; Lindee, “What Is a Mutation?,” 231-55. Sobre la construcción de diversos estudios sobre los efectos de la detonación de las bombas atómicas en Japón, ver Lindee, *Rational Fog*, capítulo 5.

⁴⁶ “January 20, 1949: Inaugural Address;” Gisela Mateos y Suárez-Díaz, “Expectativas (des)encontradas,” 215-18.

⁴⁷ Creager, “Radioisotopes as political,” 219-39.

⁴⁸ Creager, “Radioisotopes as political,” 237-38.

tecnología, equipo, especialistas, insumos y aplicaciones benéficas de ésta, legitimando así a la energía nuclear y a los Estados Unidos en su uso, mientras éste aceleraba la producción de armas nucleares. Dicha iniciativa puso en marcha un intercambio y flujo de conocimientos sin precedentes, formando también nuevas comunidades científicas y redes internacionales de comunicación, trabajo y comercialización de lo nuclear.⁴⁹

La práctica científica se ha visto afectada por las nuevas tecnologías radioactivas disponibles. Después de la Segunda Guerra Mundial, numerosos campos en biología –así como la bioquímica, la oceanografía, la geología, las ciencias de la atmósfera, la paleontología, entre otras– se vieron impulsados por la gran disponibilidad de radioisótopos para investigación, cuyo máximo valor radicaba en su capacidad para fungir como rastreadores de procesos biológicos y flujos de materia.⁵⁰ De esta manera, los radioisótopos como herramientas de investigación permitieron la creación de nuevas líneas de experimentación científica en biología molecular, fisiología, genética, ecología, bioquímica, agronomía, entre otras; a tal grado que la forma de investigar y conceptualizar a los objetos de estudio de las disciplinas mismas fue moldeada por las posibilidades que permitían las técnicas de etiquetado radioactivo y de mutación radioinducida.

En este sentido, los radioisótopos configuraron nuevas epistemologías y ontologías, nuevas formas de representar y conocer por medio de la intervención y la experimentación. Pero cabe tener presente que esta configuración no se debe a la ciencia ni al instrumento en

⁴⁹ Para una descripción amplia de *Átomos para la Paz* y sus implicaciones, ver Krige, "Atoms for Peace," 161-81; Osgood, *Total Cold War*, 153-80; Medhurst, "Atoms for Peace," 571-93; Mateos y Suárez-Díaz, "Expectativas (des)encontradas," 219-21; y Mateos, y Suárez-Díaz, "Creating the need in Mexico," 418-36. Angela Creager, John Krige, y Gisela Mateos y Edna Suárez-Díaz, profundizan en la internacionalización de la ciencia como política y en el rol de los radioisótopos dentro de la misma. Creager, "Radioisotopes as political," 219-39; Krige, "Atoms for Peace," 161-81; Mateos, y Suárez-Díaz, "Clouds, airplanes, trucks and people," 279-305; Mateos y Suárez-Díaz, *Radioisótopos itinerantes*.

⁵⁰ Creager, "Phosphorus-32," 30; Munns, *Engineering the Environment*, 16; cfr. Turchetti y Roberts, *Surveillance Imperative*. Sobre la disponibilidad de radioisótopos provenientes de ciclotrones, y posteriormente de reactores, ver Krige, "Atoms for Peace," 161-81.

abstracto, sino a la práctica científica misma y a la tecnología, incluyendo el entramado sociocultural, político, económico y geopolítico de la era nuclear en que están inmersas, y que responde a valores, discursos, narrativas, e intereses por parte de diversos agentes.⁵¹ Así, lo nuclear durante la Guerra Fría se encuentra irremediabilmente permeado por los intereses y políticas en torno a la energía atómica. De la misma manera, aquellas nuevas o renovadas disciplinas científicas, sus aplicaciones y objetos, posibilitados por lo nuclear, existen en estrecha correlación con el entramado en que se insertan.

La ecología es una de estas disciplinas a las que los radioisótopos cambiaron drásticamente y que, al adoptarlos como herramientas también adoptaron otros supuestos, preocupaciones, preguntas, perspectivas, instrumentos y retórica; todos ellos también entrelazados en su contexto. No es casualidad, pues, que la ecología cambiara radicalmente una vez que los radioisótopos visibilizaran su dinámica desde una perspectiva física; o cuando la ecología se insertó en las investigaciones de *health physics*. En el siguiente capítulo describiré algunos de los cambios más relevantes en ecología, que se enmarcan de manera importante en el interés por y en la perspectiva de sistemas –posibilitada en ecología en buena medida por los radioisótopos– permitiendo la emergencia de la radioecología y de la ecología de ecosistemas.

Esto permitirá, entre otras cosas, comprender el contexto del capítulo C, que retrata la confluencia entre ambientes controlados, los ecosistemas y la ecología. Cabe destacar que este encuentro se da porque los ambientes controlados dejan de ser sólo espacios de experimentación para fisiología (también asistida por radioisótopos), y se convierten en espacios de generación de conocimiento de flujos de materia y energía, primero a la escala de organismos y después a la escala de ambientes –que bien podrían ser ecosistemas–, como lo demuestran los proyectos del Alcatraz y la *Biosphere 2*. Asimismo, los ambientes controlados, tanto físicos como simulados cibernéticamente, permiten ejercer control sobre

⁵¹ Angela Creager y María Jesús Santemas, por ejemplo, ilustran la manera como se forma y conceptualiza la radiobiología a partir de este complejo entramado de relaciones e influencias; Creager, y Santemas, “Radiobiology,” 637-47.

las variables que influyen en los flujos y los seres vivos, así como modelarlas; algo central para la ecología de ecosistemas.

Por otra parte, en el capítulo D abordo un ejemplo de la manera como tal ímpetu de control y modelación de los seres vivos se expresa, en el marco de la Guerra Fría y la nuclearización del mundo, en el cambio de las prácticas de investigación y mejoramiento agrícola durante la Revolución Verde, donde la radioactividad y los ambientes controlados como herramientas van asociados a prácticas, políticas, valores, discursos y aspiraciones –tales como el desarrollo y la modernización–.

B. Radioecología y Ecología de ecosistemas, o cómo representar para intervenir e intervenir para representar

La transformación de la ecología con la incorporación de los radioisótopos como herramientas es similar a aquella que atravesó la biología, en la que su horizonte experimental se amplió y se visibilizaron procesos y dinámicas, los cuales adquirieron dimensiones numéricas, matematizables, medibles, computarizables y, por ende, se concibieron como manipulables. En ecología, además, los radioisótopos como marcadores permitieron que las explicaciones y procesos ecológicos adquirieran una realidad tangible por medio de medidas y manipulaciones, y que la ecología se aproximara a la visión procesual inherente a la noción de ecosistemas, tornándose de esta manera más “científica”.⁵²

Los experimentos realizados por Hutchinson que mencioné antes⁵³ son relevantes porque son un punto de inflexión en varios sentidos en la historia de la ecología, de la que se desprenden la radioecología y la ecología de ecosistemas. El primer sentido en que fueron un punto de inflexión es metodológico. Aunque para cuando Hutchinson realizó el experimento de 1947 el empleo de radioisótopos como marcadores ya se había desarrollado extensivamente a partir de la distribución de radioisótopos de ciclotrones, Hutchinson fue de los primeros en aplicar esta técnica en ecología antes y después de la Segunda Guerra Mundial.⁵⁴

⁵² Kingsland, *Evolution*, 178-79, 186.

⁵³ Hutchinson, y Bowen, “Direct demonstration,” 148-53; Hutchinson, y Bowen, “Limnological Studies,” 194-203; Creager, *Life Atomic*, 357-59.

⁵⁴ Hutchinson, “Limnological Studies,” 21-60; Hutchinson, y Bowen, “Limnological Studies,” 194-203.

El segundo sentido en el que los experimentos de Hutchinson fueron relevantes es un sentido epistemológico. Estos experimentos constituyeron una prueba concreta, cuantitativa y reproducible de la circulación de materia en un ecosistema, misma que ya había sido modelada previamente por Hutchinson. La demostración de la circulación de materia (entre la fracción biótica y la abiótica del ecosistema) y energía (a través de los niveles tróficos de la cadena alimenticia) evidenció que las interacciones y procesos en la naturaleza no sólo se dan a la escala de individuos, poblaciones o comunidades, sino también a una mayor escala: aquella atribuible a los ecosistemas. De esta manera, el experimento de 1947 resultó en la primera evidencia, demostración y explicación del modelo y de la noción de ecosistemas. Al modelo se sumaron nociones cibernéticas (como el concepto de *feedback* y homeostasis) que expandieron la capacidad explicativa de los ecosistemas como entidades teóricas.⁵⁵

Finalmente, Hutchinson y sus experimentos son relevantes en un sentido sociológico, pues Hutchinson creó escuela: tres de los ecólogos más prominentes en la historia de la ecología, Raymond Lindeman, Eugene Pleasants Odum y Howard Thomas Odum, se formaron con él. Además, sus experimentos sentaron el precedente para sucesivas generaciones de ecólogos sobre la funcionalidad plena de los radioisótopos como marcadores en procesos ecológicos, que, en la posguerra, y bajo el auspicio de la AEC, serían empleados intensivamente y contribuirían a estabilizar la práctica ecológica y la noción de ecosistemas. En este contexto, surgió la radioecología como una rama de la ecología que estudia la dinámica ecológica por medio del rastreo y medición de radioisótopos, y que al mismo tiempo estudia las consecuencias de la radiación sobre los ecosistemas.⁵⁶

En este capítulo profundizaré en los desarrollos en ecología durante la Segunda Guerra Mundial, en particular dentro del Proyecto Manhattan, y en la posguerra en los laboratorios

⁵⁵ Hutchinson, "Limnological Studies," 21-60; Hutchinson, y Bowen, "Limnological Studies," 194-203; Poole, "What Was Whole," 224; Kwa, "Radiation ecology," 217, 222-24; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 14; Kingsland, *Evolution*, 188-94, 206, 215, 219.

⁵⁶ Poole, "What Was Whole," 224-25; Kwa, "Radiation ecology," 216-17, 222, 224, 248; Kingsland, *Evolution*, 188-90, 194.

que participaron o surgieron del mismo. La radioactividad en estos sitios impulsó la investigación en radiobiología y en radioecología bajo la vertiente de *health physics*, puesto que ponía en riesgo la salud humana. Aunque estas investigaciones inicialmente se enfocaban en el estudio de los efectos de la radioactividad sobre la salud humana, el campo de la *health physics* progresivamente se extendió a considerar también los efectos ambientales de la radioactividad, legitimando cada vez más a las investigaciones en ecología. Estas prácticas condujeron a la formación de la radioecología y la ecología de ecosistemas, como veremos a continuación.

B1. De la *health physics* a la radioecología

Los sitios más importantes en Estados Unidos para la investigación en radioecología durante la posguerra fueron Hanford Works (desde los años cuarenta), el Oak Ridge National Laboratory (ORNL; desde los años cuarenta) y la estación de la Universidad de Georgia en el Savannah River Site (a partir de los años cincuenta), porque era en estos sitios donde –en el contexto de la Segunda Guerra Mundial, la posguerra y la recién comenzada Guerra Fría a partir de 1949– había reactores nucleares produciendo insumos para bombas atómicas y donde se construirían más.⁵⁷

El hecho de que la radioecología se desarrollara de manera importante en las inmediaciones de los reactores nucleares no es casual. Dado que el enfriamiento de los reactores requería de agua limpia y fría, éstos se construían junto a ríos, de los que se tomaba agua y hacia los que se emitían los efluentes radioactivos; con ello, se generaba así un impacto que se desconocía pero que suscitaba preocupaciones sobre los daños potenciales a los peces, a los humanos que consumieran el agua y los peces, y a las actividades pesqueras.

⁵⁷ Creager, *Life Atomic*, 351, 373; Kwa, “Radiation ecology,” 213-50; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 1.

En el caso de Hanford (parte del Proyecto Manhattan, construido en 1943), por ejemplo, la actividad propia del sitio, así como los efluentes radioactivos derivados de ella, incentivaron investigaciones en *health physics* y radiobiología, relacionadas directamente con la seguridad laboral y la salud de la población humana cerca de las instalaciones. En 1943 se inició en el Río Columbia –depositario de los efluentes radioactivos de Hanford– la primera investigación estatal experimental sobre la dispersión o concentración de los efluentes radioactivos y sus efectos sobre los organismos acuáticos. La investigación se centró inicialmente en efectos directos como malestar, mortalidad y malformaciones. En 1945 esta investigación reveló patrones diferenciales de concentración de radioactividad en zonas particulares del cauce, en organismos y en órganos específicos de éstos, así como la acumulación de radioisótopos a través de la cadena alimenticia y la irradiación de los minerales en el río (lo que potenciaba la radioactividad total en la zona). Esta experiencia también reveló la necesidad de realizar estudios directamente en campo, fuera del laboratorio, donde las condiciones pueden conducir a resultados inesperados.⁵⁸

Por otra parte, el Laboratorio Clinton (parte del Proyecto Manhattan, construido durante 1943 con un reactor productor de plutonio y una planta de uranio; y que en 1948 se convirtió en el Oak Ridge National Laboratory, en adelante ORNL), desde su creación, destinaba sus residuos y subproductos a ríos, valle y lagos circundantes: al Río White Oak-Melton Valley y al Lago White Oak, desde donde a su vez se dispersaban hacia el Río Clinch; todos ellos tributarios importantes del Río Tennessee. En teoría, el Laboratorio se aseguraba de que “las descargas [...] no excedieran los estándares para concentraciones de radionúclidos en el agua potable, conforme estaban establecidas por los físicos de la salud [*health physicists*] de la nación y otros especialistas en protección radiológica;” sin embargo, los elementos

⁵⁸ Creager, *Life Atomic*, 364-68; Rothschild, “Environmental Awareness,” 497-99; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 4-8.

radioactivos se depositaban y acumulaban en el Lago White Oak y en el lecho del Río White Oak.⁵⁹

En 1943 se creó en el Laboratorio Clinton la Health Physics Division y quedó a cargo del físico Karl Ziegler Morgan, cuya perspectiva personal era que la *health physics* tendría que considerar, además de los riesgos directos del manejo de materiales radioactivos, los riesgos de la emisión de contaminación radioactiva al ambiente, pues podrían repercutir en el ser humano. Debido a la preocupación de Morgan y a las emisiones y vertidos radioactivos, dicha División comenzó a monitorear los radioisótopos en las inmediaciones del ORNL y a realizar investigaciones ambientales sobre geología, migración de materiales y edafología. Como resultado, para finales de la década de los cuarenta, ya se había identificado la acumulación de los radioisótopos en la zona y, como consecuencia, se comenzaron a gestionar investigaciones de ecología para conocer las afectaciones sobre los organismos.⁶⁰

De manera paralela, en 1946 se creó la Biology Division en el ORNL, a cargo de Alexander Hollaender de 1947 a 1966. La Biology Division se encargó de realizar investigación radiobiológica y de comenzar investigación en biología molecular. El estudio de los efectos genéticos y carcinogénicos de la radiación ionizante y de algunas sustancias químicas (como el óxido de etileno) permitió que se establecieran límites para la exposición humana a la radioactividad. De esta manera, en el ORNL la Biology Division se encargaría de la “investigación básica” de radiobiología y genética de la radiación, y la Health Physics Division se encargaría del monitoreo de la radiación y sus efectos en el entorno.⁶¹

Durante la década de los años cincuenta, la investigación de la Health Physics Division del ORNL fue orientada hacia el manejo y las implicaciones de los desechos radioactivos del laboratorio. En 1950 se autorizó la investigación del sistema de drenaje de la zona con la

⁵⁹ Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 3; Auerbach, “Evolution of ORNL’s,” 63-64; Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 3-4.

⁶⁰ Auerbach, “Evolution of ORNL’s,” 63-64; Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 4; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 1.

⁶¹ [Staff], “Fourty Years,” 6-10; Rader, “Alexander Hollaender’s,” 685-706.

finalidad de determinar el grado de acumulación de elementos radioactivos en los seres vivos, los sitios específicos de dicha acumulación y los daños sufridos por los seres vivos afectados. Asimismo, se hicieron esfuerzos por descontaminar los depósitos subterráneos de agua de la zona. Con todo, entre 1948 y 1953 se hicieron investigaciones en peces, pero los resultados no fueron considerados alarmantes.⁶²

No resulta sorprendente que cualesquiera que fueran dichos los resultados no parecieran alarmantes, considerando que la ABCC no lograba un consenso acerca de los efectos de largo plazo de la radiación; que los estudios biológicos en los sitios de pruebas de bombas atómicas (por ejemplo, el Trinity Site en Nuevo México, donde detonó la primera bomba atómica en 1945 y donde de 1947 a 1951 se hizo investigación sobre los efectos ambientales de la lluvia radioactiva⁶³ resultante) no eran concluyentes; y, además, que la AEC no consideraba serios los problemas de desechos y contaminación radioactiva. Fue hasta la prueba de la bomba termonuclear en el atolón de Bikini (1954) y el *Project Chariot* (un proyecto que se discutió de 1958 a 1961, que consistía en usar una bomba atómica para excavar un puerto en el extremo noroeste de Alaska) que surgieron serias preocupaciones al respecto en Estados Unidos e internacionalmente. Las distintas protestas ciudadanas y las preocupaciones de los ecólogos y biólogos a la AEC forzaron la realización tanto de investigaciones radiobiológicas de mayor profundidad como de investigaciones ecológicas. Sin embargo, la amplia legitimación de la ecología y la radioecología vinieron después, como mostraré más adelante. Tanto es así que, en 1955, Hollaender rechazó la posibilidad de

⁶² Cfr. Auerbach, "Evolution of ORNL's," 63-64; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 1-4.

⁶³ El término lluvia radioactiva traduce al término *fallout* en inglés, que comprende una forma particular de contaminación radioactiva que consiste en partículas radioactivas (componentes radioactivos o partículas irradiadas, por ejemplo, de suelo) similares al polvo que cuando hay alguna explosión nuclear o un accidente son llevadas a la atmósfera y van cayendo paulatinamente en forma de polvo o por medio de la lluvia; Encyclopaedia Britannica, "Fallout;" Odum, *Fundamentals*, 2ª ed., 474-77.

albergar en su División investigación ecológica y la investigación ecológica en el ORNL debió tener su propio edificio.⁶⁴

Por su parte, en la AEC se creó la Division of Biology and Medicine (DBM) en 1947, la cual se ocupó entonces primordialmente de estudiar los riesgos de la radiación para la salud humana. Para ello, se requirió de ecólogos que estudiaran las posibles implicaciones de la contaminación radioactiva en la cadena alimenticia, de la que el ser humano era considerado el tope. Posteriormente, al comienzo de la década de los cincuenta, la AEC se comenzó a preocupar por el destino e impacto de los desechos radioactivos, que entonces se disponían en almacenamientos subterráneos, por medio de efluentes con dosis controladas o en los océanos.⁶⁵ Esta preocupación hizo que la AEC comenzara a apoyar las investigaciones sobre los efectos de los efluentes radioactivos descargados desde los reactores, lo que a su vez impulsó la contratación de ecólogos, la proliferación de la investigación en radioecología, el aumento de presupuesto destinado a la investigación ecológica y la perspectiva de ecosistemas como aproximación dominante al fenómeno de la dispersión de la radiación.⁶⁶

No obstante el apoyo creciente de la AEC hacia la ecología, ésta era considerada una disciplina “suave” o no enteramente “científica”, particularmente en el medio de la AEC, dominado por “ciencias duras”. Pese a ello, algunos físicos prominentes como Karl Z. Morgan la consideraban esencial para la *health physics*, justificando de esta manera su existencia dentro de la Comisión.⁶⁷ La AEC, por su parte y como instancia gubernamental, tenía su propia agenda: la investigación en radiobiología y radioecología de la posguerra irían dirigidas a contrarrestar el creciente miedo a los riesgos de la radiación y a conocer las posibles consecuencias de un ataque nuclear a los E.U. Estos objetivos cobraron aún mayor relevancia cuando en 1949 la URSS realizó su primera detonación nuclear y una vez que, en

⁶⁴ Beatty, “Scientific Collaboration,” 215; Kwa, “Radiation ecology,” 218; Rotschild 499-500, 503-17; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 6; cfr. Hamblin, “A Dispassionate and Objective Effort” 147-77; cfr. Chadarevian, “Mice and the Reactor,” 707-35; cfr. Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 7.

⁶⁵ Kwa, “Radiation ecology,” 217; Drell, *Chronology*; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 2; Hamblin, “Hallowed Lords of the Sea,” 209-28.

⁶⁶ Creager, *Life Atomic*, 351; Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 4-5.

⁶⁷ Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 6-7.

1954, la prueba estadounidense *Castle Bravo* de la bomba termonuclear en Bikini (Islas Marshall) ocasionara daños sobre la tripulación del barco pesquero japonés *Daigo Fukuryū Maru*, lo que evidenció los alcances de estos dispositivos.⁶⁸

Sumado a ello, la estrategia de *Átomos para la Paz*, puesta en marcha por el presidente Dwight Eisenhower en 1953, aceleró la producción de armas nucleares, lo que a su vez incrementó la cantidad de desechos radioactivos resultado de la producción y prueba de bombas nucleares. Con ello, aumentó el impacto de la contaminación por radiación y volvió imperiosa la necesidad de investigación en ecología.⁶⁹ Al mismo tiempo, esta estrategia contribuyó a difundir los usos pacíficos y la investigación en torno a los materiales radioactivos y a la energía atómica. En 1954 se realizó una revisión al Acta de Energía Atómica (que limitaba estrictamente la exportación de materiales fisionables en aras de mantener el monopolio nuclear), lo que permitió que se desclasificaran algunos reportes de biólogos y ecólogos que trabajaban en los Laboratorios Nacionales, que se publicaran los resultados de sus trabajos internacionalmente y que, siguiendo al programa de *Átomos para la Paz*, los radioisótopos circularan más a nivel nacional e internacional. Estos factores y las políticas de internacionalización de la ciencia fueron decisivos en la propagación y validación de la radioecología y de la ecología de ecosistemas durante las décadas de los años cincuenta y sesenta.⁷⁰

⁶⁸ Creager, y Santesmases, "Radiobiology," 639-40; Creager, *Life Atomic*, 373; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 1-2; Kwa, "Radiation ecology," 218; Krige, "Atoms for Peace," 163; Homei, "The contentious death," 212-32; Medhurst, "Atoms for Peace," 576-77; Rothschild, "Environmental Awareness," 505-10. Hamblin menciona que incluso el reporte BEAR (Biological Effects of Atomic Radiation) de 1956 fue manipulado para minimizar los riesgos de la radiación proveniente de las pruebas atómicas; Hamblin, "'A Dispassionate and Objective Effort'," 147-77.

⁶⁹ Creager, "Timescapes," 88.

⁷⁰ Creager, *Life Atomic*, 374, 370; Creager, "Radioisotopes as political," 220-23, 228; Krige, "Atoms for Peace," 164-65. John Krige y Angela Creager profundizan en la internacionalización de la ciencia como política y en el rol de los radioisótopos dentro de la misma; Krige, "Atoms for Peace," 161-81; Creager, "Radioisotopes as political," 219-39.

Todas estas investigaciones apuntalaron el terreno para la posterior investigación en radioecología, en la cual jugó un papel de suma importancia el ORNL. A la investigación de laboratorio con radioisótopos se le sumó la investigación en ambientes naturales donde había tenido lugar alguna detonación nuclear, donde había desechos radioactivos, o donde la producción de radioisótopos artificiales generaba emisiones de radiación al ambiente. Esto permitió la creación de instrumentos de medición e investigación sobre las implicaciones dosimétricas, mutagénicas y contaminantes de los laboratorios y reactores nucleares, de sus desechos y de las pruebas atómicas en los Estados Unidos.⁷¹

De esta manera, al mismo tiempo que los radioisótopos representaban un riesgo a moderar desde la perspectiva biológica, su circulación amplió el espectro de la investigación biológica y ecológica. La proliferación nuclear generó condiciones para que las investigaciones sobre los efectos de la radioactividad se desarrollaran también en ambientes naturales, pero el potencial epistemológico de los radioisótopos se aprovechó además para *experimentos* en campo, en ecosistemas. Algunos de estos experimentos, como los de Evelyn Hutchinson, por ejemplo, consistieron en introducir radioisótopos (marcadores) a los sistemas naturales para observar el flujo de nutrientes y las cadenas tróficas a diversas escalas. Estas prácticas inicialmente se consideraron como parte de la radioecología, sin embargo, fueron cruciales para desarrollar, en nuevas direcciones y con nuevas herramientas, la noción de ecosistema y, con ello, la ecología de ecosistemas, como veremos a continuación.

⁷¹ Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 4; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 1-47.

B2. Radioecología. De lo nuclear a lo ambiental (1943 - *circa* 1970)

Desde comienzos de la década de 1950 y hasta 1970, la AEC fue la entidad que más soporte ofreció a la investigación ecológica. Inicialmente esta investigación se enmarcaba en la *health physics*, cuya orientación estaba claramente dirigida al estudio de los efectos de la radiación y su mitigación. Colateralmente, sin embargo, también fue necesario explicar la transferencia de materiales radioactivos en diversos sectores del ambiente, donde los radiomarcadores evidenciaron procesos ecológicos y nutrieron de esta manera la teoría ecológica. El soporte de la AEC hacia este tipo de investigación ecológica permitiría amortiguar ciertos efectos de la radiación al entorno –así como la visibilización de los mismos y su consecuente politización–, atender las crecientes preocupaciones internacionales por los efectos de la radiación y de la contaminación radioactiva, y legitimar las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en medio de la intensificación de la actividad bélica nuclear en los Estados Unidos.⁷²

El término de “ecología de la radiación” fue acuñado por el ecólogo Eugene Odum en 1956 para denominar la práctica ya existente de rastrear y experimentar con radioactividad para los fines ya mencionados. Esta vertiente de la ecología tenía como rasgo característico el enfocarse en la ecología aplicada, más que en la teórica y, por ende, en la solución de problemas.⁷³ Posteriormente, en 1964, el mismo E. Odum adoptó el término de “ecología

⁷² Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 1; Kwa, “Radiation ecology,” 215; Creager, *Life Atomic*, 373-74, 377; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 21; Rothschild, “Environmental Awareness,” 492-530.

⁷³ Kwa, “Radiation ecology,” 213; Creager, *Life Atomic*, 363. Aquí traduzco *radiation ecology* como “ecología de la radiación”, sin embargo, en general traduzco como “radioecología” tanto *radiation ecology* como *radioecology* indistintamente. Asker Aarkrog y Gennady G. Polikarpov mencionan que en sus comienzos ecología de la radiación y radioecología eran términos intercambiables, aunque en la actualidad “ecología de la radiación” se referiría al estudio de los “efectos de la radiación en individuos, poblaciones, comunidades y ecosistemas”, mientras que “radioecología” se referiría a el estudio de “la tasa de liberación de sustancias radioactivas al ambiente y la manera como las comunidades ecológicas y las poblaciones controlan la distribución de la radioactividad.” Aarkrog, y Polikarpov, “Development of Radioecology,” 17-30.

de sistemas” para referirse a la “nueva ecología”.⁷⁴ A continuación abordaré estas transiciones.

A comienzos de la década de 1950, la AEC decidió impulsar la investigación ecológica en sus Laboratorios Nacionales y, como parte de este impulso, aumentó notablemente el presupuesto destinado a ecología y se contrataron ecólogos.⁷⁵ En 1954, por ejemplo, el ORNL contrató a su primer ecólogo, Stanley Auerbach, para investigar la contaminación radioactiva producto de la disposición de desechos. Aunque ya el ORNL había sido de los pioneros en realizar investigaciones sobre este fenómeno desde la perspectiva ecológica, el programa de Auerbach impulsó de manera importante la investigación ecológica dentro del ORNL y, para fines de la década de 1960, este laboratorio ya estaba posicionado como uno de los principales centros de investigación en ecología.⁷⁶

En un inicio, cuando Auerbach ingresó al ORNL, realizó experimentos en el laboratorio sobre los efectos de radioisótopos sobre organismos vivos y estudió la circulación de los radioisótopos en el suelo y algunos organismos; con ello, integraba el enfoque de la *health physics* y de la circulación de sustancias radioactivas en el ambiente. Sin embargo, en 1955

⁷⁴ Kwa, “Radiation ecology,” 213; Odum, “New Ecology,” 15. Kwa distingue entre ecología de ecosistemas y ecología de sistemas; la ecología de sistemas sería una fracción o fase de la ecología de ecosistemas. Empero, este autor menciona que en los Estados Unidos “ecología de sistemas” en realidad se refiere a “ecología de ecosistemas” (idea que se ve reforzada por el uso de E. Odum del término: Odum, “New Ecology,” 15; mientras que Reichle y Auerbach sí distinguen ambos términos: Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 19, 21). Conforme a la distinción que hace Kwa, la ecología de ecosistemas comienza en 1953 con E. Odum, y tiene una orientación administrativa (orientada a objetivos) y general (“ciencia básica”). La ecología de sistemas, por otra parte, comenzaría en 1959 y está relacionada a Jerry Olson y otros (Bernard Patten, George Van Dyne, H. T. Odum), cuya labor se centró en el modelaje y la simulación de ecosistemas (más abstracta, menos orientada a objetivos específicos; con tintes tecno-optimistas, donde la administración puede o debe estar orientada tecnológicamente). Yo he procurado usar ambos términos conforme a tal distinción cuando observo diferencias, pero de manera genérica me refiero a la ecología de ecosistemas. La distinción no afecta estrictamente mi argumento en tanto mi estudio abarca ambas fases y sus implicaciones conjuntas, y en tanto la ecología de ecosistemas—incluso la de Eugene Odum— se nutre de manera importante de la ecología de sistemas; Kwa, “Radiation ecology,” 213-50; Kwa, “Representations of Nature,” 417.

⁷⁵ Kwa, “Radiation ecology,” 218-19.

⁷⁶ Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 2, 4, 9; Kwa, “Radiation ecology,” 216.

Auerbach fue presionado para realizar más trabajo de campo, pues el lecho del Lago White Oak fue drenado y quedó contaminado de cesio, cobalto y estroncio radioactivos, entre otros; también, se estimaba que el Río Clinch y posiblemente el Tennessee se encontrarían contaminados. La presencia de estos agentes permitiría rastrear los efectos de la radioactividad, tanto en organismos como en ecosistemas, dotando de condiciones realistas a las investigaciones y experimentos en ecología. Ante el reto que significaba comprender la dinámica del movimiento de los radioisótopos y el daño que generaban en los organismos, en el ORNL se adoptó un enfoque ampliamente experimental y se realizaron entonces numerosos experimentos en campo, a escalas crecientes, conforme avanzaba la década de 1960. En el lecho del Lago, por ejemplo, en 1957 se sembraron diversos cultivos para conocer su absorción de radioisótopos, sus flujos en las plantas, la nutrición de éstas y los efectos de la radiación sobre su desarrollo.⁷⁷

Esta metodología era congruente con los intereses de la AEC. En 1955, el ecólogo vegetal John N. Wolfe fue nombrado director de la Environmental Research Branch de la AEC. Wolfe impulsó las investigaciones radioecológicas bajo la forma de programas de investigación en universidades (a los que se habían integrado alrededor de 50 universidades a finales de la década de los cincuenta), en los que dominaban las investigaciones de campo por encima de las investigaciones de laboratorio.⁷⁸ De esta manera, desde el mismo seno de la AEC, la radioecología se fue consolidando como disciplina. Otro indicador de esta consolidación fue que en 1959 la unidad de ecología en la Health Physics Division en el ORNL pasó a ser la Sección de Radioecología, cuyo énfasis estaba en estudiar el transporte de radioisótopos y los efectos de la radiación.⁷⁹

⁷⁷ Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 8-17; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 5-6; Auerbach, "Evolution of ORNL's," 64-65; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 6, 9; Kwa, "Radiation ecology," 220.

⁷⁸ Auerbach, "Evolution of ORNL's," 64.; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 5; Kwa, "Radiation ecology," 218, 220; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 5.

⁷⁹ Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 19.

Cabe mencionar que la adopción de ciertas prácticas en radioecología estuvo relacionada con la búsqueda, por parte de los ecólogos (en particular del ORNL), del reconocimiento de la comunidad nacional de ecólogos y de sus colegas físicos de la AEC. Este fue el caso de la adopción del enfoque experimental relacionado con métodos matemáticos y físicos del uso de radioisótopos.⁸⁰ Asimismo, en el marco institucional de investigación y financiamiento de la AEC, las investigaciones en torno a la dispersión de radioisótopos eran incentivadas desde varios flancos: investigación ecológica por interés científico, respuesta a las preocupaciones mundiales crecientes por la contaminación generada por la energía atómica, respuesta a la diversificación de aplicaciones pacíficas de la energía atómica en el marco de *Átomos para la Paz* e, incluso, interés de la defensa nacional por simular escenarios de accidentes o ataques nucleares.⁸¹

Siguiendo esta línea, en las décadas de los años cincuenta y sesenta se realizaron internacionalmente múltiples experimentos para medir la absorción de radioisótopos por plantas y animales, así como sus flujos en ecosistemas, seres vivos, poblaciones o en interacción con el suelo, y sus efectos sobre la mortalidad o la fecundidad.⁸² En algunos casos, la justificación de dichos experimentos yacía en el estudio de la “higiene atómica de los cultivos” es decir, de la posible absorción potencialmente peligrosa de radioisótopos por parte de los futuros alimentos en circunstancias específicas; en la ampliación del

⁸⁰ Kwa, “Radiation ecology,” 217, 220; Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 8.

⁸¹ Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 8, 10, 13, 15, 20; Auerbach, “Evolution of ORNL’s,” 65, 68; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 20, 40-44; Taylor, “Technocratic Optimism,” 231-32; Entre la diversificación de “aplicaciones pacíficas” de la energía atómica, destaca el *Project Plowshare*, del cual era parte el *Project Chariot*, que buscaba desarrollar técnicas para usar explosivos nucleares en la remoción de materiales, para liberar espacios de construcción, fracturar rocas para extracción de gas, o construir canales y puertos; Rothschild, “Environmental Awareness,” 510-17; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 47.

⁸² La preocupación por la contaminación nuclear no estaba únicamente localizada en Estados Unidos; ejemplo de ello son una serie de experimentos en Francia sobre plantas en distintos ámbitos: un viñedo, una pradera de una granja, y cultivos de diversas hortalizas. Huguet et al., *Compte Rendu d’Expériences*; Gagnaire, *Absorption de Quelques Sels*. Auerbach documenta experimentos realizados en animales en Estados Unidos, en Rusia y en Gran Bretaña; Auerbach, “Ecology around a Reactor,” 25-27. Reichle y Auerbach documentan también preocupaciones radioecológicas en la Unión Soviética; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 14.

conocimiento sobre la absorción de los elementos radioactivos por el suelo y su movimiento en dicho medio; sobre la actividad metabólica y su periodicidad en ciertas plantas y cultivos; o sobre los efectos de la radioactividad sobre los procesos vitales.⁸³ De 1962 a 1963, se llevó a cabo un experimento de escala considerable en Oak Ridge, que consistió en etiquetar un bosque con cesio-137, lo que permitió identificar agentes dispersores de radiación, e identificar y cuantificar procesos del ciclo de nutrientes del bosque, como el rol de los descomponedores (insectos y bacterias) del suelo del bosque y las tasas de reciclamiento de nutrientes en éste.⁸⁴

Los descubrimientos de los efectos y circulación de la radiación configuraron utilidades técnicas y estrategias que, utilizando radioisótopos, permitieron aumentar la productividad, inducir mutaciones favorables para ciertos objetivos, e incluso controlar o erradicar plagas.⁸⁵ Algunos de los resultados de la investigación básica fueron reivindicados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (creado en 1957) como parte de los beneficios de los usos pacíficos de la energía atómica. De esta manera, la producción de radioisótopos para usos pacíficos opacó, en la esfera pública, la producción de insumos para armamento nuclear.⁸⁶

En ecología, dichas investigaciones permitieron delimitar a los ecosistemas y rastrear procesos biogeoquímicos, reciclaje de nutrientes, estrés y alteraciones de la productividad biológica, así como la sensibilidad de especies, poblaciones y ecosistemas, entre otros

⁸³ Chadarevian, "Mice and the Reactor," 707-35; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*; Auerbach, "Ecology around a Reactor," 23-28; Russell, y Preston, "Genetics Research," 12-15; Auerbach, "Evolution of ORNL's," 62-71; Curry, *Evolution Made to Order*.

⁸⁴ Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 32-35; Auerbach, "Evolution of ORNL's," 65-66; Auerbach, Olson, y Waller, "Landscape Investigations," 761-64; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 12.

⁸⁵ En el sudeste de Estados Unidos se empleó la técnica de macho-estéril para erradicar a la mosca de gusano barrenador del ganado (*Cochliomyia hominivorax*), desde 1957 y hasta comienzos de los años ochenta, cuando se logró exterminar. Dicha técnica consiste en criar moscas macho e irradiarlas con radiación gamma para hacerlas estériles, y posteriormente ir liberando al ambiente un número de éstas que supere a los nativos para sabotear la reproducción, que es monógama; Lindquist, *Insect Population*. Para más información sobre los experimentos previos a la erradicación del gusano en Estados Unidos; y sobre la historia del desarrollo de su erradicación en Estados Unidos y México, ver Novy, "Screwworm control."

⁸⁶ Lindquist, *Insect Population*, 5; IAEA, *Radiation and Radioisotopes*, 1; Creager, "The industrialization of RI," 143-67.

procesos. Así, las investigaciones con radioisótopos como marcadores constituyeron los cimientos del análisis de sistemas aplicado a la radioecología, pues permitieron delimitar a los ecosistemas desde una perspectiva física y de flujos. Una vez que fue posible identificar al ecosistema como entidad material –y no sólo teórica–, se requirió de otro tipo de herramientas heurísticas que permitieran representarlos. Notablemente, la cibernética aportó un marco conceptual e interpretativo para los ecosistemas, de forma que éstos pasaron de ser concebidos como organismos a ser concebidos como máquinas y sistemas cibernéticos.⁸⁷

Al cambio representacional le sucedió el cambio conceptual y los ecólogos comenzaron a pensar y representar a los ecosistemas por medio de modelos matemáticos, computacionales y simulaciones. Inicialmente, este trabajo fue llevado a cabo por Jerry Olson, Bernard C. Patten y George Van Dyne en el ORNL, y H. T. Odum. La incorporación de estas prácticas dotó a los ecosistemas de nuevas dimensiones teóricas y permitió ampliar su comprensión, así como proyectar escenarios de su desarrollo, mismos que a su vez permitirían una administración e intervención más eficiente y efectiva. Al mismo tiempo, estas nuevas prácticas legitimaron los métodos de la ecología entre otros científicos,⁸⁸ y otros saberes.

De esta manera, el uso y desarrollo de las matemáticas y la computación en la radioecología potenciaron su orientación práctica, técnica y dirigida a la resolución de problemas, a lo que se sumó un enfoque más abstracto y administrativo, dando paso a una disciplina práctica apoyada en una heurística abstracta y orientada a la generación de teorías generales y a la administración de los ecosistemas: la ecología de ecosistemas.⁸⁹

⁸⁷ Cfr. Kwa, "Representations of Nature," 413-42; Patten, y Odum, "Cybernetic Nature," 886-95.

⁸⁸ Kwa, "Radiation ecology," 238-45; Taylor, "Technocratic Optimism," 226-33. Es posible comprender a esta sucesión de cambios representacionales e interpretativos en torno a los ecosistemas como objetos teóricos y de intervenciones diversas a través del concepto de *referencia circulante* y *traducción* de Bruno Latour. En el capítulo E profundizo al respecto. Latour, *Pandora's Hope*, capítulos 2 y 3.

⁸⁹ Kwa, "Radiation ecology," 213, 217-18.

B3. Ecología de ecosistemas: representar, intervenir, apropiar

La ecología de ecosistemas es una disciplina que tiene como unidad de análisis a los ecosistemas, comprendidos como unidades básicas estructurales y funcionales en la naturaleza, conformando cada unidad un *todo* complejo. Cada unidad se define y delimita por la dinámica de circulación de materia y los flujos de energía, donde operan mecanismos regulatorios (de *feedback* o retroalimentación) que permiten mantener en equilibrio dinámico (homeostasis) a la comunidad ecológica. La mirada macroscópica que aporta el ecosistema como unidad de análisis, a diferencia de la población o la comunidad, permite identificar rasgos generales del sistema, como procesos, tendencias y patrones. De esta manera, en la ecología de ecosistemas se identifican los procesos generales y no los muy particulares, lo que conduce a una comprensión más abstracta de la naturaleza.⁹⁰

En este apartado argumento que esta perspectiva tiene (al menos) cuatro consecuencias importantes para la construcción de los ecosistemas y, por ende, de la vida; y que éstas se deben tanto al cauce epistemológico que conduce a la ecología de ecosistemas, como al contexto histórico en el que se enmarca el surgimiento de esta disciplina, puesto que la ecología de ecosistemas ha sido un agente crucial en la construcción de los ecosistemas.

Tales consecuencias son:

- a. Que el enfoque profundamente abstracto que adopta la ecología de ecosistemas descompone al ecosistema en *partes* interrelacionadas y dinámicas para conocerlas y representarlas “mejor”. Tal fragmentación tiene lugar incluso cuando a partir de ella se genera una visión panorámica;

⁹⁰ Kwa, “Radiation ecology,” 214; Odum, “New Ecology,” 15; Kingsland, *Evolution*, 183, 190-91, 206. El *feedback* o retroalimentación es un proceso por el cual una parte del sistema responde a cambios en otra. La información se transfiere de una parte del sistema a otra a través de un sistema de comunicación. El *feedback* es un mecanismo que permite tomar decisiones e implementar acciones para definir o corregir una situación. Wiener, “Cybernetics,” 3-4.

- b. Esta fragmentación, al implicar una desconexión de la materialidad para convertirse en una abstracción, desconecta heurísticamente al investigador de la materialidad del ecosistema, lo que implica diversas *referencias circulantes* y *traducciones*;⁹¹
- c. El conocimiento generado de esta manera facilita la intervención. No es sólo que la intervención permita conocer, sino que la intervención genera más intervención. Cuando a este poder se suma cierta responsabilidad ambiental y social por parte de los ecólogos, la disciplina y sus practicantes adoptan una orientación administrativa de los ecosistemas;
- d. La capacidad de control y administración de los ecosistemas, sumado al poder tecnológico creciente y al deseo de ejercerlo, resultan en diversos intentos de creación e intervención de ecosistemas. Tales intentos aumentan de escala con el tiempo y, dependiendo del contexto, llegan hasta *re(-)creaciones* de la biósfera misma.

Estos diversos componentes de la práctica ecológica de la segunda mitad del siglo XX imprimen sobre los ecosistemas fuerzas de representación y fuerzas de intervención que se encuentran en continuo diálogo y co-construcción. Estas fuerzas implican la aprehensión de los ecosistemas mismos por el ser humano, la acción sobre ellos y, por ende, su apropiación; acción y actitud nada desdeñable cuando a la apropiación sigue más intervención.

En este apartado continuaré abordando la historia de la ecología de ecosistemas, que evidencia constantemente las consecuencias y fuerzas sobre los ecosistemas que acabo de mencionar. Este apartado se continua directamente con el capítulo C, donde abordo de manera específica algunas de las intervenciones-creaciones derivadas de la ecología de ecosistemas y sus implicaciones, y donde es posible observar cada una de las cuatro consecuencias.

⁹¹ En el capítulo E profundizo sobre estas nociones.

Eugene P. Odum identifica cinco raíces principales de la ecología de sistemas: a) la filosofía e historia naturales; b) los estudios de ecología fisiológica y la noción de ‘factores limitantes’; c) la ecología de poblaciones; d) la ecología de comunidades; y e) los estudios de dinámicas tróficas, ciclos biogeoquímicos y bioenergética, relacionados a la radioecología.⁹² Es esta última la que posibilitó el enfoque metodológico de la ecología centrada en ecosistemas. Aunque Tansley propuso este enfoque y el término en 1935, el concepto fue usado de manera generalizada hasta la década de 1950, una vez que los desarrollos en radioecología permitieron visibilizar los ciclos biogeoquímicos y los flujos de energía, factores que contribuyen a delimitar físicamente un ecosistema. De esta manera, la radioecología es precursora directa, tanto en la práctica, como en la teoría, de la ecología de ecosistemas. Además, la ecología de ecosistemas surgió en un contexto histórico y político similar al de la radioecología: en el seno de los Laboratorios Nacionales de la AEC, donde habría de atender preocupaciones e intereses relacionados con la política estadounidense, en particular con el desarrollo nuclear. Sin embargo, la ecología de ecosistemas también surgió de intereses y preocupaciones divergentes a los intereses políticos, pues también constituye –sobre todo a partir de la década de 1960– punto de convergencia de intereses científicos y sociales.⁹³

⁹² Odum, “New Ecology,” 14. En esta obra, E. Odum acuñó el término de “ecología de sistemas”. De alguna manera, en este texto abordo algunas de estas cinco raíces. Me he referido en el apartado A2 a la ecología en su forma histórica y nutriéndose de la historia natural y la biogeografía; y a la ecología fisiológica o autoecología, de la que Frits Went es un caso y a la vez permite comprender e ilustrar la noción del mundo autónomo (materializado en, por ejemplo, naves espaciales, ambientes controlados, o la “Astronave Tierra”) y con “factores limitantes” (capítulo C). Asimismo, me refiero en el apartado A2 a la perspectiva de la comunidad biótica como un superorganismo dinámico; y en los apartados A2 y B profundizo en los estudios de ciclos de materia y flujos de energía que dan materialidad a la noción de ecosistema.

⁹³ Kwa, “Radiation ecology,” 213-50; Poole, “What Was Whole,” 213-35; Kingsland, *Evolution*, 185-86, 189, 192. Chunglin Kwa identifica una serie de movimientos de la radioecología hacia la ecología de sistemas, en sus palabras, una “revolución” en ecología. El primer movimiento lo ubica en 1953, relacionado con Eugene Odum (posiblemente en relación con la intención de construir una teoría general de la ecología); el segundo en 1959 con Jerry Olson con el modelaje y la simulación de sistemas; Kwa, “Radiation ecology,” 248. Siguiendo a Sharon Kingsland y a Sabine Höhler, yo identificaría un tercer movimiento: en 1966, con la popularización de la idea de la Astronave Tierra y una vez que en 1962 Rachel Carson con su obra *Primavera Silenciosa* activó intensivamente el movimiento ambientalista (del que la Astronave Tierra es prolongación) en los Estados Unidos y los ecólogos se unieron a éste; con lo que el activismo ambiental se constituyó en un puerto importante de la ecología de ecosistemas; Höhler, *Spaceship Earth*, 60-62, 70-71; Kingsland, *Evolution*, 199-203; cfr. Rothschild, “Environmental Awareness,” 517-29.

Entre los intereses y preocupaciones de los ecólogos de la posguerra se encontraba el deseo de hacer de la ecología una ciencia “dura” –motivación que les impulsó a incorporar en su práctica la perspectiva de sistemas y metodologías de las ciencias “duras”, como la medición precisa, la experimentación, el uso de matemáticas aplicadas, principios de la física (como las leyes de la termodinámica), principios y herramientas de la cibernética y de la computación–. También, el interés por abordar el impacto de la acción humana sobre el planeta, la creencia de que la ecología podría ser una ciencia que permitiría dicho abordaje y que posibilitaría la atención de problemas relacionados, así como la preocupación, como ecólogos, de su responsabilidad social y ambiental.⁹⁴

Los hermanos Eugene Pleasants Odum y Howard Thomas Odum fueron importantes agentes que condujeron estas preocupaciones e intereses y les dieron cauce en el desarrollo de la ecología de ecosistemas. Ambos se formaron parcialmente con Evelyn Hutchinson, de modo que se familiarizaron con algunas prácticas de rastreo de radioisótopos y con los ciclos biogeoquímicos que Hutchinson postulaba, así como con el trabajo de Lindeman. Thomas Odum se concentró en el estudio de procesos biogeoquímicos y relaciones energéticas en los ecosistemas, mientras que Eugene Odum, con estudios en ecología fisiológica, se enfocó durante las décadas de 1950 y 1960 en la elaboración de la teoría básica de la ecología de ecosistemas, nutriéndose del análisis de sistemas, la cibernética (con los conceptos de *feedback* y homeostasis), los flujos y ciclos de materia y energía.⁹⁵

Eugene Odum se inició en la radioecología a comienzos de la década de 1950, cuando Howard Odum, quien entonces estudiaba con Hutchinson, lo introdujo al estudio del ambiente como sistema. Eugene se escribía con Hutchinson, al tiempo que llegó a sus manos

⁹⁴ Kingsland, *Evolution*, 179; 183-87, 189, Kwa, “Radiation ecology,” 238-45; Taylor, “Technocratic Optimism,” 226-33; Rothschild, “Environmental Awareness,” 492-530; cfr. Odum, *Fundamentals*.

⁹⁵ Kwa, “Radiation ecology,” 216, 220-24; Kingsland, *Evolution*, 189, 194-95; Rothschild, “Environmental Awareness,” 502-3; Wiener, “Time, Communication,” 197-220. Eugene Odum publicó en 1968 un recuento histórico breve de algunos pasos teóricos y experimentales en el estudio de los flujos de materia y energía a diversas escalas en la naturaleza, que parten desde la identificación de cadenas alimenticias y se fueron sumando –desde una perspectiva acumulativa y evolutiva de la ciencia, la de E. Odum– hasta llegar a la ecología de sistemas; Odum, “Energy Flow in Ecosystems,” 15-16.

un reporte clasificado de Hanford acerca de las investigaciones sobre bioconcentración de isótopos radioactivos en organismos y ambientes acuáticos que se llevaban a cabo ahí desde 1945, todo lo cual lo interesó profundamente.⁹⁶

A raíz de ello, Eugene Odum, quien desde 1940 trabajaba en la Universidad de Georgia, solicitó realizar estudios ecológicos en la Savannah River Plant Reservation, donde se construiría una planta nuclear. En 1951 la AEC aprobó su solicitud y comisionó a la Universidad de Georgia para realizar estudios ecológicos bajo la dirección de E. Odum. En este momento, su investigación no consideraba aspectos radioecológicos y se concentró en el estudio ecológico de las características del ecosistema para, eventualmente, confrontarlas con el impacto de la planta nuclear. En 1954 se amplió el presupuesto para la investigación ecológica en este sitio y se creó el Savannah River Ecology Laboratory en 1961.⁹⁷

Para 1953, E. Odum había formulado una teoría general de la ecología y publicó su libro *Fundamentals of Ecology*, que difundió el concepto de ecosistema y lo colocó como central en el quehacer de la ecología. Esta obra fue pensada como un libro de texto y logró impulsar la investigación en ecología de ecosistemas, otorgándole un aparador y una audiencia. En esta obra, E. Odum describe a los ecosistemas en términos de flujos de materia y energía, de ciclos biogeoquímicos, de relaciones de *feedback*, y de mecanismos de homeostasis. Con ello, se consolidó una perspectiva fisicalista y mecanicista de los ecosistemas. En esta obra, E. Odum, al mismo tiempo que establece generalizaciones y abstracciones, a través de múltiples ejemplos demuestra cierta correspondencia entre la teoría y la materialidad en campo, relaciones que tienden a perderse con la progresiva sistematización de la información y la simulación cibernética.⁹⁸

⁹⁶ Creager, *Life Atomic*, 375, 366, 369; Kwa, "Radiation ecology," 230; cfr. Kwa, "Radiation ecology," 218.

⁹⁷ Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 8; Kwa, "Radiation ecology," 221; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 1-2; Kingsland, *Evolution*, 193, 219, 227-33; Rothschild, "Environmental Awareness," 503.

⁹⁸ Kwa, "Radiation ecology," 224-29; Golley, *History of the Ecosystem*, 62; Rothschild, "Environmental Awareness," 526-27; Odum, *Fundamentals*. Es importante mencionar que H. T. Odum colaboró con Eugene en dos de los capítulos de la primera edición de los *Fundamentals*, el 4, titulado "Principles and Concepts Pertaining to Energy in Ecological Systems" y el 6, titulado "Principles and Concepts Pertaining to Organization at the Species Population Level."

En 1954, después de la prueba *Castle Bravo* en Bikini y el incidente con el barco japonés *Daigo Fukuryū Maru*, la AEC solicitó a E. Odum realizar un estudio ecológico en uno de los atolones de las Islas Marshall. Eugene invitó a colaborar a Thomas y ambos estudiaron los flujos de energía en el arrecife de coral, donde observaron los efectos de la lluvia radioactiva.⁹⁹ En 1957, E. Odum decidió mejorar su formación en radioecología, de modo que pasó varios meses realizando estudios de radioecología con la Universidad de California en Los Ángeles, en el Nevada Test Site, y en Hanford Works. Con esta formación, Eugene revisó y amplió su libro sustancialmente e incluyó (en una segunda edición, de 1959) un capítulo entero dedicado a radioecología, propagando aún más la perspectiva de ecosistemas, la radioecología y la ecología de ecosistemas.¹⁰⁰

Mientras tanto, en 1954, Stanley Auerbach, quien como vimos fue el primer ecólogo contratado en el ORNL, centraba su investigación radioecológica en el estudio de poblaciones y comunidades, hasta que leyó el libro de E. Odum. Después de hablarlo con E. Odum, decidió centrar su programa de investigación en ecología de ecosistemas. Odum respaldó a Auerbach al momento de presentar su nuevo programa a la administración del ORNL y de la AEC, y Odum pasó a ser consultor de la División donde Auerbach se encontraba. De esta manera, el enfoque de ecosistemas se introdujo en el ORNL. Sin embargo, este enfoque tuvo su giro particular en Oak Ridge, pues Auerbach y su equipo (al que se incorporó Jerry Olson en 1958, Bernard C. Patten en 1963, y George Van Dyne y David Reichle en 1964) tuvieron que adaptar su investigación, para legitimar su ciencia en su contexto de “ciencias duras”. Así, en el ORNL la investigación se centró en el enfoque cuantitativo fisicoquímico y los modelos de simulación.¹⁰¹ A partir de 1963, el ORNL se

⁹⁹ Kingsland, *Evolution*, 194; Gay, *Silwood Circle*, 142; Rothschild, “Environmental Awareness,” 509, 519.

¹⁰⁰ Kwa, “Radiation ecology,” 230; Creager, *Life Atomic*, 363, 375; Kingsland, *Evolution*, 189-90, 195; Rothschild, “Environmental Awareness,” 519; Odum, *Fundamentals*, 2ª ed.

¹⁰¹ Kwa, “Radiation ecology,” 220-24, 235-36, 238; Kingsland, *Evolution*, 193; Bocking, “Ecosystems, Ecologists,” 8; cfr. Patten, “Introduction to the Cybernetics,” 221-31.

volvió un centro de educación en ecología de sistemas y también un centro importante de investigación en ecosistemas para finales de los años sesenta.¹⁰²

Estudiando el caso de Eugene Odum y de S. Auerbach, resulta claro que el contexto institucional del desarrollo de la ecología tuvo un peso importante en estas décadas. En el ORNL y en el seno de la AEC, la ecología debía tener una orientación práctica, estar mayoritariamente orientada a la resolución de problemas y al abordaje técnico y matemático de los procesos ecológicos, generalmente en torno a problemas de contaminación radioactiva, lluvia radioactiva y manejo de residuos nucleares. En este contexto, además, los ecólogos tenían que demostrar su valía ante la AEC, que les financiaba, y ante sus colegas de *health physics* y ciencias exactas. Por otra parte, en el contexto académico de E. Odum, aunque permeado por la AEC, la ecología adquirió legitimidad por la robustez teórica que adquiriría con los años y por la incorporación de rigurosidad en alguna forma similar a la de la física. Esto implicó que los ecólogos en este contexto tuvieron mayor libertad de desarrollar sus agendas de investigación y, por ende, la búsqueda de utilidad práctica inmediata no fue imperativa. Asimismo, este contexto permitió que los ecólogos se sumaran más abiertamente a la crítica antinuclear desde los años cincuenta y al ambientalismo emergente de la década de 1960.¹⁰³

Considerando que la contaminación radioactiva posibilitó que los ecólogos desentrañaran la dinámica de los ecosistemas y que muchos de sus experimentos consistieron en contaminar por medio de radioetiquetar elementos de los ecosistemas, resulta interesante que el mismo conocimiento generado de esta manera se empleara después para hacer críticas rotundas al uso de tecnologías nucleares. Esta transición evidencia el poder creciente de la ecología dentro de su contexto institucional y social, así como la diversidad de intereses entre los ecólogos. Al mismo tiempo, su poder de objeción evidencia el poder del conocimiento

¹⁰² Auerbach, "Evolution of ORNL's," 65-66; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 2; Kingsland, *Evolution*, 193; Rothschild, "Environmental Awareness," 527.

¹⁰³ Rothschild, "Environmental Awareness," 517-29; Cfr. Kwa, "Radiation ecology," 235-38; Cfr. Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 16-18. Sobre el movimiento ambientalista detonado por Rachel Carson y su *Primavera Silenciosa*, ver Kingsland, *Evolution*, 199-200.

mismo generado por la ecología y la retórica que le acompañaba; marco a partir del cual los ecólogos adoptaron la responsabilidad que consideraban que su conocimiento les confería. Bajo esta lógica, ellos tendrían las herramientas para juzgar el impacto ambiental de la acción humana y para tomar las decisiones que lo minimizaran o amortiguaran, condicionando la acción individual, colectiva y/o política; incluso si ello significaba objetar a proyectos y acciones justificadas en aras de la seguridad o la defensa nacional en plena Guerra Fría. Este poder se trasladó también a cierta apropiación de los objetos de estudio, donde el ecólogo no sólo sería capaz de comprender al ecosistema, sino además de diseñarlo y manipularlo, como veremos más adelante.¹⁰⁴

Eugene Odum ilustra muy bien la responsabilidad y estatura que asumen algunos ecólogos a partir de entonces, cuando dice: “[s]i los biólogos no están a la altura del desafío, ¿quién asesorará en la gestión del medio ambiente del hombre – los técnicos que tienen una gran habilidad, pero no entendimiento, o los políticos que no tienen ninguna de las dos cosas?”,¹⁰⁵ con lo que dota a la ecología de tintes subversivos y catapulta así la relevancia de la ecología para la sociedad.¹⁰⁶

La expansión de la aplicación de la ecología de ecosistemas a problemas prácticos está íntimamente relacionada al desarrollo de nuevos métodos, que se alinean con la búsqueda de principios y teorías generales, y con la progresiva conceptualización mecanicista de las relaciones y procesos en los ecosistemas. Algunos de estos métodos son el empleo de radiotrazadores, matemáticas aplicadas (como investigación de operaciones y cibernética), modelaje computacional y análisis de sistemas¹⁰⁷. La matematización impulsó a la ecología

¹⁰⁴ Cfr. Rothschild, “Environmental Awareness,” 517-29; Kingsland, *Evolution*, 187, 201, 203, 206, 218.

¹⁰⁵ Odum, “New Ecology,” 16.

¹⁰⁶ Kingsland, *Evolution*, 201, 203.

¹⁰⁷ El análisis de sistemas es un método que consiste en simplificar el problema, buscando identificar sus generalidades, sus propiedades globales y dinámicas centrales: se descompone, se identifica, se elige, se prioriza y entonces se actúa. Comienza con un modelo matemático del sistema y un objetivo cuantificable, luego se desarrolla un método computacional para elegir entre acciones alternativas. Estas prácticas fueron desarrolladas en el contexto de la Segunda Guerra Mundial y de la Guerra Fría para, por ejemplo, planificar bombardeos estratégicos; Kingsland, *Evolution*, 213-14.

de manera particular, debido a que su adopción se enmarcó en: a) la búsqueda de los ecólogos del reconocimiento de su disciplina; b) la proliferación de ámbitos científicos donde confluyeron diversas disciplinas, de forma que la ecología se nutrió de otras perspectivas; c) un contexto en el que la biología molecular estaba despegando (durante la segunda mitad de la década de 1950) y haciendo competencia por recursos e investigadores a la ecología y, por ende, la matematización se vio como un medio para hacer más rigurosa y atractiva científicamente a la ecología; d) la creciente necesidad de los ecólogos por desarrollar herramientas que facilitaran la organización y procesamiento de datos; y e) el reconocimiento de la función heurística de los modelos en la descripción y predicción de procesos, con lo que el poder explicativo de la ecología superó lo descriptivo y llegó hasta lo predictivo, un estándar importado desde la física.¹⁰⁸

Al mismo tiempo, el uso y desarrollo de los ecólogos de estos campos de las matemáticas aplicadas condujo a una nueva perspectiva en ecología, con énfasis en la solución de problemas y la toma de decisiones sobre una base cuantitativa y basada en simulación y modelaje. Esta forma de pensamiento condujo a que las preguntas en ecología y la forma de responderlas cambiaran. Por ejemplo, el modelaje exige partir de establecer objetivos específicos en relación con la solución de un problema, para posteriormente considerar los recursos disponibles y las limitantes del sistema, y finalmente modelar interacciones para seleccionar la mejor alternativa. En términos prácticos este procedimiento resulta eficiente; sin embargo, implica de fondo reducir el sistema a sus rasgos, simplificar el problema y *transformar*¹⁰⁹ el ecosistema al lenguaje del computador. La epistemología es distinta y, con ella, el ecosistema se transforma en una representación que cabe en el molde de una cierta tecnología.¹¹⁰

¹⁰⁸ Gay, *Silwood Circle*, 118-34, 143; Kingsland, *Evolution*, 209, 211, 212, 215; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 19-20.

¹⁰⁹ Aquí me refiero a la transformación de los objetos cuando hay una referencia circulante, conforme a la teoría de Bruno Latour, en la que profundizo en el capítulo E. Ver Latour, *Pandora's Hope*, capítulo 2.

¹¹⁰ Kingsland, *Evolution*, 213-15. Este proceso es perfectamente congruente con la descripción de la referencia circulante latouriana. Un ejemplo de modelo de un ecosistema de pradera se puede encontrar en Carl J. Walters, "Systems Ecology: the systems approach and mathematical models in ecology," en Odum,

Este cambio epistemológico implica también un cambio ontológico. Para solucionar problemas con estas metodologías es necesario reducir al sistema a sus rasgos, fragmentarlo, simplificarlo y seleccionar sólo algunos; estos rasgos se diagraman para que se conformen a la operación de una máquina y, con el computador como mediador, se toman decisiones sobre un ecosistema que está en otra dimensión de la realidad. Este proceso no sólo implica múltiples *traducciones*, sino que convierte al ecosistema en **una entidad distinta**, en una red o un circuito, en un objeto *fabricado* desde la ciencia y la tecnología. De esta manera, la representación del ecosistema –primero como un organismo, después como flujos y mecanismos– se convierte en una intervención epistemológica. Ésta, a su vez, se representa luego en diagramas y redes, para finalmente intervenir al conformar el ecosistema a la teoría y a la traducción, en una práctica científica que, en bucles, representa para intervenir e interviene para representar.¹¹¹

Este tipo de construcciones de los ecosistemas comenzaron a finales de la década de los cuarenta, con la introducción de la cibernética en su estudio que, sumada a los radiotrazadores, permitía identificar mecanismos de *feedback* y procesos de homeostasis regulados por éstos. A través de estas herramientas, la cibernética potenció la capacidad de intervención de la persona científica sobre los ecosistemas. Por ejemplo, para detectar el *feedback* existente en un ecosistema sería necesario coleccionar múltiples datos por un largo periodo de tiempo y, al analizarlos, se expondría la dinámica de los sistemas. A partir de ello, se podrían construir o manipular relaciones de *feedback* y diseñar mecanismos que permitieran intervenir en la dinámica natural e, incluso, en la social.¹¹²

Fundamentals of Ecology, 3ª ed., 286. En este caso, el modelo compartimental (a) representa por medio de un diagrama de flujo a la pradera como un complejo de compartimentos de energía (raíces, hojas, materia inerte, residuos) a los que se asignan parámetros y valores obtenidos experimentalmente; el modelo matemático (b) representa por medio de fórmulas matemáticas las interacciones estacionales entre estos compartimentos; y el gráfico resultante (c) ilustra en un plano cartesiano la concordancia entre la predicción del modelo y la observación en campo del comportamiento estacional de los compartimentos.

¹¹¹ Cfr. Kingsland, *Evolution*, 215.

¹¹² Taylor, "Technocratic Optimism," 221-23. En el capítulo E profundizo sobre las implicaciones tecnocráticas de estos supuestos. Lisa Garforth argumenta que la intervención sobre los ecosistemas a través de la

Por otra parte, el enfoque funcional de la cibernética y la experimentación por medio de radiotrazadores facilitó el reconocimiento de principios funcionales generales de los ecosistemas, tales como procesos energéticos, circulación de nutrientes, regulación ecológica, nichos ecológicos, medidas de diversidad, entre otros. En el ORNL estas herramientas permitieron desarrollar modelos de simulación hacia finales de la década de 1950, gracias a que en 1958 Jerry Olson se integró al equipo de Auerbach. Olson fue pionero en la matematización de procesos ecosistémicos y su modelación. En 1963, se sumó al equipo Bernard C. Patten y en 1964 George Van Dyne, inaugurando, junto con H. T. Odum, la ecología de sistemas.¹¹³

La ecología de sistemas tendría entonces como distintivo el que su unidad básica de estudio serían los ecosistemas, pero además buscaría representarlos a través de modelos computacionales que permitieran simular su comportamiento, analizarlos y administrarlos de manera óptima. El International Biological Programme (IBP, 1968-1974) dotó a la ecología de sistemas de un foro para ejercer influencia internacional, promoverse, legitimarse y desarrollarse de manera intensiva. La fracción estadounidense en ecología en el IBP, donde intervino el ORNL, se orientó hacia desentrañar los rasgos principales de los ecosistemas para desarrollar una teoría sintética de los ecosistemas. De esta manera, se promovió el enfoque de sistemas y se sentó un precedente para nuevas formas de financiamiento de la ecología (fuera de la AEC, como la National Science Foundation y las universidades) que la impulsarían en décadas subsecuentes.¹¹⁴

La ecología de sistemas buscaba una teoría general que explicara la dinámica de los ecosistemas y, para ello, se allegó de diversas herramientas. Bernard Patten, por ejemplo, a finales de la década de los cincuenta elaboró análisis ecosistémicos a partir de teorías físicas

cibernética y el modelaje también auxilió a que se aprehendiera a la Tierra como sistema y de esta forma se comprendiera la crisis ecológica; Garforth, "Environmental Futures," 238-57.

¹¹³ Conforme a la distinción discutida en la nota 74. Kwa, "Radiation ecology," 237-38, 246; Reichle y Auerbach, *U.S. Radioecology Research*, 21; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 11, 13-14; Odum, "New Ecology," 14-15; Kingsland, *Evolution*, 186.

¹¹⁴ Kwa, "Radiation ecology," 245-48; Kwa, "Representations of Nature," 413-42; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 22-32.

(como las leyes de la termodinámica), cibernéticas y de la teoría de la información. Dichos análisis lo condujeron a formular principios generales bajo la forma de modelos matemáticos y ecuaciones que permitieron evaluar las condiciones de los ecosistemas, su dinámica y sus prospectivas.¹¹⁵

Estas abstracciones tienden zonas de intercambio y puentes entre entidades, conceptos biológicos y teorías, lo que posibilita abordajes distintos, asociados a nuevas prácticas representacionales. Así, el cambio que implicó pensar a los ecosistemas en términos de sistema (con mecanismos, *feedback*, entradas y salidas, materia y energía) profundizó el distanciamiento del ecosistema del organicismo y del vitalismo. H. T. Odum, por ejemplo, adoptó la manera cibernética e ingenieril de pensar a los ecosistemas y se centró en el estudio de la transferencia de energía en niveles tróficos en el sistema. Derivado de ello, para representarlos, desarrolló diagramas de flujo, circuitos eléctricos e, incluso, en 1960 un modelo hidráulico del funcionamiento de los ecosistemas, basado en la simbología de la ingeniería eléctrica.¹¹⁶ Patten, por otra parte, se enfocó en el flujo de energía a través de niveles tróficos y la relación que guarda éste con la entropía, la entalpía y la neguentropía en el ecosistema.¹¹⁷

La producción de estas prácticas representacionales se aceleró drásticamente en las décadas de 1960 y 1970, auxiliada por la computadora electrónica y las matemáticas aplicadas. Estas prácticas manifiestan las relaciones epistémicas entre los ecosistemas, los flujos de energía y materia, y las representaciones abstractas por medio de las que aprehendemos la

¹¹⁵ Patten, "Introduction to the Cybernetics," 221-31.

¹¹⁶ Kingsland, *Evolution*, 195; Taylor, "Technocratic Optimism," 226-29.

¹¹⁷ Patten, "Introduction to the Cybernetics," 221-31; Taylor, "Technocratic Optimism," 221, 222, 225. Estos conceptos serán centrales en la ecología de sistemas a partir de entonces. De manera muy general, la entropía es una medida del desorden en el ecosistema, esto es, del consumo de energía para los procesos ecosistémicos, lo que deriva en una pérdida de información, pues esta energía consumida ya no servirá para otros procesos. La neguentropía (entropía negativa) es el orden en el ecosistema, pues se capta energía e información del ambiente, esta energía es consumida por el ecosistema para disipar la entropía. La entalpía es la energía que contiene el ecosistema que posibilita el intercambio de energía a diversos niveles. Para Patten, la relación entre entropía y neguentropía es indicador de las condiciones de balance o equilibrio en el ecosistema, y por lo tanto es también una herramienta para conducir la intervención sobre los sistemas.

complejidad del mundo natural. Así, generan tanto diversas epistemologías, preguntas y respuestas, como nuevas formas de experimentar. Notablemente, la experimentación adopta un nuevo espacio: en lugar de la experimentación en campo o en laboratorio, con la perspectiva de sistemas y el avance tecnológico, surge la experimentación virtual, donde los experimentos no trascienden al mundo material y es posible visualizar numerosos escenarios sin un dispendio tan grande de recursos; experimentos que permiten poner a prueba la teoría, refinarla, generar mejores modelos y experimentar de nuevo.¹¹⁸

Aunque estos modelos no sustituyen a la experimentación material, sí permiten construir o deconstruir realidades y futuros posibles y, con ellos, mundos enteros que permiten entrever formas de intervenir el mundo en sí. Un caso muy claro es el del modelo *World 3*, simulación que proyectaba en el año 1972 que dentro de cien años el planeta Tierra estaría condenado al colapso por la sobreexplotación de recursos naturales, la sobrepoblación humana y la industrialización descontrolada. Este modelo fue empleado para escribir el informe Meadows del Club de Roma sobre los Límites del Crecimiento en 1972, que, junto con otros eventos, detonó negociaciones políticas y acciones sociales para prevenir que el oráculo se cumpliera.¹¹⁹

Cuando la heurística se transforma por vía de estas tecnologías, representar e intervenir son partes de una misma práctica científica, dando origen a representaciones que son intervenciones e intervenciones que son representaciones. El fitotrón, el Algratrón, la Astronave Tierra, la *Biosphere 2*, el Ecotrón, y el *World 3* son casos de estas tecnologías que, a diversas escalas y con distintos medios, permiten construir a los ecosistemas de diversas formas, al tiempo que se les representa y se les interviene de múltiples maneras.

¹¹⁸ Kingsland, *Evolution*, 201, 215; Bocking, "Ecosystems, Ecologists," 13; Cfr. Creager, "Nuclear Energy," 667.

¹¹⁹ Höhler, *Spaceship Earth*, 71-73.

C. Ambientes controlados

Si bien la construcción teórica y de los modelos materiales de los ecosistemas son el objeto central de este proyecto, los ecosistemas como entes teóricos se desarrollaron de manera robusta hasta la década de los sesenta del siglo pasado. Simultánea y previamente ocurrieron otros desarrollos en diversas áreas biológicas que contribuyeron a la consolidación de la noción de ecosistema. Estos desarrollos se dieron en entidades de menor nivel de organización que los ecosistemas, pues fueron movilizados en parte por los cambios que indujo el descubrimiento de la radioactividad en los albores del siglo XX y su aplicación a la investigación biológica, dando lugar a la radiobiología. Notablemente, el uso de los radiomarcadores en biología permitió la visibilización de dinámicas fisiológicas, popularizándose su empleo en investigaciones sobre el metabolismo durante los últimos años de la década de 1930.¹²⁰

Ya que los radiomarcadores permitían visibilizar dinámicas metabólicas en organismos, se asumía que los ecosistemas, concebidos desde una perspectiva organicista, también podrían ser investigados con estas herramientas. Sin embargo, los radiomarcadores no sólo evidenciaron el movimiento de nutrientes, sino también las complejas redes a través de las cuales éstos se mueven, donde toman parte los factores bióticos y los abióticos del ecosistema. Con la fisicalización, la matematización y el uso de otras herramientas teóricas, esto a su vez dio paso a la perspectiva sistémica de los ecosistemas.¹²¹ Este es un caso más de las ciencias sobre lo vivo, en las que la radioactividad, como herramienta, facilitó cambios profundos en la epistemología y la ontología de los seres vivos, desde los organismos hasta

¹²⁰ Creager, *Life Atomic*, 224-29, 259, 363; Hamilton, "Radioactive Tracers," 541-72.

¹²¹ Creager, *Life Atomic*, 352-53; Hutchinson, "Bio-Ecology," 267-68. En el apartado A2 profundizo sobre el rol temprano de los radiomarcadores en ecología.

los ecosistemas, al, por un lado, revelar los procesos internos de los seres vivos y su entorno y, por otro, al poner en marcha un aparato de transformación de la vida por vía experimental.

En este capítulo me centraré en algunas de esas vías experimentales de transformación de la vida a diversas escalas: los ambientes controlados. Comenzaré por los fitotrones, por tratarse de sistemas tecnológicos y también instalaciones (*facilities*) que operan sobre los organismos individuales. Son herramientas para el conocimiento y, al mismo tiempo, son instrumentos complejos de interpretación e intervención de la vida, inicialmente a raíz de experiencias e investigaciones en fisiología ecológica y, posteriormente, al tornarse en agentes posibilitadores de otras ecologías. Asimismo, los fitotrones son un emblema de las preocupaciones e intereses científicos, económicos y políticos durante la posguerra: desde el interés de los biólogos –y los fisiólogos en particular– por legitimar su ciencia, hasta el ímpetu modernizador de la agricultura como respuesta a la escasez de alimentos durante la posguerra y a la amenaza nuclear durante la Guerra Fría, así como a los intereses de grandes capitales por introducirse en el mercado de alimentos.

El fitotrón es, además, producto de la articulación entre diversas tecnologías: nucleares, de fitomejoramiento o fitotecnia, de aire acondicionado y control climático, de identificación y medición de variables ambientales, agrícolas, de organización científica, entre muchas otras. Mientras que estas tecnologías coinciden en los fitotrones, también tienen una historia de desarrollos propios que se entrelazan en diversos puntos: el fitomejoramiento, por ejemplo, pasó de llevarse a cabo a través de cruces a incorporar la mutación radioinducida;¹²² mientras que la energía atómica se impulsó de manera importante a partir de la década de 1950 y los radioisótopos fueron movilizadas internacionalmente como tecnologías de paz y desarrollo por medio de políticas de asistencia técnica a países “tercermundistas”.¹²³

¹²² Curry, “Atoms in Agriculture,” 119-53; Curry, *Evolution Made to Order*; Jacob Hamblin, “Quickening nature’s pulse,” 389-408.

¹²³ En el apartado A4 profundizo sobre la internacionalización de la energía atómica. Sobre la asistencia técnica nuclear para el desarrollo durante las primeras décadas de la posguerra y comienzos de la Guerra Fría, ver Beatty, “Scientific Collaboration,” 205-31; Mateos y Suárez-Díaz, “Expectativas (des)encontradas,” 215-41;

Si bien un fitotrón es un ambiente controlado creado para generar conocimiento fitocientífico, al tiempo que permite (re)producir organismos conforme a ciertos estándares y para ciertos fines, el encuentro entre disciplinas que propicia ha permitido que sus aplicaciones se multipliquen y que, por ende, sea punto de convergencia de un número aún mayor de intereses y preocupaciones. Algunos de estos se hallan enclavados totalmente en la ecología: ante la crisis ambiental de la posguerra –a lo que se suma la posibilidad de un apocalipsis nuclear y la necesidad estadounidense de generar aliados, en el marco de la Guerra Fría– se comienza en los años sesenta a crear ambientes controlados que rebasan el alcance de los fitotrones y que buscan generar conocimiento ecológico mientras se modelan y fabrican ecosistemas a diversas escalas. Debido a ello, dichos ambientes controlados constituyen la materialización (fabricada) del concepto de ecosistema, asentado sobre la ecología de sistemas, donde se difuminan algunas distinciones entre los ecosistemas naturales y los fabricados, pues ambos revelan amplios grados de intervención humana. Aquí abordo diversos ambientes controlados creados sobre el modelo de los fitotrones, sus intencionalidades, contextos e implicaciones; a través de los cuales es posible asir la comprensión subyacente de los ecosistemas y de la vida en estos contextos sociales y científicos. En estos casos, la representación y la intervención de los ecosistemas revelan la aprehensión de la Tierra y de la vida en ella.

C1. Fitotrones

Durante el siglo XIX y comienzos del XX la genética y la fisiología vegetal fueron consideradas las ciencias experimentales por excelencia para la investigación fitocientífica (de las *plant sciences*)¹²⁴, y desde el siglo XIX se realiza tal investigación en invernaderos. Con

Mateos, y Suárez-Díaz, "Technical assistance in movement," 345-67; Mateos, y Suárez-Díaz, "Creating the need in Mexico," 418-36.

¹²⁴ Para David P. D. Munns, investigador sumamente influyente en este trabajo, *plant science* se refiere tanto a la biología de la planta (*plant biology*) o botánica y sus subdisciplinas, como fisiología y patología, como a otras disciplinas como la horticultura y silvicultura. A fin de ser fiel a la amplitud del término para Munns, y a falta

el advenimiento en el siglo XX de la radioactividad como herramienta de investigación, estas disciplinas se vieron fortalecidas. Sin embargo, los estudios de fisiología vegetal tienen dificultades experimentales si se realizan en campo o bajo condiciones variables y no controladas, puesto que se considera desde esta disciplina (al menos desde la década de 1920) que el organismo no es el único agente en su propio desarrollo, sino que el ambiente tiene un rol activo en el mismo. De este modo, las condiciones ambientales incontrolables por un lado restan credibilidad a los estudios de fisiología e impulsan su migración a laboratorios; y, por otro, esta migración a condiciones experimentales limita el conocimiento de las interacciones con el ambiente. Especialmente a partir de la década de 1940, las comunidades botánicas y de fisiología vegetal identificaron la necesidad de controlar aún más los ambientes para conocer mejor los procesos fisiológicos vegetales. Debido a ello, a finales de la década de 1930 se instaló aire acondicionado, control térmico y lumínico en invernaderos. Posteriormente se crearon los fitotrones, que llevan a un grado mayor el control logrado en los invernaderos y son espacios tecnológicos creados específicamente para eliminar dichas condiciones impredecibles e incontrolables del campo –y con ello la variabilidad fenotípica– y convertirse en sistemas ambientales adecuados y moldeables a la investigación fisiológica.¹²⁵

Un fitotrón es “un laboratorio ambiental controlado por computadora”, donde es posible producir, controlar y monitorear condiciones climáticas específicas tan uniformes o variables como se quiera en cuartos o gabinetes, de modo que cada espacio posee condiciones específicas y alberga organismos diferentes y seleccionados de manera específica para ese fin. Los fitotrones han sido empleados por los fitocientíficos desde finales

de una mejor traducción, a lo largo de este texto me refiero a las *fitociencias* y a los *fitocientíficos* cuando de *plant science(s)* o *plant scientists* se trate. Munns, *Engineering the Environment*.

¹²⁵ Munns, *Engineering the Environment*, 4, 8, 14, 16, 23, 36; Downs, “Phytotrons,” 451-52; cfr. Went, *Experimental Control*, 3. Downs profundiza más sobre la historia y especificaciones técnicas de la introducción de control térmico, aéreo y lumínico en invernaderos durante la primera mitad del siglo XX. Los fitotronistas argumentaban que la variabilidad en los organismos se debía, en gran parte, a la falta de control suficiente sobre los mismos por medio del control sobre sus ambientes, haciendo de la biología una “ciencia de segunda clase”. Downs, “Phytotrons,” 447-89; Munns, “The phytotronist,” 36; Munns, *Engineering the Environment*, 23, 26-27, 31.

de la década de 1940 como espacios de experimentación para estudiar las respuestas vegetales (tales como crecimiento, desarrollo, nutrición, florecimiento, fotosíntesis, herencia, productividad) a las condiciones ambientales y de esta manera generar conocimiento fitocientífico.¹²⁶

El primer fitotrón que se construyó y cumplía estas características fue el Earhart Plant Research Laboratory, que comenzó a operar en 1949 en el California Institute of Technology (Caltech) en California. Su diseñador y director desde entonces y hasta 1958 fue Frits Warmolt Went, y dejó de operar en 1972. En 1939, Henry Eversole (para entonces exrepresentante de la Fundación Rockefeller para Europa del Este y jubilado viviendo cerca de Caltech) consiguió financiamiento para dos invernaderos para Went, y en 1946 éste consiguió financiamiento para la creación del fitotrón –a través de Robert Millikan (premio nobel de física en 1923 y presidente *de facto* de Caltech)– por parte de la Fundación Earhart de Harry B. Earhart, inaugurándose el Earhart Plant Research Laboratory en 1949.¹²⁷

Went fue un miembro importante de las comunidades de botánica y fisiología,¹²⁸ especialmente a partir de su descubrimiento de la auxina, una hormona vegetal de crecimiento de amplia capacidad explicativa en el campo y un incentivo más para la creación de ambientes controlados que permitieran identificar el rol específico de las variables que influyen en el crecimiento vegetal.¹²⁹ Además, todo indica que Went, al menos desde los años treinta, poseía conocimientos sólidos en técnicas de radioetiquetado, pues para la

¹²⁶ A pesar de la diversidad en los fitotrones existentes en el mundo, es posible identificar algunas constantes, sobre las que se profundiza más adelante. Munns, *Engineering the Environment*, xvii, 5, 9, 11; Koller, "Is there," 4-6; Downs, "Phytotrons," 447-89.

¹²⁷ Munns, *Engineering the Environment*, 5, 37; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 303-6, 314.

¹²⁸ De hecho, Thomas Hunt Morgan reclutó a Went en 1932 para que éste fuera a trabajar a Caltech; Went retomó de Morgan el enfoque experimental y el empleo de organismos estandarizados. Además, Went realizó trabajos de autoecología, sin embargo, sus estudios se centraron en la relación entre individuos y sus ambientes y en el estudio de la productividad. Munns, "Biologists hold physicists," 210-12; Kohler, "*Drosophila*," 281-310; Galston, y Sharkey, "Frits Warmolt Went."

¹²⁹ Munns, *Engineering the Environment*, 36, 40-43; Went, "Auxin," 162-82.

década de 1930, la síntesis del ácido indol-3-acético (AIA; considerado la auxina activa en las plantas) era estudiada comúnmente al etiquetar radioactivamente (con carbono-14 o hidrógeno-3) el triptófano suministrado a las plantas, para luego examinar la radioactividad de la AIA una vez aislada, o de sus intermediarios.¹³⁰ Ello se suma a la presencia de un cuarto de radioactividad en su fitotrón y a su mención explícita en 1944 y 1949 del uso de radiomarcadores –provistos por E. O. Lawrence– en su investigación.¹³¹

Cabe mencionar que, tanto para obtener financiamiento como cotidianamente, Went promocionaba el laboratorio como un espacio con el potencial de desarrollar prácticas que permitieran aumentar la productividad agrícola y expandir el conocimiento biológico (particularmente sobre especies de importancia agrícola), por lo que resultaba un proyecto particularmente atractivo en un contexto en el que aún se sentían las secuelas y la escasez de alimentos de la Segunda Guerra Mundial en el ánimo de la población. Asimismo, se vaticinaba la explosión demográfica y apocalípticos escenarios malthusianos en un mundo en el cual atender el hambre resultaba imperativo y el control tecnológico parecía algo deseable. En este contexto, el fitotrón representaba una alternativa al hambre al tiempo que daba cauce al optimismo tecnológico, al que subyacía la idea de que la tecnología resolvería los problemas de la humanidad, aportaría seguridad y salvación y contribuiría a la dominación y control de la naturaleza y de la sociedad. De esta manera se explica el financiamiento a mediano plazo del fitotrón, proveniente de entidades filantrópicas, como la Fundación Earhart y la Fundación Rockefeller; de compañías productoras de alimentos, como la Campbell Soup Company; y del Estado norteamericano por medio de la National Science Foundation (NSF). A su vez, el Earhart Laboratory incentivó la creación de otros fitotrones y ambientes controlados en el mundo durante la Guerra Fría, mismos que fueron

¹³⁰ Lévai y Veres, *Applied Plant Physiology*, 112-13.

¹³¹ Went, "Plant Growth," 602-3; Went, "The Phytotron," 4; Went, *Experimental Control*, 18. Además de los radiomarcadores, Went describe minuciosamente otros métodos para medir los procesos vegetales, tales como microscopía, registros de cambios de concentraciones, mediciones de crecimiento vegetal, cambios de peso, variaciones en iluminación, entre otros; Went, "Plant Growth," 597-618.

también creados en la misma atmósfera tecno-optimista y, por ende, fueron financiados por gobiernos e industrias como las del azúcar, del tabaco, del arroz y del jitomate.¹³²

En el ámbito técnico, el Earhart Plant Research Laboratory, en palabras de Went, marcaría la diferencia respecto a otros invernaderos en dos aspectos principales: el control físico “casi” completo sobre el ambiente aéreo y la posibilidad de albergar diversas condiciones ambientales simultáneamente, permitiendo comparaciones sincrónicas.¹³³ Es importante destacar que dichos rasgos distintivos, planteados por Went en 1957, se mantuvieron en el imaginario de los fitotronistas hasta al menos dos décadas después. De manera sintética, lo característico de un fitotrón, en oposición a las cámaras tradicionales de crecimiento e invernaderos, es que: a) son instalaciones dedicadas y diseñadas para investigación fitocientífica; b) poseen tal flexibilidad que permiten combinar factores ambientales diversos en múltiples cuartos y realizar investigaciones en torno a ellos de manera simultánea; c) poseen una lógica de administración compleja y multifactorial, que se nutre del “compromiso con el estudio de la fitotrónica, la tecnología involucrada en el uso y diseño de fitotrones”; d) un fitotrón puede contener, además de otros espacios, como oficinas y laboratorios, cámaras de crecimiento e invernaderos de diversos tamaños y cualidades.¹³⁴

Estas características permitieron que el fitotrón fuera concebido, por una parte, como una solución a las necesidades de control de las fitociencias de la época –que, a diferencia de la química o la física, no poseían laboratorios con ambientes controlados para su investigación– y, por otra, como un representante del modernismo, cuyos alcances tecnológicos fueron signos de la era. El Earhart Laboratory nos permite aproximarnos al tipo

¹³² Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 292, 306, 312-15; Munns, *Engineering the Environment*, xix, xx, 15, 22, 34, 36; Munns, “The phytotronist,” 33-34.

¹³³ Went, *Experimental Control*, 318.

¹³⁴ Went, *Experimental Control*, 318; Downs y Hellmers, *Environment*, 132-38; Downs, “Phytotrons,” 447-48, 455. Aunque estos rasgos son comunes, llama la atención que, mientras que Koller sí considera que es necesario tener espacios específicos en el fitotrón que posibiliten trabajos con radioactividad, Kramer, Hellmers y Downs, y Downs, no indican en los planos de los Southeastern Plant Environmental Laboratories (SEPEL) ni del Biotron de Japón que haya cuartos de radioactividad; Koller, “Is there,” 5.6; Kramer, Hellmers, y Downs, “SEPEL,” 1201-8; Downs, “Phytotrons,” 447-89.

de control considerado necesario en este contexto y a las tecnologías que lo hicieron posible. Este fitotrón contaba con seis invernaderos, trece laboratorios y once cuartos oscuros; sistema de aire acondicionado, un cuarto de radioactividad, un túnel de viento y 54 espacios con distintas plantas y condiciones (niebla, lluvia, iluminación, temperatura, humedad, flujo de viento, composición del aire, sustrato y nutrientes) reguladas desde un cuarto de control cibernético con cuatro paneles de control que permitían controlar, registrar y regular las diversas condiciones climáticas. Además, las tecnologías allí insertas debían ser en cierta medida flexibles para poder ser adaptadas a las necesidades que se iban presentando y, en todo momento, se llevaban a cabo prácticas estrictas para mantener condiciones asépticas al interior del fitotrón.¹³⁵



Figura 6. El Earhart Plant Research Laboratory en el California Institute of Technology en 1957. Obtenida a través de Wikimedia Commons, "Earhart Plant Research Laboratory at the California Institute of Technology", extraído a su vez de The Big T (yearbook of California Institute of Technology). Dominio público.

¹³⁵ Munns, *Engineering the Environment*, 35, 37; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 306-9, 301; Went, "The Phytotron," 4-6; Went, *Experimental Control*; cfr. "The Earhart Plant," 986. Para mantener las condiciones asépticas en el Earhart Laboratory era necesario fumigar las plantas antes de que entraran al laboratorio, así como esterilizar el aire, ropas, suelo o sustrato, entre otros, y evitar la introducción al mismo de cualquier potencial contaminante; Went, "The Phytotron," 4, 6; Went, *Experimental Control*, 47-56; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 306, 309.

El equipamiento del Earhart Laboratory da cuenta también de la “apropiación por parte de las fitociencias de los ideales de las ciencias físicas”,¹³⁶ materializados en el fitotrón y expresados en las aspiraciones de los fitotronistas por hacer “ciencia básica” experimental en un ambiente físico controlado, desprovisto de aleatoriedad, con variables reconocibles, medibles, reproducibles y manipulables. De la misma manera, los fitotronistas aspiraban a que los fitotrones fueran espacios de unificación de la biología y a que permitieran revelar leyes generales en la botánica, formando una “biología teórica”, en clara similitud a la física teórica. Esta fuerza teórica y experimental permitiría que la fisiología se convirtiera en una ciencia básica, supuestamente superior y, por ende, además, susceptible de ser apoyada por los Estados anticomunistas.¹³⁷

Todos estos ideales y supuestos legitimaron a los fitotrones, aduciendo que la rigurosidad científica impresa en ellos permitiría contar con las condiciones adecuadas para lograr investigación fitocientífica fructífera. De esta manera, el fitotrón representa uno de los diversos intentos de las ciencias biológicas por fortalecerse como una ciencia “dura” (que se suma al caso que ya abordé de la ecología, que también busca legitimarse como ciencia por medio de su fisicalización y su giro hacia lo experimental) al incorporar prácticas experimentales, así como el control, la causalidad, la calculabilidad y la replicabilidad que se constituyeron en emblemas de la física, la química y sus laboratorios.¹³⁸

¹³⁶ Munns, “The phytotronist,” 39.

¹³⁷ Munns, “The phytotronist,” 32, 36, 39; Munns, *Engineering the Environment*, x; Went, *Experimental Control*, 319. Munns, *Engineering the Environment*, 17-18, explica detalladamente la supuesta asociación entre fisiología y comunismo y la consecuente ausencia de reconocimiento a la fisiología, en la era Macartista (1947-1952), asociación que combatieron los fisiólogos como Went. Forman describe brevemente el Macartismo y su contexto; Forman, “Behind Quantum Electronics,” 174-75. Es posible que Munns haya nombrado a los científicos trabajando en fitotrones “fitotronistas” precisamente asemejando el concepto de los “ciclotroneros” que Heilbron y Seidel introdujeron. Cfr. Heilbron y Seidel, *Lawrence*.

¹³⁸ Munns, *Engineering the Environment*, xxi; 37-38, 227; Munns, “The phytotronist,” 36, 39; Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 311-12, 319. Kingsland, siguiendo a Kohler, profundiza en las causas de que el trabajo de laboratorio fuera considerado más riguroso, universalmente válido y, por ende, superior: Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 290, 294, 318; Kohler, *Landscapes and Labscales*. Victor E. Shelford, en las décadas de 1910 y 1920, fue pionero en reconocer una gran necesidad de adoptar laboratorios en ecología, y buscó crear espacios para la simulación climática de condiciones variables, pero descubrió que para la década de 1930

Precisamente siguiendo el ejemplo de la física es que dos fitocientíficos colaboradores de Went en el fitotrón le nombraron de esa manera para realzar la similitud que pudiera guardar, tanto por su relevancia para la biología como por sus paneles de control, con el ciclotrón de la física, esperando que el “fitotrón [...] hiciera por la botánica lo que el ciclotrón [había hecho] por la física”.¹³⁹ Estas aspiraciones en torno al fitotrón y a lo que se esperaba que hiciera por la botánica moldearon la propia práctica científica durante la posguerra, tanto por tratarse de nuevas herramientas y enfoques, como porque cambiaron la definición y legitimación de la propia disciplina. Además, el cambio en la práctica y en la concepción de las fitociencias configuraron a su vez una forma de disciplinamiento que también moldeó a los fitocientíficos.¹⁴⁰

Aunque el interés en el fitotrón deriva en parte del interés por legitimar a la biología y a su práctica, también era considerado por sí mismo como una herramienta sumamente importante para el desarrollo de las fitociencias. Estas disciplinas requerían necesariamente del estudio y del control de los efectos de las condiciones ambientales sobre los procesos de los organismos (el caso de la autoecología es claro, por ejemplo) para comprender la relevancia de cada variable en el desarrollo vegetal. A este razonamiento subyace el supuesto de que el organismo es resultado de la suma de condiciones genéticas y condiciones ambientales, conforme a la ecuación siguiente y, por ende, para conocer al organismo sería necesario estudiar estos mismos factores constituyentes:

$$\text{Genotipo} + \text{Condiciones ambientales} = \text{Fenotipo}^{141}$$

todavía era inviable por los grandes requisitos de financiamiento y tecnológicos que tal empresa requeriría; Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 294-99, 306.

¹³⁹ “The Earhart Plant,” 986.

¹⁴⁰ Munns, *Engineering the Environment*, 5, 14, 21; Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 291, 300-1, 309; Went, “The Phytotron,” 3.

¹⁴¹ Munns, *Engineering the Environment*, 22-24; Went, *Experimental Control*, 2.

Dicha ecuación es una representación científica que segmenta teóricamente al organismo en variables de modo que sea posible (re)producirlo en la práctica, con las características deseadas conforme a los criterios y necesidades del investigador, de una forma sumamente específica que en la naturaleza habría sido imposible generar. De esta manera, “al hacer totalmente reproducibles ambas partes de la ecuación, la biología [es decir, la vida, sus condiciones y características] sería reproducible” y se “[generarían] objetos experimentales reproducibles [y uniformes] para estudio biológico” que permitieran obtener conocimiento fitocientífico básico.¹⁴²

Para Frits Went, el control de dichas partes de la ecuación sería consecuencia, primero, del control genético de las variedades de especies con las que se trabajan o del empleo de plantas uniformes genéticamente –posiblemente clones reproducidos vegetativamente–; y segundo, del control de las condiciones ambientales hecho posible por el fitotrón. Un resultado exitoso del control ejercido sobre las plantas serían especímenes seleccionados y modelados a profundidad; uniformes y con rasgos físicos y fisiológicos deseables, así como organismos cuya estandarización permitiera emplearlos para comprender los resultados de los experimentos desde una base uniforme. De esta manera, el manejo exitoso de ambas partes de la ecuación permitiría realizar mejores experimentos, uniformes, repetibles y altamente específicos, con pocos especímenes de plantas y evitando en buena medida el tratamiento estadístico de los resultados de los experimentos, ahorrando con ello recursos, espacio y tiempo. Además, el control de diversos y numerosos factores durante los

¹⁴² Munns, *Engineering the Environment*, 24; cfr. Went, *Experimental Control*, 2; cfr. Munns, “The phytotronist,” 29-40.

experimentos permite el estudio no correlacional¹⁴³ de la relación ambiente-organismo, sino específico y con amplio conocimiento del efecto de cada variación.¹⁴⁴

La identificación y el control de cada una de las variables y sus interacciones permiten intervenir a los sistemas, manipular a los organismos y generarlos de acuerdo con ciertos criterios. Asimismo, el fitotrón emula algunas de las condiciones climáticas observadas en el campo y las dota de características deseables para la investigación, tales como control, uniformidad, reproducibilidad y constancia. Esta dinámica de selección, manipulación, transformación y re(creación) revela que el fitotrón y sus productos se asemejan selectivamente a la naturaleza. La medición, el control y la modelación son instrumentales en este proceso que en el fitotrón opera sobre los organismos, pero es claro que los mismos principios operan en el modelaje de los ecosistemas.¹⁴⁵

La tecnología computacional necesaria para el funcionamiento de un fitotrón, sobre los cimientos de la cibernética de Wiener desde los años cuarenta, generó cambios epistémicos y metodológicos importantes. Por una parte, el supuesto de que a mayor tecnología se generaría mayor conocimiento impulsó el desarrollo tecnológico y, dado que la tecnología se constituyó en un medio para el conocimiento biológico, se volvió necesario que los científicos se capacitaran como tecnólogos, esto es, que aprendieran sobre la tecnología para así poder aprender sobre las plantas.¹⁴⁶ Por otra parte, la inserción de esta tecnología en la

¹⁴³ Went, "The Concept," 1-4. El estudio correlacional implica que se haga variar una o varias de las condiciones que forman parte del experimento y posteriormente se estudie qué rasgo particular varió en la planta (por medio de una medición específica, por ejemplo, del grueso del tallo). Sin embargo, en el estudio correlacional son tantas las variables que participan y no se controlan, que no se sabe a qué variable(s) se debe el cambio en la planta. Esto implica que se requiera hacer los experimentos con numerosos especímenes y posteriormente realizar un muestreo y cálculos estadísticos de probabilidad y precisión. Ante el control de cada una de las variables tanto ambientales como de los organismos, deja de ser necesario hacer estudios correlacionales porque se torna posible identificar específicamente dónde estuvo la variación ambiental que detonó variación en la planta. Esta optimización de recursos es sólo posible al controlar ambas partes de la ecuación de manera extensiva.

¹⁴⁴ Went, *Experimental Control*, 320-21, 326-27; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 302-6, 310; Downs y Hellmers, *Environment*, 122; cfr. Ankeny, y Leonelli, "What's so special," 313-23.

¹⁴⁵ Munns, *Engineering the Environment*, 8, 23; Downs y Hellmers, *Environment*, 118-22.

¹⁴⁶ Wiener, "Time, Communication," 197-220; Munns, *Engineering the Environment*, 6, 9, 14, 16, 21, 30, 32, 90.

actividad científica reconfiguró los límites del poder humano y científico, pues facilitó la intervención y el ejercicio de poder y de control sobre organismos y ambientes.

La intervención en los organismos y en los ambientes posibilitada por los fitotrones se enmarca en el giro experimental de las ciencias biológicas y en la emergencia de un estilo ingenieril en biología, donde primaría el enfoque intervencionista en la naturaleza. En el seno de estos cambios, los fitotrones representan espacios idóneos para el desarrollo de las ciencias experimentales de la vida, que demandaban control y repetibilidad; para la generación de nuevas técnicas agrícolas y nuevas variedades para la agricultura; y para la manipulación del tiempo biológico de una manera sin precedentes, tanto por la alteración de los ciclos circadianos de las plantas, como por el desarrollo de varias generaciones de organismos en tiempos mucho más cortos y menos estacionales.¹⁴⁷

Resulta interesante que la utilidad práctica del fitotrón y su éxito (pues para la década de los cincuenta ya se concebían como esenciales para los estudios fitocientíficos), radicarán en, además de la investigación biológica, obtener productos agrícolas y productos científicos uniformes, repetibles, conocidos, deseados, predecibles y útiles. Para ello se requería de la fragmentación y reducción del organismo y del ambiente (o ecosistema) a variables discretas y factores controlables tecnológicamente, garantizando el control de la ecuación ya citada. Al mismo tiempo, el fitotrón permitía la comprensión del ambiente y los organismos como un todo multi-entético, complejo y con infinidad de interrelaciones y procesos.¹⁴⁸

En las décadas de 1970 y 1980 comenzó el declive en la construcción de fitotrones debido a que su justificación científica y social cambió, además de que la tecnología que encarnaron recibió embates diversos. Por un lado, la motivación para tan grandes dispendios de recursos –montada previamente sobre la ampliación del conocimiento biológico– migró hacia

¹⁴⁷ Munns, *Engineering the Environment*, 7, 15; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 311, 320.

¹⁴⁸ Munns, *Engineering the Environment*, 8; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 289-324; Cfr. Munns, *Engineering the Environment*, 29, 32.

preocupaciones ambientales (contaminación, residuos sólidos, cambio climático), nutridas por los movimientos ambientalistas, contraculturales, pacifistas y de escrutinio público de la ciencia y la tecnología, así como de una creciente desconfianza hacia los gobiernos y los proyectos financiados por éstos. Por otra parte, se puso en duda a las grandes instalaciones tecnológicas como medio para generar conocimiento necesario y básico, en particular en biología. A esto se sumó el cuestionamiento de la calidad de los científicos y su investigación tan fuertemente mediados por la tecnología, y el hecho que el desarrollo en ecología de sistemas (así como el auge del modelaje computacional y estadístico) fue desplazando el estudio de la relación organismo-ambiente en fitotrones. Todo ello ocasionó que no se destinaran tantos recursos ni a proyectos de tan gran escala ni a proyectos de vocación botánica, redireccionando los esfuerzos hacia proyectos de biología molecular y de ecología.¹⁴⁹

Un caso que ejemplifica dicho giro es el de los Southeastern Plant Environment Laboratories (SEPEL), un proyecto conjunto entre la Duke University y la North Carolina State University de Estados Unidos. La National Science Foundation (NSF) emitió una convocatoria en 1958 que permitiría financiar la creación de instalaciones de ambientes controlados, pero en 1962 otorgó el apoyo al proyecto del Biotron de la Universidad de Wisconsin-Madison, que no sólo era un ambiente controlado, sino que habría de realizar investigación sobre animales y plantas. Ello demoró la creación de los SEPEL, cuya construcción fue aprobada hasta 1968, una vez que la NSF los financió parcialmente en 1964 y los cofinanciaron la Fundación Z. Smith Reynolds, la Duke University y siete compañías tabacaleras.¹⁵⁰

¹⁴⁹ Munns, *Engineering the Environment*, 21, 226-31; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 313-15.

¹⁵⁰ Kramer, Hellmers, y Downs, "SEPEL," 1201-8.



Figura 7. El biólogo Paul Kramer en un fitotrón, presumiblemente el de la Duke University. “Professor Paul Kramer Talks with School of Forestry Graduate Student Patrick Tesha in the Phytotron, ca. March 1970”, Duke University Archives.

Fotografía con licencia CC BY-NC-SA 2.0, obtenida a través de Flickr (Duke University Archives).

Se ha visto que en el Earhart Laboratory y, en general en los fitotrones, se realizaron investigaciones de fitociencias y autoecología (o ecología fisiológica, que estudia la relación entre el organismo y su ambiente) orientadas hacia el desarrollo de conocimiento botánico que permitiera atender problemas de agricultura, horticultura y silvicultura.¹⁵¹ Estas investigaciones estrecharon la relación entre ecología y fisiología, satisfaciendo la esperanza que albergó Went de que el fitotrón “impulsara a las ciencias descriptivas como la ecología [...] hacia estudios experimentales nuevos y fértiles.”¹⁵² De hecho, el fitotrón promovió y se desarrolló en congruencia con el enfoque práctico en ecología y ecología de ecosistemas, en desarrollo durante la posguerra a raíz de las preocupaciones relacionadas a la proliferación de armas nucleares y a la contaminación radioactiva asociada. Además, la investigación

¹⁵¹ Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 292-94.

¹⁵² Kingsland, “Frits Went’s Atomic,” 292, 312-13; Went, *Experimental Control*, 323.

biológica y ecológica llevada a cabo en los fitotrones e impulsada por el uso de radiotrazadores, favoreció la visibilización de interrelaciones y relaciones de *feedback* en el ambiente, lo que incorporó concepciones cibernéticas a la comprensión ambiental y de los organismos; una herencia que sería adoptada para los ambientes controlados centrados en procesos de circulación de materia y energía, y por la ecología de sistemas.¹⁵³

C2. Ecosistemas fabricados: el encuentro entre ambientes controlados y ecología de ecosistemas

A partir de los fitotrones y del uso de radiotrazadores para conocer los procesos fisiológicos y de circulación de energía en un ambiente, los fisiólogos vegetales vincularon la información biológica a la computación, incorporando la visión cibernética a la ecología fisiológica. Gracias a la noción de *feedback*¹⁵⁴ es posible mapear las relaciones entre las variaciones ambientales y las respuestas de los organismos, mientras que el ambiente controlado permite que este mapeo sea preciso y que el control resultante sea máximo. Así, en el fitotrón se modelan y controlan las variables ambientales que condicionan a su vez a los organismos.¹⁵⁵

De esta manera, el control hecho posible en este tipo de ambientes detonó un giro en el enfoque experimental en las ciencias de la vida y su poder explicativo sobre la relación organismo-ambiente abrió nuevos espacios y metodologías de investigación. Por ejemplo, la identificación y representación de flujos de materia y energía en el ambiente controlado legitimaron a la noción de ecosistemas y a la ecología experimental. Además, los fitotrones tenían múltiples ventajas para la práctica experimental, imposibles de obtener en campo,

¹⁵³ Munns, *Engineering the Environment*, 90; Munns, "Biologists hold physicists," 213. Kingsland, *Evolution*, 186, describe la adopción de problemas biológicos por la cibernética de Norbert Wiener de 1947, y describe a la cibernética como "el estudio de sistemas en los que [hay] mecanismos de retroalimentación que regulan o estabilizan el sistema."

¹⁵⁴ Wiener, "Cybernetics," 3.

¹⁵⁵ Munns, *Engineering the Environment*, xix

como la reducción de variabilidad en experimentos, su repetibilidad y un control sin precedentes de las múltiples variables.¹⁵⁶

Estas cualidades confirieron éxito al fitotrón para las fitociencias y, como resultado, muy pronto se crearon numerosos fitotrones en diversas partes del mundo. Los ambientes controlados entonces se concibieron como herramientas poderosas en las ciencias de la vida, convocando a más disciplinas a sumarse al ímpetu por construirlos. Éstos fueron evolucionando conforme se desarrollaba la Guerra Fría, respondiendo a múltiples intereses y en contextos particulares.¹⁵⁷ En este apartado describiré algunos de los ambientes controlados que surgieron a partir del fitotrón, pero cuya investigación amplió la escala de trabajo, misma que pasó de concentrarse en organismos a concentrarse en comunidades, poblaciones, ecosistemas e, incluso, en la Biósfera misma. Estos proyectos nutrieron y se nutrieron de la noción de ecosistemas y de la ecología de (eco)sistemas.

C 2.1 El Biotrón: un fitotrón mejorado

Uno de los primeros laboratorios herederos de los fitotrones fue el Biotrón de la Universidad de Wisconsin-Madison, en los Estados Unidos. En 1957, la Botanical Society of America (BSA) inició una campaña para crear un fitotrón nacional, pues el fitotrón ya era aceptado como una herramienta experimental para la ciencia y era un referente para las fitociencias. Ese mismo año, la Division of Biological and Medical Sciences (BMS) de la National Science Foundation (NSF) solicitó al American Institute of Biological Sciences que investigara sobre la necesidad de tales espacios entre los biólogos; éste reportó que existía la necesidad de cámaras de crecimiento vegetal y de grandes instalaciones donde se pudieran estudiar los efectos del clima sobre las plantas. Posteriormente, la BSA creó un comité para complementar la misma demanda de información de la NSF. El comité se reunió en diversas

¹⁵⁶ Munns, *Engineering the Environment*, 214; Thimann, "Evolution," 262.

¹⁵⁷ Downs y Hellmers, *Environment*, 125-38; Kramer, Hellmers, y Downs, "SEPEL," 1201-8; Downs, "Phytotrons," 447-89; Munns, *Engineering the Environment*, 20; Kingsland, "Frits Went's Atomic," 313.

universidades con numerosos investigadores en biología y resolvió que la biología necesitaba y podría beneficiarse de la creación de un Biotrón, un espacio donde convivieran las investigaciones fitocientíficas y zoológicas, aprovechando las necesidades tecnológicas en común. El comité del Instituto estuvo presidido por Kenneth Thimann, colaborador de Frits Went; mientras que el comité de la BSA estuvo formado por Frits Went, Arthur Hess (diseñador del fitotrón en Caltech, como consultor), Paul J. Kramer, y otros biólogos de diversas especializaciones (incluyendo zoólogos) que empatizaban con los desarrollos logrados en el fitotrón y su posible extensión a otros campos. En 1958 la NSF, a través de la BMS, abrió el concurso y la Universidad de Wisconsin-Madison y su proyecto de Biotrón fueron seleccionados. El proyecto fue dirigido por el fisiólogo vegetal Folke Skoog, colaborador de Thimann y un entusiasta fitotronista.¹⁵⁸

El financiamiento para la construcción del Biotrón se terminó de conseguir hasta 1963 (la Fundación Ford donó 1.7 mdd, los National Institutes of Health 1 mdd, la NSF 1.8 mdd y el Estado de Wisconsin 300,000 dólares), en 1966 comenzaron a operar algunos cuartos y en 1971 se terminó de construir. Como en el caso del fitotrón, el Biotrón era controlado por una computadora (con 8 kilobytes de memoria) y un panel de control que habría de permitir una mejor administración de las condiciones y procesos ambientales. Para ello, este laboratorio fue equipado con sensores, transmisores y capacidad para registrar datos en cada sistema y subsistema de control, rastreando rutas de *feedback* para ejercer un fino control tecnológico.¹⁵⁹

El Biotrón fue un proyecto de *Big Biology*¹⁶⁰ que buscó ser punto de confluencia entre diversos científicos, disciplinas y objetos de estudio biológicos centrados en la investigación

¹⁵⁸ Hendricks, y Went, "Controlled-Climate," 511; Munns, *Engineering the Environment*, 196-97, 203-5; Toby A. Appel, *Shaping Biology*, 183-84.

¹⁵⁹ Appel, *Shaping Biology*, 185; Munns, *Engineering the Environment*, 210-15.

¹⁶⁰ *Big Biology* hace clara referencia a la *Big Science* en biología. La *Big Science* típicamente se refiere a una nueva organización del trabajo científico, generalmente relacionada al complejo militar-industrial que caracterizó al Proyecto Manhattan, aceleradores de partículas y reactores nucleares. Se caracteriza por enormes instalaciones de gran inversión, que involucran a equipos de trabajo multidisciplinarios y numerosos. Durante la posguerra, muchos biólogos (como otros científicos durante la Guerra Fría) se querían distanciar

básica, aunque buscando también la confluencia con la investigación aplicada. Esta orientación hacia la ciencia fundamental, concentrada en un espacio que permitiría resolver cuestionamientos biológicos a través de la tecnología, es característica del clima de modernismo y optimismo tecnológico de la década de 1960. En este contexto, el Biotrón se centró hasta los años setenta en generar conocimiento fundamental sobre el crecimiento y dinámicas de diversos organismos, estandarizando la práctica experimental en varias vertientes de las ciencias de la vida.¹⁶¹

Aunque el Biotrón no albergó los proyectos de gran envergadura que se esperaba ni constituyó un parteaguas en la biología de la Guerra Fría,¹⁶² sí es emblemático en tanto: a) fue uno de los grandes proyectos de infraestructura dedicada a la biología; b) fue un proyecto de *Big Biology* financiado por entidades diversas y creado gracias a que ya había un colectivo de “fitotronistas” y biólogos que apoyaba la creación de ambientes controlados e impulsaba su valorización; c) su sistema de control cibernético era considerado de alta tecnología en la época; y d) en ese momento fue pionero en integrar a varios tipos de organismos (y no sólo especies vegetales) en un ambiente controlado, interés que fue en aumento hasta llegar a diversos intentos de modelación de la Tierra misma.

C 2.2 Viajes espaciales: el Alcatraz y la Astronave Tierra

Los ambientes controlados se intersectan con la noción de ecosistemas y la ecología de ecosistemas a partir de un cambio conceptual y práctico a distintos niveles. Por una parte,

del complejo militar-industrial, por lo que buscaban que sus patrocinadores fueran entidades gubernamentales no relacionadas a lo militar, como la NSF, o entidades no gubernamentales, como Universidades, compañías, e instituciones filantrópicas; Appel, *Shaping Biology*, 178, 181; Munns, *Engineering the Environment*, 198-200, 204-10.

¹⁶¹ Munns, *Engineering the Environment*, 197-201, 207, 217-22; Appel, *Shaping Biology*, 184. Sobre el énfasis gubernamental en investigación básica (principalmente financiada por la NSF), aunque el financiamiento de *facto* era principalmente para investigación relacionada a lo militar, ver Forman, “Behind Quantum Electronics,” 188-98.

¹⁶² Munns, *Engineering the Environment*, 216-18; Appel, *Shaping Biology*, 186.

los ambientes controlados comenzaron a ser pensados como *espacios susceptibles de ser habitados* y, en este sentido, se asemejan a los ecosistemas en que albergan organismos y procesos vitales. Asimismo, los ambientes controlados fueron dejando de ser meros laboratorios como espacios de experimentación y se convirtieron en espacios de generación de conocimiento de flujos de materia y energía, que es posible modelar y controlar, y donde es posible insertar distintos tipos de organismos y comunidades para completar el sistema. Por otra parte, la Tierra fue traducida a *sistema*, por lo que es susceptible de ser concebida, representada e intervenida como un macroecosistema, con las características propias de los ecosistemas. La historia del Alcatraz me permitirá ilustrar el primer punto y la Astronave Tierra el segundo.

En 1957, en plena Guerra Fría, la URSS lanzó exitosamente el primer satélite artificial al espacio, el Sputnik. El mismo año, lanzó el Sputnik 2 ocupado por la perra Laika y en 1958 los Estados Unidos, bajo la presidencia de Eisenhower, lanzaron el satélite Explorer 1 y en ese contexto crearon la National Aeronautics and Space Administration (NASA), con lo que comenzó la carrera espacial. En 1961, los Estados Unidos, en claro rezago en este ámbito y bajo la dirección del presidente Kennedy, apresuraron su paso en la carrera espacial y le dieron prioridad presupuestaria.¹⁶³

La meta era llegar a la Luna y de regreso a la Tierra en una nave ocupada por humanos y que éstos sobrevivieran al viaje. Naturalmente, esto implicaba multiplicidad de dificultades y retos; dos de los más importantes eran el sistema de soporte vital necesario para mantener con vida a los astronautas durante el viaje y la disposición de excreciones humanas a bordo (orina, sudor, heces, dióxido de carbono). Debido a la limitante de espacio y peso en la nave, para viajes futuros de duración mayor a un mes, donde cargar los insumos y los desechos representarían demasiado peso y un problema logístico, un sistema regenerativo de soporte vital era deseable. Sin embargo, para ello era necesario conocer tanto el organismo humano

¹⁶³ Munns, y Nickelsen, "To live among the stars," 3-4; Logsdon, "Space exploration," 251-52.

y sus desechos, como los ciclos de materia y energía y sus mecanismos; conocimiento que permitiría el reciclaje de desechos y la producción de alimentos a bordo.¹⁶⁴

Aparentemente, un sistema biológico regenerativo podría funcionar. La NASA entonces se volcó al estudio de “en qué consistía un ambiente viable para el ser humano y cómo estos ambientes podrían convertirse en una ecosfera autosuficiente y estable.”¹⁶⁵ A partir de entonces, la NASA se ha ocupado de desarrollar sistemas ecológicos cerrados (con funcionamiento cíclico) para los viajes espaciales tripulados, es decir, hábitats en ambientes controlados. Es importante notar que en estos hábitats el ser humano habría de ser reconceptualizado como parte del sistema ecológico, por lo que habría de formar parte de los ciclos de materia y energía, permitiendo que otros organismos consumieran sus desechos y a su vez consumiendo materia reciclada. En este marco, surge la propuesta del Alcatraz.¹⁶⁶

En 1966, los ingenieros sanitarios de UC Berkeley William Oswald y Clarence Golueke presentaron a la NASA el Alcatraz, un sistema bioregenerativo de soporte vital que podría dar sustento a una tripulación de 10 personas durante 5 años. El Alcatraz pretendía ser un sistema ecológico cerrado y controlable en cuyo núcleo se albergaran algas *Chlorella* (organismo modelo en la investigación en fotosíntesis) que, a través de su metabolismo, procesaran cíclicamente las excreciones humanas y proveyeran a la tripulación de oxígeno, agua y nutrientes. El Alcatraz sería entonces un sistema ecológico en miniatura, donde se construirían tecnológicamente las condiciones ambientales de vida para los organismos, al mismo tiempo que los mecanismos del flujo de energía y materia entre éstos.¹⁶⁷

El diseño del Alcatraz, que inició a finales de la década de 1950, se nutrió con los avances en la teoría de la ecología de ecosistemas y, a su vez, la fortaleció, pues constituyó un experimento pre-teórico, un incentivo y una prueba a la teoría, y posteriormente, también una demostración de que la teoría, bien fundamentada, funcionaría de ser aplicada. A

¹⁶⁴ Munns, y Nickelsen, “To live among the stars,” 3-5.

¹⁶⁵ Munns, y Nickelsen, “To live among the stars,” 5.

¹⁶⁶ Munns, y Nickelsen, “To live among the stars,” 6-9, 16.

¹⁶⁷ Munns, y Nickelsen, “To live among the stars,” 10-14.

propósito, el ecólogo G. Dennis Cooke hizo un capítulo para la tercera edición (1971) del libro *Fundamentals of Ecology* de Eugene P. Odum, donde desarrolla los criterios que debería cumplir un sistema de soporte vital similar al planteado por el Alcatraz. Asimismo, sugiere las limitantes de un sistema tan “simple” ecológicamente como el Alcatraz y concluye que tal sistema debería de contener múltiples especies para mantener el equilibrio, de preferencia especies de interés o utilidad para la humanidad.¹⁶⁸ Además, Cooke plantea el imperativo de acelerar la investigación y el desarrollo de sistemas ecológicos cerrados, pues, ante la emergente crisis ambiental desde la segunda mitad del siglo XX, parece necesario identificar el “ecosistema mínimo” necesario para la supervivencia del ser humano en la Tierra.¹⁶⁹

Aunque en la década de 1970 el ímpetu por los viajes espaciales amainó y el presupuesto dedicado a ello cayó drásticamente,¹⁷⁰ el Alcatraz es un precursor de múltiples proyectos que buscan identificar y reproducir las condiciones necesarias para la vida humana dentro y fuera del planeta Tierra, entre los que destacan la *Biosphere 2*, que abordaré más adelante.¹⁷¹

Como ilustra el Alcatraz, a partir de la década de 1960, la ecología de sistemas comenzó a nutrir muchos de los intentos por generar espacios confinados y autosuficientes; esto es, ambientes controlados con flujos y reciclaje de materia configurados de modo tal que permitan la subsistencia sostenida de vida. De igual forma, la ecología de sistemas se nutre de los ambientes controlados. E. Odum, por ejemplo, reconoció lo importantes que fueron para él los estudios fisiológicos sobre la influencia de las condiciones ambientales en el desarrollo de los organismos; condiciones que se estudian en fitotrones, como pueden ser

¹⁶⁸ Munns, y Nickelsen, “To live among the stars,” 1-2, 16-17; Cooke, “Ecology,” 498-509.

¹⁶⁹ Cooke, “Ecology,” 508-9.

¹⁷⁰ Munns, y Nickelsen, “To live among the stars,” 18-19.

¹⁷¹ Se ha publicado recientemente un libro de David P. D. Munns y Kärin Nickelsen que aborda proyectos estadounidenses y soviéticos (de la década de 1960 a la de 1990) de soporte vital de largo plazo en el espacio exterior. A la fecha de término de edición de este trabajo, tal libro no ha sido consultado aún, aunque es previsible que profundice en algunos de los proyectos aquí descritos. David P. D. Munns y Kärin Nickelsen, *Far Beyond the Moon: A History of Life Support Systems in the Space Age* (University of Pittsburgh Press, 2021), ISBN-13: 9780822946540.

características del suelo, temperatura, iluminación, radiación solar, fotoperiodicidad, humedad y composición del aire.¹⁷² Asimismo, los ambientes controlados permiten visibilizar las interacciones y flujos en un espacio claramente delimitado y sin injerencia de causas externas –a diferencia de los ecosistemas–, por lo que se convirtieron en espacios de interés para la investigación en ecología de ecosistemas.

Al interés ecológico en los ambientes controlados como laboratorios, se sumó el interés por conocer las condiciones necesarias para la vida –especialmente la humana– sobre la Tierra o fuera de ella y la preocupación por el destino de los contaminantes radioactivos y químicos en los sistemas ecológicos, de la cual *Primavera Silenciosa* de Rachel Carson (1962) es un emblema y un parteaguas. En el centro de todo ello se encontraba la perspectiva de ecosistemas y sus ciclos y flujos de materia y energía, que revelan que existen múltiples conexiones y relaciones en los sistemas, ocasionando que en su interior se comparta vida, espacio, recursos e, incluso, destino.

En este contexto científico y enmarcada en un contexto social de ambientalismo emergente, de recrudescimiento de la Guerra Fría y posibilidades de un holocausto nuclear, y en plena Era Espacial, surgió la narrativa de la Astronave Tierra (*Spaceship Earth*). La metáfora fue planteada en 1965 por el embajador de los Estados Unidos ante la Organización de las Naciones Unidas.¹⁷³ La Astronave Tierra establece un marco de representación en la que se compara a la Tierra con una nave espacial y a toda la humanidad con sus tripulantes. De acuerdo con la metáfora, como en una nave espacial, la Tierra cuenta con recursos limitados y las características de la “cápsula” hacen que lo que se hace en una parte de ella tenga repercusiones en otra, y que la destrucción y degradación generada pueda eventualmente producir consecuencias que en alguna forma amenacen la supervivencia en la Tierra.¹⁷⁴

Esta metáfora se fortaleció con las imágenes de la Tierra vista desde el espacio, que comenzaron a producirse en la década de 1960 y entre las que destacan las fotografías de las

¹⁷² Odum, *Fundamentals*, 33-53.

¹⁷³ Höhler, “The environment,” 40-41.

¹⁷⁴ Höhler, *Spaceship Earth*, 60-66.

expediciones *Apollo 8* a *17* (1968-1972), que muestran una Tierra entera, limitada y aislada. La narrativa se popularizó en diversos países y fue cobrando fuerza. En ese contexto, la *Astronave Tierra* representaba un llamado a que la humanidad reconociera su interconexión e interdependencia, entre sí y con la Tierra, y a que se uniera con corresponsabilidad a mantener el sistema de soporte vital (la biósfera) y la vida misma. El concepto se conectó claramente con el discurso ecológico de sistemas de la época y el ambientalismo creciente, así que también constituyó parte del llamado a una administración inteligente, probablemente mediada tecnológica y científicamente, de los *recursos*, de la sociedad y de la vida.¹⁷⁵



Figura 8. *La Tierra vista desde la Luna (1968). Fotografía tomada por la misión Apollo 11 antes del aterrizaje. Obtenida vía Flickr (Project Apollo Archive), código AS11-44-6550. Dominio público.*

¹⁷⁵ Höhler, *Spaceship Earth*, 61-76; Poole, "What Was Whole," 213-14, 222-24. Es evidente que esta racionalidad tiene tintes tecnocráticos. A propósito de la tecnocracia en la ecología de sistemas, ver Taylor, "Technocratic Optimism," 213-44. y Höhler, *Spaceship Earth*, 69-75. Sabine Höhler describe brevemente en qué consiste el giro administrativo de la conservación en las décadas de los setenta y los ochenta, como parte del cual surge el discurso de la sustentabilidad y las Cumbres de la Tierra a partir de 1972. Este giro tecnocrático convierte a la biósfera y a las poblaciones humanas en objetos científicos. Höhler, *Spaceship Earth*, 66-75, 89-90.

Es claro que la idea de la humanidad como tripulante de la Tierra coloca el peso de la agencia y, por ende, la responsabilidad, en la humanidad. La agencia además implica poder y capacidad de intervención y dirección e, incluso, ante una amenaza, obligación de acción. Consecuentemente, la narrativa propicia la apropiación de la Tierra de múltiples formas, desde la representación hasta la intervención. La ecología de ecosistemas se tornó así en una herramienta más para esta apropiación.

La narrativa de la Astronave Tierra permeó en la comunidad de ecólogos y éstos elaboraron el concepto. Ecológicamente, la Astronave Tierra sería un macrosistema, con flujos y reciclaje de materia y energía, cíclico, cuya entrada de energía principal sería el Sol.¹⁷⁶ E. Odum, en su libro *Ecology* de 1963 (hecho para una persona lectora menos familiarizada con el tema) y en la tercera edición de su libro *Fundamentals of Ecology* de 1971 –coincidente con el desarrollo del programa espacial estadounidense– hizo alusión al concepto e, incluso, se auxilió de la idea de la nave espacial autónoma (*Spacecraft Earth*; autónoma en el sentido de cerrada e independiente porque contiene en sí todo lo que necesita) para explicar los ecosistemas:

“Tal vez la mejor manera de visualizar al ecosistema es pensar en los viajes espaciales, pues cuando el hombre abandona la biósfera debe llevar consigo un ambiente cerrado y bien delimitado que debe satisfacer todas las necesidades vitales [...]. Para viajes largos, como los viajes a los planetas, el hombre debe ingeniárselas para crear una nave espacial más cerrada o regenerativa. En un sentido muy real, la nave espacial autónoma es un microecosistema que contiene al hombre.”¹⁷⁷

Aquí nuevamente encontramos el diálogo entre la ecología de ecosistemas y los ambientes controlados. La cita anterior de E. Odum es un claro ejemplo de la nueva conceptualización ecológica que enmarcó a la naturaleza en términos de ecosistemas autónomos y autosuficientes y, en este sentido, la construyó como un “objeto de la experticia científica y

¹⁷⁶ Höhler, *Spaceship Earth*, 66, 76.

¹⁷⁷ Odum, *Fundamentals*, 3ª ed., 22.

tecnológica.”¹⁷⁸ A partir de la modelación ecológica en sistemas, especialmente la que formuló H. T. Odum, y la política de colonización del espacio exterior, la práctica ecológica se transformó, no sólo en sus conceptualizaciones, sino en sus formas de intervenir sobre los ecosistemas. Una forma importante de intervenir sobre ellos fue adaptarlos a los imperativos de la Era Espacial y de la Guerra Fría, o crearlos para atender estos contextos. De esta manera, a partir de la década de los años setenta, la ecología de sistemas nutrió muchos de los intentos por generar espacios o hábitats confinados y autosuficientes, derivando en una ecología meramente funcional: la “ecología de cabina”.¹⁷⁹

Esta nueva epistemología se convirtió en un modelo para comprender la vida en la Tierra, lo que supone cambios profundos. Conforme a ella, la Tierra, por una parte, además de ser concebida como un *sistema*, se concibe como el ambiente que sustenta la vida; un ambiente que, a partir de su factorización y con herramientas de la cibernética, la ingeniería y diversas tecnologías, pareciera susceptible de ser comprendido y controlado en su totalidad, como otros ecosistemas. Por otra parte, se construye a la vida como el producto de un sistema de soporte vital, constituido por “servomecanismos cibernéticos”¹⁸⁰ que son partes sustituibles, eficientes y reemplazables. Esta retórica provee de una “arquitectura teórica para percibir el ambiente terrestre” que se lo apropia y pervive en futuros proyectos de creación de ecosistemas, como la *Biosphere 2*, hasta la fecha.¹⁸¹

¹⁷⁸ Höhler, “The environment,” 41.

¹⁷⁹ Anker, “Closed world,” 528-29. Peder Anker profundiza sobre la relación –durante las décadas de los años sesenta y setenta del siglo XX– de la ecología con los viajes espaciales, tanto en la innovación tecnológica, arquitectónica y científica, como en conceptos, narrativas y percepción popular; Anker, “Closed world,” 527-52.

¹⁸⁰ La Real Academia Española define un servomecanismo como un “sistema electromecánico que se regula por sí mismo al detectar el error o la diferencia entre su propia actuación real y la deseada”. He decidido conservar esta definición ya que es similar a la definición en inglés del Collins English Dictionary y la Encyclopaedia Britannica, pero además de la definición estrictamente cibernética, la traducción me conmueve porque la idea de un servomecanismo que se conforme a la actuación esperada de él entraña el instrumentalismo de los “sistemas de soporte vital” tan característico de estos discursos de corte espacial. “Servomechanism;” Encyclopaedia Britannica, “Servomechanism;” Diccionario de la Lengua Española, “Servomecanismo;” cfr. Höhler, “The environment,” 49.

¹⁸¹ Cfr. Höhler, “The environment,” 41, 43, 49, 50, 74-76.

C 2.3 ¿Una copia de la Tierra? La *Biosphere 2*

La noción de la biósfera como la capa de la Tierra formada por las comunidades biológicas y su ambiente, como un sistema cerrado y con procesos de reciclaje, que desarrolló el ruso Vladimir Ivanovich Vernadsky a principios del siglo XX, fue sumamente influyente en el desarrollo de los ambientes controlados. En primer lugar, porque esta teoría sentó las bases del estudio de los ciclos biogeoquímicos en la Tierra (y de esta manera influyó directamente sobre la conceptualización de los ecosistemas); y, en segundo lugar, porque la noción del reciclaje de materia para el soporte de la vida se tornó en algo central en los ambientes controlados con miras a viajes espaciales. Ejemplo de ello son los proyectos *Bios* soviéticos. El *Bios-1* fue desarrollado en 1965, antes del Alcatraz, y consistía en un ambiente controlado donde se buscaba regenerar, a través de algas *Chlorella vulgaris*, la atmósfera necesaria para la supervivencia de un ser humano encapsulado. En 1968 se adjuntó a este proyecto una segunda cámara para albergar plantas superiores, a la que los mismos creadores llamaban fitotrón.¹⁸²

En 1972 la Unión Soviética desarrolló el *Bios-3*, que consistió en un espacio subterráneo sellado herméticamente con superficie de 126m² y una altura de 2.5m. A diferencia de los *Bios-1* y 2, el *Bios-3* está compuesto por un compartimento que funciona como habitación para tripulantes y como cuarto de control, y otros tres compartimentos ocupados por fitotrones que son espacios de cultivo y de purificación de aire. Con la finalidad de poner a prueba este sistema ecológico cerrado, entre 1972 y 1984, se llevaron a cabo tres experimentos de larga duración en los que se confinaron dos o tres tripulantes por periodos de tiempo entre 4 y 6 meses. Durante este tiempo, se pusieron a prueba las instalaciones, la capacidad del sistema de regenerarse, las condiciones generadas en su interior, el desarrollo vegetal, la alimentación y la salud de los tripulantes.¹⁸³

¹⁸² Salisbury, Gitelson, y Lisovsky, "Bios-3," 576-77; Höhler, "The environment," 42.

¹⁸³ Salisbury, Gitelson, y Lisovsky, "Bios-3," 577-81.

De manera análoga y siguiendo la noción de biósfera de Vernadsky, en 1983 comenzó a diseñarse la *Biosphere 2*, un proyecto estadounidense orientado a construir una micro-biósfera en una cápsula estrictamente regulada tecnológicamente. En 1984 comenzó la construcción del proyecto y, en 1986, los creadores recibieron asesoría por parte de algunos integrantes del Bios-3; incluso, en 1989 éstos visitaron la *Biosphere 2* y los “biosferianos” visitaron el Bios-3 siberiano, con la anuencia de Mikhail Gorbachev. El proyecto comenzó sus operaciones en 1988 y su primer experimento de larga duración fue en 1991.¹⁸⁴

La *Biosphere 2* buscaría construir una segunda biósfera, un sistema sinérgico que replicara el funcionamiento de la “Biósfera 1”, la Tierra. Para ello, requeriría integrar diversos subsistemas: biomas complejos modelados sobre ecosistemas de América (desierto, manglar, arrecife de coral, selva tropical, pantano, pastizal, sistema de agricultura intensiva y hábitat humano), sus suelos y condiciones ambientales, fenómenos naturales (lluvia, viento, oleaje), procesos ecosistémicos (ciclos biogeoquímicos, reciclaje de agua, nutrientes y desechos, sucesión ecológica) y cerca de 3000 especies animales y vegetales (excluyendo la microbiota del suelo), incluido el ser humano.¹⁸⁵

El proyecto abarca una superficie de 1.2 hectáreas en el desierto de Arizona. Tal superficie representa el doble reto de albergar a una versión miniatura de la Tierra en tan pequeño espacio que, al mismo tiempo resulta gigantesco para ser controlado en su totalidad. Dada la complejidad y dimensión del proyecto, la *Biosphere 2* requirió de la confluencia de múltiples disciplinas: ingenierías diversas, arquitectura, biología, ciencias de sistemas, ecología, informática, cibernética, entre otras. Fue financiada por entidades privadas (entre las que destaca la compañía Space Biospheres Ventures) y asesorada por consultores de varias universidades (algunos ecólogos de sistemas, como los hermanos Odum; en particular

¹⁸⁴ Nelson, *Pushing Our Limits*, 5-8, 32; Gertcyk, y Salnitskaya, “Russian experiment;” Nelson et al., “Closed Ecological,” 225, 228; The University of Arizona, “About Biosphere 2;” Höhler, “The environment,” 42; cfr. Vernadsky, *The Biosphere*.

¹⁸⁵ Nelson et al., “Closed Ecological,” 225-32; Nelson, *Pushing Our Limits*, vii-viii; Höhler, “The environment,” 40.

Howard Odum asesoró en la ingeniería ecológica), instituciones internacionales, científicos rusos y por la NASA.¹⁸⁶

Todavía enmarcado en la Era Espacial y en resonancia con el concepto de la Astronave Tierra, en la creación de este proyecto imperaba la necesidad de modelar los “sistemas de soporte vital” terrestre y al mismo tiempo de dar cauce a crecientes preocupaciones ambientalistas y ecológicas. En este marco, la *Biosphere 2* prometía ser un nuevo tipo de laboratorio de investigación biológica sobre diversos niveles de organización en la naturaleza: organismos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y biósfera. Tal sistema permitiría conocer a detalle los impactos de la actividad humana sobre los ecosistemas, comprender mejor los procesos biológicos y ecosistémicos, modelarlos, experimentar con ellos, mejorarlos o restaurarlos y, eventualmente, “armonizar los sistemas vivos con tecnologías de soporte ambiental”. Así, se creía que, por vía de la intervención tecnológica, la *Biosphere 2* aportaría los conocimientos necesarios para una mejor gestión ambiental en la Tierra y para que eventualmente la humanidad pudiera migrar a otros planetas –sobre todo si los viajes espaciales progresaban y la Tierra continuaba deteriorándose.¹⁸⁷

La *Biosphere 2* es entonces una miniaturización de la Tierra que encarna el contexto de modernidad, optimismo tecnológico de la Guerra Fría y tecnocracia para la gestión del mundo natural y social. Además, desde la epistemología de sistemas de las ciencias ecosistémicas involucradas en la *Biosphere 2*, ésta es una materialización de la comprensión de la Tierra como un sistema de soporte vital; y de la biósfera como un sistema “capaz de soportar seres humanos y sus tecnologías”.¹⁸⁸ Pero esta comprensión reduccionista presenta complicaciones.

¹⁸⁶ Nelson et al., “Closed Ecological,” 225-35; Höhler, “The environment,” 40, 47; Nelson, *Pushing Our Limits*, vii-viii, 9.

¹⁸⁷ Nelson et al., “Closed Ecological,” 225, 234-35; Höhler, “The environment,” 40-41, 46; Anker, “Closed world,” 536, 540, 543.

¹⁸⁸ Nelson et al., “Closed Ecological,” 225, 228; cfr. Höhler, “The environment,” 41, 43, 45, 49; Anker, “Closed world,” 531.

En 1991, la *Biosphere 2* fue sellada para un experimento de dos años, enclaustrando a ocho habitantes “biosferianos”, quienes enfrentaron en el sistema escasez de alimentos, pérdida de biodiversidad, crisis ecológica, desequilibrios poblacionales y alteraciones en la concentración de oxígeno respirable; todo lo cual es claro indicador de múltiples desequilibrios en el sistema. Entonces, resultó evidente que la expoliación que se hizo de numerosas regiones para extraer especies, suelo y agua –por ejemplo, de la península de Yucatán y el Caribe se extrajo coral– e importarlos a la *Biosphere 2*, así como su ensamblaje en una serie de condiciones predefinidas y modeladas cautelosamente, no fue suficiente.¹⁸⁹

La concepción de la biósfera como una máquina susceptible de ser explotada, mejorada y optimizada fue puesta a prueba y demostró ser insuficiente. Evidencia de esta concepción es precisamente el proceso de construcción de la *Biosphere 2*, que requirió del uso ingente de materiales y tecnología, de la extracción de suelo, agua y especies de sus ecosistemas, con la finalidad de conocer, manejar y re-crear esos mismos ecosistemas que fueron fragmentados para su construcción. A pesar del cuidado extremo que se invirtió en la creación de este espacio, se demostró que siempre hay variables y procesos que se terminan escapando al cálculo y la modelación. Esto, paradójicamente, condujo a revalorar la infinidad de procesos que lleva a cabo la Tierra por sí sola y a estimar los costos de diseñar, generar y mantener un sistema *ingenierizado* (servomecanismos cibernéticos) que supliera estas funciones. De ahí surgieron nociones como “servicios ecosistémicos” o “ambientales” y “ecotecnias”, nociones que valorizan y monetizan los procesos naturales y posibilitan pensar en maneras de intervenirlos tecnológicamente o sustituirlos, de modo que satisfagan las necesidades y deseos de sus creadores.¹⁹⁰

¹⁸⁹ Nelson, *Pushing Our Limits*; Nelson et al., “Closed Ecological,” 229-34.

¹⁹⁰ Höhler, “The environment,” 2010, 41-43, 45, 49-50, 52; Sörlin, y Wormbs, “Environing technologies,” 112-13; Nelson, *Pushing Our Limits*, 35; Nelson et al., “Closed Ecological,” 227. Granjou y Walker definen los servicios ecosistémicos como la “[redefinición] de las funciones de los ecosistemas como servicios económicos prestados a las sociedades, incluyendo la producción de alimentos y la purificación del agua [...], o la regulación climática [...]”; Granjou, y Walker, “Promises that Matter,” 51.

En conclusión, la *Biosphere 2* es un caso claro donde la representación y la intervención se entrelazan cercanamente, pues la forma de generar conocimiento es a través de la intervención. Concebida como una herramienta para la investigación y experimentación científica, esta instalación es un espacio para la ingeniería de los ecosistemas, la experimentación con la vida y la reconceptualización de la naturaleza.



Figura 9. La Biosphere 2. En la fotografía se observan los domos que albergan los ecosistemas de selva y el humano, así como uno de los “pulmones” que posibilitan el reciclaje del aire en el complejo. Fotografía obtenida de Flickr (Frost Museum), “Blog4AAA2016-02-26 13.01.05”, con licencia CC BY 2.0.

C 2.4 El Ecotrón: ¿ecosistemas controlados?

La *Biosphere 2* representó un parteaguas en la continua escala creciente de los ambientes controlados, tanto en las dimensiones físicas de los proyectos subsecuentes, como en sus ambiciones.¹⁹¹ Hacia el final de la Guerra Fría, la *Biosphere 2* y otros proyectos habían demostrado que era posible producir, no sin dificultad ni fallos, ecosistemas enteros en

¹⁹¹ Höhler, “The environment,” 48.

ambientes controlados y que en ellos era posible gobernar y reproducir algunos de los procesos naturales locales y globales; ya fuera para crear sistemas de soporte vital o para investigación ecológica. Una vez terminada la Guerra Fría, la investigación en ambientes controlados continuó y se robustecieron enfoques e investigaciones que habían comenzado con los movimientos ambientalistas de los años sesenta y setenta, y que habían pasado a centrarse en el estudio de las dinámicas en la Tierra que permitían la vida o que la podían destruir; prominentemente, el cambio climático. El Ecotrón se enmarca justo en este momento.

El Ecotrón fue creado en 1989 como parte del Centre for Population Biology, en Silwood Park, Inglaterra. El Centro fue financiado por el Natural Environment Research Council del Reino Unido y diseñado en el Imperial College de Londres. El director del Centro, desde su creación, fue John Lawton, quien a su vez fue pupilo de John Phillipson, un entomólogo especializado en la energética ecológica, siguiendo a los hermanos Odum y su enfoque de sistemas. Claramente, el Ecotrón fue un heredero directo del fitotrón de Frits Went. Primero, porque pese a la distancia temporal entre ambos, el Ecotrón también fue un ambiente compartimentado y ampliamente controlado tecnológicamente, creado específicamente para investigación biológica y ecológica. Segundo, porque tanto el fitotrón como el ecotrón son emblemáticos en el distanciamiento del vitalismo por parte de la ecología, pues se trata de máquinas cibernéticas de creación, a voluntad, de condiciones de vida.¹⁹²

El Ecotrón de Silwood Park consistió en un laboratorio diseñado para albergar investigación básica sobre ecología, a través de la producción de ecosistemas simplificados y su manipulación, y donde fuera posible conjuntar aproximaciones experimentales, de campo y modelaciones matemáticas. El Ecotrón se construyó con 16 cámaras que pudieran albergar microecosistemas terrestres a partir de la conjunción de condiciones ambientales, comunidades experimentales (hasta 30 especies vegetales y animales por cámara, con

¹⁹² Gay, *Silwood Circle*, 236-37, 239-40; Munns, "The phytotronist," 38-39; Granjou, y Walker, "Promises that Matter," 52-53; cfr. Granjou, y Walker, "Promises that Matter," 55; Lawton et al., "The Ecotron," 181-94.

múltiples generaciones) y su ensamblaje cuidadoso a través de redes alimenticias (hasta cuatro niveles tróficos). Cada cámara estaría controlada por computadora y tendría una capacidad de 8m³, las cuales se podían combinar para instalar ecosistemas más grandes. En cada cámara se controlaban las condiciones ambientales y los organismos, y se llevaba a cabo un monitoreo y registro automático de las condiciones de los ecosistemas.¹⁹³

En el Ecotróon confluyen múltiples intenciones que atienden a diversas necesidades de la comunidad científica ecológica, como: a) materializar las ambiciones de que la ecología sea reconocida como una ciencia “dura”, predictiva y útil a la humanidad en un contexto de crisis ambiental; b) albergar en un mismo espacio diversas ramas de la investigación biológica, lo que sienta un precedente para la unificación del enfoque experimental en fisiología vegetal y en ecología; c) poner a prueba el conocimiento ecológico al confrontar los ecosistemas naturales con los ecosistemas fabricados, así como las teorías ecológicas; d) facilitar la experimentación ecológica al permitir estudiar ecosistemas simplificados y miniaturizados, lo que reduce costos, tiempos y complicaciones de la investigación en campo; e) generar condiciones experimentales imposibles en campo, pues permite la repetición de los experimentos, impone una estricta regulación sobre éstos y en su interior se aceleran los procesos ecosistémicos; f) generar puentes realistas entre los ecosistemas de laboratorio – de dimensiones mucho menores que los naturales y de complejidad reducida– y los naturales; así como entre la escala y la complejidad del mundo real y los modelos matemáticos; g) posibilitar un sistema termodinámico cerrado, con máximo control de los flujos de materia y energía, su medición y manipulación precisas.¹⁹⁴

Si bien el Ecotróon es una herramienta importante para la ecología debido a que atiende dichas necesidades, su existencia es la manifestación de un entramado conceptual,

¹⁹³ Gay, *Silwood Circle*, 240; Lawton, “The Ecotron Facility at Silwood Park,” 665, 667; Granjou, y Walker, “Promises that Matter,” 50; Lawton et al., “The Ecotron,” 181-94.

¹⁹⁴ Resulta evidente que muchas de las intenciones aquí manifestadas están presentes en la ecología desde mediados del siglo XX, cuando los ecólogos intentaban realizar experimentos repetibles y adoptar enfoques fiscalistas que dotaran de legitimidad científica a su disciplina. En el capítulo B profundicé al respecto. Lawton, “The Ecotron Facility at Silwood Park,” 667, 668; Granjou, y Walker, “Promises that Matter,” 49-67; Lawton et al., “The Ecotron,” 181-84, 190-92.

epistemológico, práctico y hasta ontológico particular en torno a los ecosistemas. Aunque se considera que el Ecotróon posibilita la reproducción de ecosistemas naturales (mediante la replicación y miniaturización), no se los emula directamente, sino que los ecosistemas fabricados en él son modelos realizados a partir de rasgos considerados universales en los ecosistemas terrestres. Dichos “rasgos universales” están materializados en condiciones ambientales replicables y en organismos que cumplen funciones específicas en los ecosistemas. De esta manera, al replicar condiciones ambientales e identificar variables con funciones, sería posible realizar y repetir experimentos complejos en el Ecotróon, identificar de manera precisa los factores involucrados en las dinámicas ecológicas y desarrollar una ingeniería ecológica capaz de construir sistemas de soporte vital e intervenir sobre los existentes.¹⁹⁵

Asimismo, el Ecotróon representa una reconfiguración de los valores asociados a la ecología. Por una parte, la intervención sobre los ecosistemas que el Ecotróon encarna detona una conceptualización reduccionista de los ecosistemas, enfocada en el ensamblaje de partes funcionales. Esto aproxima fuertemente la ecología a la ingeniería. Por otra parte, el entorno de crisis ecológica que el cambio climático detona, redirige los esfuerzos en esta ecología hacia la intervención (ya sea a través de la educación, de su participación en la política ambiental, de activismo social, de acciones para la conservación, entre otros), hacia la investigación con miras a mejorar las circunstancias, a la optimización de procesos e, incluso, a la posible sustitución de procesos naturales ante su desaparición. En este contexto, la ecología se adjudica la responsabilidad y capacidad de intervenir directamente sobre la gestión del planeta, de sus “recursos” y habitantes. Dicha intervención necesariamente sería tecnocrática, dirigida por el conocimiento y la capacidad técnica ecológica, así como por una noción utilitaria de las entidades ecológicas, como la idea misma de los “servicios ecosistémicos” ejemplifica.

¹⁹⁵ Gay, *Silwood Circle*, 240-41; Lawton, “The Ecotron Facility at Silwood Park,” 666-67; Granjou, y Walker, “Promises that Matter,” 54-55, 59, 61; Lawton et al., “The Ecotron,” 181, 183-84, 191-92.

Hoy día, los ambientes controlados donde se producen ecosistemas con estos fines han sido denominados de manera genérica ecotrones, y la trama de la que hablo se ha extendido.¹⁹⁶ En los ecotrones vemos la culminación de la reducción de la vida a la suma de las condiciones ambientales y el genotipo, donde las condiciones y procesos ambientales son el sistema de soporte vital. Asimismo, vemos la *ejecución* del concepto de ecosistemas como *sistemas*, donde la representación del sistema permite intervenir en la manera de conceptualizar, estudiar, pensar y *habitar* el ecosistema.

En este capítulo he revisado la trayectoria de diversos ambientes controlados que operan a diversas escalas y cuya finalidad es modelar seres vivos y las condiciones que posibilitan su existencia. A pesar del gran costo que implica su diseño, construcción y operación, han sido ampliamente usados en gran parte del mundo y, en buena medida, esto se debe a que son herramientas importantes para investigación, docencia, conservación y aumento de la producción agrícola, por mencionar algunas aplicaciones.¹⁹⁷

En cada uno de los casos ha sido posible observar cómo la teoría y los modelos transitan hacia la materialidad, migrando de una intervención conceptual-epistémica a una intervención material-vital, que a su vez genera nuevas representaciones e intervenciones. No deja de ser interesante que, como en el caso de la radioactividad, las propias herramientas que se emplean para conocer el mundo de la vida juegan un rol importante en su destrucción, en su deterioro o en su menosprecio. Al mismo tiempo, la visibilización de la complejidad de los procesos vitales y de la Tierra, permite que se realicen esfuerzos por conservarlos, por participar armoniosamente de ellos y por mejorarlos. En el capítulo E profundizo al respecto.

¹⁹⁶ Un ejemplo de ello es el Ecotróon de Montpellier; Granjou, y Walker, "Promises that Matter," 55. Jacques Roy et al. hacen un recuento contemporáneo de diversos ecotrones en el mundo y sus características; Roy et al., "Ecotrons," 1387-407.

¹⁹⁷ Downs, "Phytotrons," 448-54, 483-85.

En el siguiente capítulo abordaré otro de los puertos a que condujeron los fitotrones como ambientes controlados. Al representar una oportunidad única para la comprensión del ambiente de las plantas y su influencia sobre ellas, los fitotrones permitieron manipular más certeramente la vida vegetal y, entre otras cosas, desarrollar nuevas variedades. Un caso emblemático de este tipo de intervenciones es la Revolución Verde, por lo que me concentraré en ella. En el comienzo de la Revolución Verde –en México en los años cuarenta– los fitotrones apenas comenzaban a ser conceptualizados y para el mejoramiento de variedades se recurría a prácticas de crianza y al control de las condiciones ambientales (ya fuera en diferentes geografías o en invernaderos). Fue hasta 1960 que los fitotrones se incorporaron a la gama de instrumentos de la Revolución Verde.

A fin de no interrumpir la narrativa y profundizar sobre diversas formas de control e intervención sobre la vida y sus implicaciones, el capítulo siguiente se complementa con un Anexo donde exploro los orígenes de la Revolución Verde, sus pretensiones y la manera en que se articuló el estudio fitocientífico con la política, el discurso del desarrollo y del combate al hambre, así como con intereses económicos y geopolíticos. Allí abordaré la manera en que dicha articulación desembocó en el empleo de ambientes controlados y, eventualmente, fitotrones como medio –entre una multiplicidad de medios– para la modernización, el combate al hambre y al comunismo, el control biológico y el social, en el contexto de la Revolución Verde.¹⁹⁸ De esta manera, buscaré ilustrar cómo, en la segunda mitad del siglo XX, los ambientes controlados sirvieron tanto a la fitotecnia como a la Revolución Verde, al materializar la racionalidad del ambiente controlado y del fitotrón, consistentes en un férreo control del organismo, y aplicarla para generar organismos y sociedades *ad hoc*.

¹⁹⁸ Que, como bien apunta Cullather, en este contexto se equipara a desarrollo; Cullather, “Development?,” 643, 652. Anderson, “Origins,” 61-64; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 976-81.

D. La modernización agrícola desde México: cambios epistémicos en los albores de la Revolución Verde

«[...] La **modernización** indica simplemente un proceso de **reorganización** dentro de grupos o sociedades dedicados (directa o indirecta, voluntaria o involuntariamente) al esfuerzo de **incrementar el dominio** sobre el **medio ambiente físico** recurriendo a nuevos instrumentos y métodos. [...]

Pero el concepto de **desarrollo**, si algún sentido ha de tener, es ético: entraña un **juicio ético** respecto del proceso de **cambio**. [...]

Debe encararse la implicación real de **conflicto** que es inherente a la modernización: la probabilidad de que algunas personas **progresen a expensas** de otras. Y es preciso reconocer que la modernización puede conducir tanto al “**subdesarrollo**” o a un “no desarrollo” como al **desarrollo**.»¹⁹⁹

La Revolución Verde (RV) fue una serie de programas, iniciativas y acciones encaminados al aumento de la producción agrícola para combatir el hambre y prevenir escenarios catastróficos enraizados en una perspectiva maltusiana. El término “Revolución Verde” fue acuñado en 1968 por William Gaud, entonces administrador de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, organización creada en 1961 por el gobierno de John F. Kennedy, en plena guerra de Vietnam y en vísperas de la crisis de los misiles con Cuba), para referirse a los avances tecnológicos en la agricultura en los años

¹⁹⁹ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 11.

recientes, especialmente en Asia y principalmente por medio del desarrollo de nuevas variedades y de cambios en las prácticas e insumos agrícolas.²⁰⁰

Aunque es debatible cuándo dio comienzo la RV,²⁰¹ aquí defiendo que el proyecto después nombrado Revolución Verde comenzó con la búsqueda desde la década de 1940 por el aumento de la producción agrícola por medio de la introducción de un “paquete tecnológico” en las principales regiones que padecían hambre, pobreza, crecimiento demográfico acelerado y prácticas agrícolas consideradas deficientes; esto es, en el mundo “subdesarrollado”. Dicho proyecto se corresponde con el término, a pesar de que el término llegó dos décadas y media más tarde, debido a que tanto el término como el proyecto se cimentaron sobre los valores que refleja Gaud: neomaltusianismo, “desarrollo”, modernización, asistencia extranjera y la convicción de que la ciencia y la tecnología serían vías de solución y orden para el mundo. Dichos valores son claros si se consideran los rasgos que el discurso de la RV subraya sobre los “recipientes” de dichas innovaciones, pues se trata de países catalogados como subdesarrollados para los cuales el “desarrollo” podría quedar más al alcance gracias a la implementación de dicho “paquete tecnológico”, que consistiría en el empleo de mecanización, fertilizantes y pesticidas químicos, variedades mejoradas y

²⁰⁰ Gaud, “Can the World,” 11, <http://pubdocs.worldbank.org/en/20641399493354470/wbg-archives-1651741.pdf>; “USAID History,” Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 998.

²⁰¹ Harwood, por ejemplo, argumenta que la Revolución Verde comenzó en México en la década de 1940, pero que la fracción de la historia que comenzó en México ha sido “borrada” de mucha de la historiografía contemporánea debido a que se ha buscado que la Revolución Verde refleje grandes logros y cambios, resultados que son debatibles en el caso mexicano; Harwood, “Whatever happened,” 1243-52. Evenson y Golin, por otra parte, distinguen la Revolución Verde temprana (1961-1980) y la Revolución Verde tardía (1980-2000) con base en su impacto en diversas regiones del mundo y en las tendencias de producción; R. E. Evenson, y Gollin, “Assesing the Impact,” 760. En cambio, Soto Laveaga argumenta que la periodización de la RV que la ubica con el comienzo del PAM en México es sumamente conveniente al discurso asistencialista que asume equivocadamente que la transferencia del conocimiento es unidireccional y que va desde los países ricos hacia los países pobres o menos desarrollados. La periodización de la RV es para ella debatible en tanto se asocia a “una nueva era de la agricultura científica”, ignorando que en México antes del PAM ya había programas, iniciativas y especialistas orientados al desarrollo agrícola y que fueron suelo fértil para la implementación del PAM. Según Soto Laveaga, si consideráramos estos precursores, “[extenderíamos] las raíces de la Revolución Verde, no a una era de experimentación impulsada por el miedo a la revuelta de las masas hambrientas, sino a una era de entusiasmo revolucionario;” Soto Laveaga, “Socialist origins,” 352, 337-59.

nuevas prácticas agrícolas. Además, cabe mencionar que la idea de “desarrollo” durante la Guerra Fría estuvo estrechamente relacionada al anti-comunismo, lo que ilustra las intenciones profundamente políticas de la RV.²⁰²

La implementación de dicho paquete requirió no sólo de la creación de nuevas variedades agrícolas, ni del control genético y del ambiente de éstas; sino también de cambios en la estructura productiva, social e institucional, cambios que habrían de reflejar los valores de la “democracia”, del “desarrollo” y de lo “moderno”. Las instituciones que se asumieron como “responsables” de trasladar y conducir dichos cambios, fueron los Estados Unidos de América y la Fundación Rockefeller, a quienes se sumaron progresivamente otros actores. En este contexto, la RV tuvo su proyecto piloto en el México de la década de 1940, y se fundó sobre las experiencias de “éxito” en la modernización agrícola de los Estados Unidos; y de ahí a su vez se exportó material, ideológica y científicamente a otros países “en desarrollo” en América Latina, Asia y África durante la segunda mitad del siglo XX.²⁰³

Entre las tecnologías que la RV exportó, además del mejoramiento de prácticas agrícolas y de variedades de interés agrícola, estuvieron los fitotrones. En el contexto de la RV y la Guerra Fría, la racionalidad de los fitotrones complementaba a la racionalidad de la RV, cuyo eje era la materialización del control máximo del organismo, para el beneficio (y control también) de entidades productoras, comercializadoras, políticas y consumidoras. Pero la racionalidad compartida no era el único motivo para el interés de la RV en los fitotrones. El control no sólo era una forma de conocer e intervenir sumamente afamada y por ende deseable, sino que había que emplear las tecnologías que permitían tal control; los fitotrones, pues permitirían generar organismos “perfectos”: uniformes, productivos, resistentes. De esta manera, el éxito de la RV en la generación de organismos con rasgos deseables (aunque

²⁰² Hewitt de Alcántara, “The ‘Green Revolution’,” 35; cfr. Gaud, “Can the World”; cfr. “March 12, 1947: Truman Doctrine”; cfr. “January 20, 1949: Inaugural Address.”

²⁰³ Cfr. Matchett, “At Odds over Inbreeding,” 345-72; cfr. Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 457-83; “Natural Sciences;” Curry, “Working collections,” 2; Chandler, *An Adventure in Applied Science*, 156-57; cfr. G. Ortiz Ferrara pp. 48-59. En el Anexo abordo la historia de las primeras décadas de la Revolución Verde, principalmente el Programa Agrícola Mexicano (PAM, 1943-1965).

no eran enteramente perfectos), impulsó el alcance global también de las prácticas y herramientas que permitían crear tales organismos y producciones agrícolas asociadas. Sobre la base de estas experiencias, la RV movilizó a los llamados países del Tercer Mundo (denominación que, junto con otras, se ha descartado hoy en día, pero que era la usada por los actores contemporáneos).

En este contexto y debido a sus nuevas prácticas fitotécnicas, la RV detonó cambios en la estructura agrícola de los países “subdesarrollados” o “tercermundistas”; cambios que, a su vez, tuvieron implicaciones sobre la forma de conocer e intervenir a los organismos, sobre sus formas de producción y de representación. En el Anexo detallo las primeras décadas de la RV y el México en el que se insertó; por lo que aquí me limitaré a hacer un breve recuento de este periodo, para después profundizar sobre los cambios epistémicos que la RV detonó en la práctica fitocientífica relacionada a la producción de alimentos durante la RV. Dichos cambios surgieron de la asociación entre, por una parte, la experimentación, la práctica científica y las tecnologías, y, por otra parte, prácticas, políticas, valores, instituciones, discursos y aspiraciones –tales como el desarrollo y la modernización–. Tal confluencia detonó en el cambio de la vida social y la biológica, con alcances inesperados sobre la representación e intervención de la vida.

D1. Primeras décadas: control genético + cambio productivo-social

En 1943 comenzó la RV en México. Después de algunos años de que la Fundación Rockefeller (FR) considerara generar un proyecto de asistencia técnica agrícola en México, finalmente concertó ese año el comienzo del Programa Agrícola Mexicano (PAM) con el Gobierno de México, entonces a cargo de Manuel Ávila Camacho. El PAM estaría orientado

hacia el aumento de la productividad agrícola, que permitiría alcanzar la autosuficiencia alimentaria en México, ante la creciente población y urbanización.²⁰⁴

Como parte de este Programa surgió la Oficina de Estudios Especiales (OEE), organismo que se encargaría de aumentar la producción de alimentos en México a través de cambiar las prácticas agrícolas y de la fitotecnia. Además, la OEE habría de formar especialistas en estas capacidades. La fitotecnia en este contexto implicaba la mejora genética de las variedades agrícolas, el uso de insumos que potenciaran su productividad y el cambio de prácticas agrícolas para aumentar la productividad. A su vez, la fitotecnia requería de la recolección de miles de muestras vegetales, de investigarlas y experimentar con ellas para conocer la manera óptima de mejorar las variedades y aprovecharlas.²⁰⁵

Antes de la OEE ya había en México investigación fitotécnica en la Oficina de Campos Experimentales (OCE) desde la década de 1940, y que se había realizado en el Instituto Biotécnico y en la Escuela Nacional de Agricultura. La investigación en estas instituciones mexicanas había posibilitado la creación de Estaciones Experimentales en el territorio nacional, así como la recolección de germoplasma y la creación de variedades mejoradas; avances que, entre fricciones y colaboraciones, la OEE aprovechó para su propio programa. La OEE tenía notablemente más recursos y personal que los otros programas en México y esto, sumado a la atención recibida por parte de actores políticos y económicos poderosos, disminuyó tanto como opacó el alcance de las investigaciones en las otras instituciones.²⁰⁶

²⁰⁴ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 82-84; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 5-6; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 462-63; Oasa, y Jennings, "Investigación social en agricultura," 985-86; Barahona, "Genética en México," 433-34; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 32-33, 38.

²⁰⁵ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 86, 93, 103-4, 111-14, 117-18, 120, 125; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 32-35, 37-47; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 14, 35-36; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 122-24; Barahona, Pinar y Ayala, *La genética en México*, 102-6; Barahona, y Gaona, "Introduction of Plant Genetics," 155, 158; Barahona, "Genética en México," 434; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 474-77; "Mexico," Curry, "Working collections," 3-5.

²⁰⁶ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 31-32, 47, 53; Matchett, "At Odds over Inbreeding," 345-46, 353-59, 365; Barahona, y Gaona, "Introduction of Plant Genetics," 156; Barahona, "Genética en México," 431-32; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 93, 103-4, 113-14, 117-18, 124-25, 127-31, 137, 147; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 464-69, 474; Ocampo Ledesma et al., "Gilberto Palacios," 28-29; Soto Laveaga, "Socialist origins," 337-59. Soto Laveaga ilustra, a través del caso del agrónomo indio

En 1947 la OCE se transformó en el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA), y en 1960, como resultado de la optimización de recursos del gobierno, se unieron el IIA y la OEE en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Como resultado de esta unión, los investigadores de la FR y aquellos mexicanos formados en la OEE quedaron al mando de la fitotecnia mexicana, mientras que los mexicanos provenientes del IIA fueron desplazados o removidos; con ello, dominaron las prácticas estadounidenses de fitotecnia y modernización agrícola, al menos desde la década de 1950. Un rasgo notable de la fitotecnia estadounidense era su enfoque eminentemente experimental. Mientras que los agrónomos y otros especialistas mexicanos (fuera de la OEE) desdeñaban las prácticas experimentales por primar el desarrollo teórico, la corriente estadounidense buscaba experimentar para generar nuevas variedades y de esta manera aumentar la productividad agrícola, atendiendo la imperativa necesidad de alimentos. En 1965 terminó el PAM y el trabajo del INIA continuó siendo asesorado y dirigido por especialistas de la FR, aunque muchos mexicanos también ya habían asumido roles directivos y técnicos.²⁰⁷

Durante el PAM, la OEE se enfocó en aumentar la producción de alimentos (especialmente de maíz y de trigo, pilares económicos y de la alimentación en México, aunque también trabajó sobre otras especies) por medio de diversas vías. Por una parte, se desarrollaron distintas prácticas agrícolas, como la mecanización, la optimización del manejo del agua y del suelo, el uso de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes; por otra parte, se intensificó el estudio de las variedades y condiciones climáticas mexicanas, lo que permitió desarrollar variedades de alto rendimiento (híbridas, sintéticas, de polinización libre), resistentes a

Pandurang Khankhoje, la preocupación en México, antes de que llegara la FR, por mejorar la agricultura y las condiciones de los campesinos. El reconocimiento del trabajo en fitotecnia en México antes de la llegada de la FR revela, como dice Soto Laveaga, que las condiciones previas al PAM sin duda contribuyeron a que el trabajo realizado por la FR tuviera los alcances que tuvo. Asimismo, el reconocimiento de que los “recipientes” de la asistencia técnica no son sólo eso, sino co-constructores activos, permite des-centrar la narrativa y la perspectiva histórica. Soto Laveaga, “Socialist origins,” 337-59.

²⁰⁷ Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 463-65, 469, 474; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 46-47, 51-52; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 129-30, 137-38; Barahona, y Gaona, “Introduction of Plant Genetics,” 159; Barahona, “Genética en México,” 433; Roberts, “Rockefeller Foundation Program,” 297-300; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 14-15, 35-36; cfr. Harwood, “Peasant Friendly Breeding,” 384-410; cfr. Matchett, “At Odds over Inbreeding,” 345-72; “Mexico.”

plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas, así como responsivas ante los agroquímicos y nuevas prácticas.²⁰⁸

De esta manera, el mejoramiento de maíz y de trigo de la OEE requirió de cambios biológicos asociados a cambios científicos y tecnológicos. Dado que esta forma de producción generaba mayores rendimientos en términos de productividad y económicos, y al mismo tiempo requería de mayores insumos, la estructura económica y productiva mexicana se alteró y se polarizó. Los pequeños productores fueron desplazados en la estructura institucional y económica y se empobrecieron progresivamente, mientras que los grandes productores, con grandes extensiones de tierra y capital de inversión, aumentaron su productividad y se extendieron.²⁰⁹

La OEE impulsó principalmente el cambio biológico a través de la mejora de variedades. Como ya he dicho, las variedades mejoradas no sólo habrían de tener rasgos agronómicos deseables, sino que además deberían de responder de la manera deseada a los insumos agrícolas y a las prácticas de la nueva estructura productiva. En este sentido, aunque sí se logró aumentar la productividad de maíz, el mejoramiento del trigo tuvo particular éxito. La metodología predilecta para el mejoramiento de variedades trigueras fue la hibridación combinada con la *shuttle breeding*,²¹⁰ con lo que se controlaban las variables genética y

²⁰⁸ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 46-49; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 462, 467, 469; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 94-95, 97, 103-6, 109-20; Matchett, "At Odds over Inbreeding," 347-52, 360, 362; Ocampo Ledesma et al., "Gilberto Palacios," 30; Lazos Chavero, "De la agrobiodiversidad," 144.

²⁰⁹ Birn, "Wa(i)ves of Influence," 383-89, 393; Harwood, "Peasant Friendly Breeding," 386-87, 399-401; Harwood, "Whatever happened," 1246-48; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 32, 35-37, 42-45, 49-51, 56-98; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 109, 119-23, 132-33; Hewitt de Alcántara, "The 'Green Revolution'," 32-40; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 469-73; Oasa, y Jennings, "Investigación social en agricultura," 876, 976, 998-99; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 122-27; Barahona, y Gaona, "Introduction of Plant Genetics," 159-60; Lazos Chavero, "De la agrobiodiversidad," 142-48.

²¹⁰ La metodología de *shuttle breeding* fue una forma de crianza que consistía en extraer los rasgos más deseables de cada variedad (resistencia a la roya o poca sensibilidad al fotoperiodismo, por ejemplo) y aprovechar las diversas zonas ecológicas de México, el clima y las horas luz en ellas, para mudar de zona constantemente a las poblaciones, dependiendo de las condiciones climáticas en las distintas zonas, y así forzar a las plantas a acelerar sus procesos y a adaptarse a las diversas condiciones. Este método permitió reducir el tiempo de desarrollo de nuevas generaciones, con lo que se logró pasar de tener una generación por año a dos por año, y así producir nuevas variedades en alrededor de cuatro años, mientras que con las

ambiental de los organismos. El mayor éxito del programa de mejoramiento triguero se alcanzó cuando se descubrió, en 1953, y se incorporó en 1961-1962 una variedad enana de trigo japonés: la variedad Norin 10. A partir de la hibridación con esta variedad, se desarrollaron variedades mexicanas enanas y semi-enanas de notable fama por su alta productividad, como Pitic 62, Penjamo 62, Sonora 63, Sonora 64, Mayo 64, Lerma Rojo 64, Inia 66, Tobari 66, Ciano 67, Norteno 67 y Siete Cerros. Estas variedades (así como muchos de los especialistas que las desarrollaron) se enviaron a Asia desde 1961, y durante toda la década de 1960, con lo que se detonó la Revolución Verde en Asia.²¹¹

La Revolución Verde en Asia tuvo la misma finalidad que el PAM: combatir el hambre a través de investigación y generar cambio agrícola para prevenir escenarios catastróficos malthusianos, combatir el comunismo, modernizar y llevar el “desarrollo” a los países pobres. Efectivamente, estas variedades impulsaron de manera notable la producción agrícola, con lo que se detonó una “revolución” agrícola, que consistía en el uso de nuevas variedades y la adopción de nuevas prácticas, en la apertura de mercados distintos y en cambios culturales asociados al crecimiento agrícola y a la agricultura “científica”.²¹²

Como parte de esta Revolución, en 1960 se creó el International Rice Research Institute (IRRI) en Filipinas, con la cooperación entre la FR, la Fundación Ford (FF) y el gobierno de Filipinas. Asimismo, en 1963 se fundó –y se reconstituyó en 1966– en México el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), con la cooperación entre la FR y el gobierno de México, a quienes en 1967 se sumó la FF. A estos Institutos se sumaron con los años otros organismos dedicados a la investigación agrícola, al aumento de la

prácticas tradicionales este proceso habría tomado más de 10 años. Borlaug, “Preface,” iv-v; Rajaram, “Wheat Germplasm Improvement,” 1, 4-6; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 39, 42.

²¹¹ Borlaug, “Wheat Breeding,” 6-12, 14; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 39-45; Athwal, “Semidwarf Rice,” 1-34; Roberts, “Rockefeller Foundation Program,” 298, 300; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 997; Anderson, “Origins,” 61-89; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 122-24, Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 467-69.

²¹² Borlaug, “Wheat Breeding,” 11-29; Cullather, “Miracles of Modernization,” 231-32; Anderson, “Origins,” 61-89; Weaver y Harrar, “Research on Rice;” Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 998-99, 1009; Harrar, “International Rice,” 25, 26; Roberts, “Rockefeller Foundation Program,” 300.

producción agrícola, la formación de especialistas y la diseminación de los nuevos conocimientos, insumos y prácticas.²¹³

Las instituciones de investigación que formaron parte de la RV desarrollaron numerosas variedades mejoradas que aumentaron la productividad agrícola en los países donde se crearon y a donde se exportaron. Empero, su impacto biológico (por ejemplo, la reducción de biodiversidad por el monocultivo y las prácticas agrícolas para éste) y sociocultural (por ejemplo, el esquema de dependencia generado y la suplantación de prácticas ancestrales) es debatible y muy controvertido.²¹⁴ Es indudable, sin embargo, que las variedades mejoradas se usaron para detonar cambios sociales profundos. La tecnología, las instalaciones, los discursos y las semillas se convirtieron en símbolos de la modernidad, el desarrollo, la ciencia, la abundancia, la democracia.²¹⁵

En el caso del IRRI es muy claro este entramado de ciencia y tecnología con política y geopolítica. Construido con una arquitectura moderna como emblema, con laboratorios y campos de alta tecnología, con espacios habitacionales equipados de modo que los investigadores asiáticos conocieran las comodidades “occidentales” (como albercas, canchas de tenis, aire acondicionado) mientras desde el exterior se observaba la exclusividad y la abundancia, y con una narrativa de por medio que prometía combatir el hambre y la necesidad de su contexto, el IRRI y sus productos (como el IR-8, el “arroz milagro”) fueron un emblema de la modernidad y de una Revolución Verde polisémica.²¹⁶

²¹³ Anderson, “Origins,” 80-81, 87-88; Harrar, “International Rice,” 25-26; Chandler, *An Adventure in Applied Science*, 4-7, 155-65; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 56, 138, 148; CIMMYT, *México*, 2; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 983-84, 998; “Research Institutes.”

²¹⁴ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 35-37, 43-44, 49-51, 56-98, 283-301; cfr. Evenson y Gollin, “Assesing the Impact,” 758-62; cfr. Lazos Chavero, “De la agrobiodiversidad,” 137-64; cfr. Hewitt de Alcántara, *La modernización*; cfr. Shiva, *The Violence*; cfr. Lipton y Longhurst, *New seeds*; cfr. Harwood, “Whatever happened,” 1243-52; cfr. Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 457-83; cfr. Curry, “Working collections,” 1-20; cfr. Cycon, “Fertile Lands and Bodies.”

²¹⁵ Cullather, “Miracles of Modernization,” 225-54.

²¹⁶ Cullather, “Miracles of Modernization,” 233-38, 243-47.

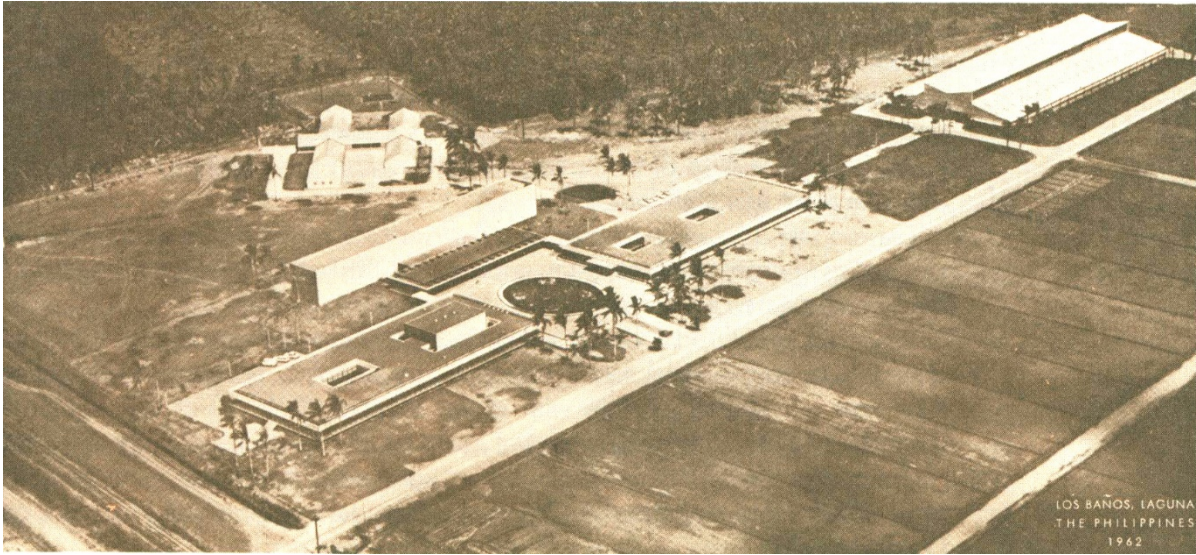


Figura 10. Vista del IRRI, 1962. Fotografía obtenida de Flickr (IRRI Photos), "An Adventure in Applied Science_p38", con licencia CC BY-NC-SA 2.0.

D2. Implicaciones: control genético + control ambiental + control social

La modernización y el desarrollo como discursos y motivaciones tuvieron implicaciones importantes sobre la práctica científica, particularmente durante la Guerra Fría. No sólo es que fueran movilizados de recursos, personas científicas, técnicas, objetivos, sino que además impulsaron a las personas científicas a hacer ciertas formas de ciencia, que permitieran conseguir financiamiento o alcanzar ciertas metas relevantes para el contexto social (por ejemplo, el combate al hambre). Tal es el caso de la modernización agrícola y la Revolución Verde. Ahora me concentraré en la manera como la práctica fitotécnica fue siendo modelada para atender estas preocupaciones. Principalmente, me centraré en dos caras de dicha práctica: la forma de conocer y de representar; y la forma de experimentar y de intervenir. Ambas caras de la fitotecnia son pequeñas piezas que se unieron a muchas más

para cambiar la vida social y la biológica a diversas escalas, desde el organismo hasta el ecosistema.

En la forma de conocer y de representar a los organismos, a los seres vivos y a sus entornos, el espacio donde se desarrolla la práctica científica es de suma importancia. Recordando a Frits Went, podríamos decir que la fitotecnia consiste en el control genético/biológico y ambiental del organismo, para generar nuevos organismos con mejores cualidades. Debido a ambas demandas de control, la experimentación tiene un rol crucial: antes de la ingeniería genética (década de 1970), la experimentación por cruza o mutagénesis eran las herramientas por excelencia para producir nuevos organismos; mientras que el control ambiental se lograba por medio de ambientes controlados. Aquí me centraré en estas dos formas de control durante las primeras décadas de la RV.

Si bien muchos de los trabajos fitotécnicos realizados en el PAM se llevaron a cabo en campos experimentales, también los invernaderos y otros laboratorios fueron importantes para el desarrollo de nuevas variedades agronómicas y del conocimiento vegetal mismo, así como para el aumento y control de la producción. En la OEE, por ejemplo, se llevaban a cabo algunos experimentos con diversas especies y variedades “bajo condiciones de prueba” en invernaderos, además de los realizados en campos experimentales y en los diversos laboratorios (fitopatología, entomología, edafología, entre otros).²¹⁷

Los laboratorios fueron espacios heurísticos importantes porque en ellos se produjeron datos y conocimientos fitocientíficos que permitieron el trabajo fitotécnico. Tal es el caso, por ejemplo, del laboratorio de Palacios de la Rosa, donde se desarrollaron trabajos

²¹⁷ Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 22, 14, 16; Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 475; Barahona, Pinar y Ayala, *La genética en México*, 102.

importantes en torno a la latencia,²¹⁸ así como del laboratorio donde Evangelina Villegas Moreno desarrolló el maíz con calidad proteica (QPM, por sus siglas en inglés).²¹⁹ Debido a ello, los centros de investigación que creó la FR buscarían tener los espacios experimentales necesarios para las investigaciones que ahí se desarrollaran.



Figura 11. Evangelina Villegas Moreno, Norman Borlaug (ambos al centro) y otros científicos en un invernadero de la OEE en Chapingo. 1963. Fotografía obtenida de: N. MacLellan, 1963, CIMMYT Publications Repository, <http://hdl.handle.net/10883/4307>, con licencia CC BY-NC-ND 4.0.

El IRRI, por ejemplo, en su diseño original incluyó –además de un edificio administrativo, un edificio de servicios y mantenimiento, otro de cafetería y dormitorios, bodegas, estaciones eléctricas e hídricas, y residencias para personal– un edificio de laboratorios, un gran campo experimental de 80 hectáreas y un centro de crecimiento vegetal, que consistía de cuatro invernaderos con sus respectivas estaciones de servicio (*headhouse*:

²¹⁸ Calidad de algunas variedades que les permite disminuir su ritmo biológico durante prolongados periodos de sequía y continuar con su ciclo biológico una vez que hubiera agua de nuevo, recuperándose. Palacios de la Rosa identificó este fenómeno en 1957 en la variedad Mich-21. Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 142, 149-50.

²¹⁹ Oficina de Comunicación del CIMMYT, “Evangelina Villegas,” 117-18.

construcciones adyacentes donde se ubican el centro de control, oficinas, almacén, zona de desinfección y/o de tránsito) que, a su vez, contenían cuartos oscuros y cámaras de crecimiento. Por su parte, el campo experimental sería un ambiente controlado más del complejo: estaría irrigado desde el subsuelo de modo que cada parcela pudiera tener un régimen hídrico propio, simulando cualquier condición tropical de lluvia y drenaje. A estas instalaciones de alta tecnología, en 1963 se agregaron otros cuatro invernaderos de vidrio. En estos invernaderos se realizaron investigaciones de anatomía y fisiología vegetal (fotoperiodicidad, fotosensibilidad, absorción de nutrientes, ciclos biológicos, rasgos agronómicos), edafología (química de suelos, rasgos de los suelos inundados, degradación o enriquecimiento), entomología (resistencia a insectos, pruebas con insecticidas y su modo de empleo), entre otros.²²⁰

Posteriormente, en 1974 el gobierno de Australia regaló al IRRI un fitotrón diseñado sobre el modelo del fitotrón de Canberra, Australia (CERES, Controlled Environment Research Laboratory), que a su vez fue construido con la asesoría de Lloyd T. Evans, estudiante y colaborador de Frits Went en Caltech, sobre el ejemplo y sus ideas de mejora del Earhart Plant Research Laboratory. De esta manera, el fitotrón del IRRI contendría seis salas de invernadero y 18 gabinetes para crecimiento, de los cuales 10 estaban iluminados artificialmente y 8 naturalmente. En cada espacio se podría regular la temperatura, la iluminación y la humedad de manera particular.²²¹

Tal como ocurrió con el Earhart Plant Research Laboratory (cuyas investigaciones sobre los jitomates sirvieron para desarrollar variedades mejoradas), se esperaba que el nuevo fitotrón contribuyera al conocimiento fitocientífico, tanto para desarrollar ciencia básica como para

²²⁰ Chandler, *An Adventure in Applied Science*, 26-27, 37-42, 117-19, 127, 131; Cullather, "Miracles of Modernization," 234.

²²¹ Chandler, *An Adventure in Applied Science*, 169-70; Munns, *Engineering the Environment*, 136-37, 143-46; Frankel, "The IRRI phytotron," 5-6. Sobre el CERES, ver Munns, *Engineering the Environment*, 135-67; Evans, "Conjectures, Refutations," 4-7.

contribuir a la producción de alimentos y, por ende, a combatir el hambre e impulsar el desarrollo.²²²

Aunque todos los ambientes controlados (incluso los invernaderos) proveen de algunos beneficios para la investigación fitocientífica y la fitotecnia, se esperaba que el fitotrón como instrumento del IRRI podría ayudar a profundizar y ampliar dichos beneficios, entre los que se encuentran: a) potenciar la investigación básica fitocientífica y la investigación relacionada a la productividad económica; b) posibilitar estudios sobre el efecto de los componentes climáticos sobre las plantas y, así, definir e inducir las respuestas vegetales de interés; c) proveer condiciones estándar que en campo no se pueden conseguir, que pudieran, por ejemplo, evidenciar la genética de las plantas o poner a prueba rasgos específicos; d) usar las condiciones particulares para seleccionar variedades conforme a intereses y generar nuevas a la medida de las necesidades (fitotecnia); e) conocer e inducir la adaptabilidad de una variedad a determinados climas, lo que pudiera conducir a seleccionar climas y regiones en las cuales las variedades mejoradas funcionaran óptimamente, economizando recursos y tiempo; f) acelerar o manipular los procesos biológicos en el desarrollo de variedades mejoradas; g) permitir la reproducibilidad específica y ágil de ciertas variedades de interés; h) mejorar las prácticas agronómicas al conocer sus efectos particulares sobre las plantas, por ejemplo, optimizar el uso de fertilizantes, especificar la dosis y frecuencia de aplicación, etc.; e i) clarificar los objetivos de la investigación o la intervención, al posibilitar conocer los procesos y agentes con mayor certeza y detalle.²²³

Es posible argumentar, entonces, que los ambientes controlados permitían llevar a cabo el tipo de investigación fitotécnica que auspiciaba la FR y que los fitotrones serían espacios deseables para ello. Tanto es así que la FR se refirió en 1961 a los “fitotrones naturales” en

²²² Went, “The concept,” 2-3; Frankel, “The IRRI phytotron,” 3-9; Evans, “The role of phytotrons,” 17; Munns, “Biologists hold physicists,” 210, 215-16, 218-19.

²²³ Frankel, “The IRRI phytotron,” 3-9; Evans, “The role of phytotrons,” 11-27; Went, *Experimental Control*, 323; Downs y Hellmers, *Environment*, 78.

México que hacían de este país un sitio ideal para el mejoramiento de variedades,²²⁴ así como la solicitud y posterior creación del fitotrón en el IRRI. Aunque parece poco probable que la FR por sí sola hubiera construido fitotrones en sus programas de modernización agrícola debido a su alto costo –y, probablemente el IRRI no hubiera tenido un fitotrón de no ser por la solicitud del mismo y su consecuente donación por el gobierno de Australia, que ya tenía experiencia en fitotrones debido a la construcción del CERES en 1962– y a las limitaciones de éstos para las investigaciones de gran escala realizadas por la FR, sin duda estos espacios eran considerados importantes.²²⁵

Las limitaciones de los fitotrones en los programas de mejoramiento agrícola de la FR emanan de que la FR cruzaba y ponía a prueba una gran cantidad de variedades e individuos, que no podrían caber en ningún fitotrón, y de que la especificidad de las condiciones ambientales al interior del fitotrón condiciona una baja densidad de cultivo, puesto que de aumentarse la densidad se comprometería la uniformidad climática. Sumado a estos problemas prácticos, existe una dificultad inherente en la extrapolación de los resultados obtenidos en el fitotrón al campo (con condiciones variables, plagas, prácticas menos uniformes), y existe una brecha entre el trabajo de investigación en ambiente controlado y su aplicación en la producción local.²²⁶

Así, aunque la investigación fitotécnica en el PAM y durante la RV se valió de otras herramientas distintas a los fitotrones, y del fitotrón del IRRI, de haberse incorporado los fitotrones en estas investigaciones, éstos se habrían sumado a una serie ya existente de prácticas, espacios y herramientas destinadas a producir las condiciones óptimas para crear organismos a la medida. Tales condiciones se refieren a la manipulación suficiente del ambiente, concebido como los factores y condiciones que permiten lograr un fin, un

²²⁴ The Rockefeller Foundation, *Annual Report, 1960*, 61.

²²⁵ Ante la inexistencia de un fitotrón construido, el equipo de Norman Borlaug en la OEE desarrolló la metodología de *shuttle breeding* que es similar al método para desarrollar maíz de sequía de Palacios de la Rosa, quien enviaba a las líneas con latencia a diversos lugares y la estresaba artificialmente para inducir resistencia; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 149-50; Borlaug, "Preface," iv-v; Rajaram, "Wheat Germplasm Improvement," 1, 4-6.

²²⁶ Evans, "The role of phytotrons," 21-24.

organismo específico. Como resultado de esta concepción, la FR concebía la existencia de “fitotrones naturales” que, tal como los fitotrones contruidos, serían instrumentos, “ambientes” seleccionados, ensamblados y modificados para ser funcionales, con un número variable de gradientes climáticos y con distintos niveles de control humano. Además, ambos tipos de fitotrones, en tanto instrumentos científicos, irían acompañados de toda la estructura de la investigación agrícola y de su injerencia sobre la política agrícola: instituciones locales e internacionales, procesos de internacionalización y estandarización de las fitociencias, prácticas e instrumentos particulares, redes de formación de especialistas, movilidad de personas científicas, entre otros.

La radioactividad fue una herramienta más para el cambio y el control biológico durante la Revolución Verde. Aunque estuvo poco presente en el PAM, conforme avanzaba la RV se fue incorporando más a la misma y fue dando algunos resultados. La radioactividad fue una herramienta sumamente útil a la RV en varios sentidos, pues: a) contribuyó a desarrollar el conocimiento biológico a partir del uso de radioisótopos como trazadores (herramienta que fue empleada incluso por Frits Went en su fitotrón);²²⁷ b) los radiomarcadores fueron auxiliares en el estudio de la dinámica metabólica vegetal, que con los radioisótopos evidenció el aprovechamiento de nutrientes y de agroquímicos por parte de las plantas, lo que permitió optimizar su uso y diseño, así como mejorar las prácticas de manejo de suelo y agua;²²⁸ d) se desarrollaron técnicas de irradiación para cuidar la calidad, conservación y no

²²⁷ Creager, *Life Atomic*, capítulo 7; Went, “Auxin,” 162-82; Went, “The Phytotron,” 4; Went, *Experimental Control*, 18; Went, “Plant Growth,” 597-618; Hamilton, “Radioactive Tracers,” 541-72.

²²⁸ Hamblin, “Quickening nature’s pulse,” 396, 408; Sigurbjörnsson, y LaChance, “El OIEA y la revolución verde,” 39-40.

contaminación de los productos agrícolas, así como para controlar plagas;²²⁹ y e) se aprovechó su potencial mutagénico para producir nuevas variedades de interés agrícola.²³⁰

Desde las primeras décadas del siglo XX se comenzaron a hacer experimentos para conocer los efectos de la radioactividad sobre los seres vivos y a tratar de inducir mutaciones en éstos a través del uso de elementos radioactivos y de rayos X, con lo que se descubrió el potencial mutagénico de la radioactividad. Una vez identificado dicho potencial, a partir de la década de 1920, la radioactividad se empleó como instrumento para intentar generar nuevas variedades, particularmente variedades agrícolas. Algunas de estas investigaciones incluso se llevaron a cabo en invernaderos. En teoría, la radiación podría acelerar la tasa de variabilidad de los rasgos, facilitando que aparecieran nuevos rasgos, algunos de los cuales podrían ser útiles. Ello, se esperaba, acortaría los largos tiempos de espera durante la cría de múltiples generaciones hasta obtener rasgos deseables, y permitiría generar mutaciones benéficas espontáneas, frecuentes y económicas. Aunque muchos de los innumerables experimentos que se realizaron en torno a esta teoría no rindieron muchos frutos (salvo, en general, cultivos ornamentales), y esto condujo al desinterés en estos experimentos hacia la década de 1940, lo cierto es que la incorporación de la radioactividad en la fitotecnia fue en aumento y abrió nuevas ramas de investigación.²³¹

Después de la Segunda Guerra Mundial, el interés en el empleo de la radioactividad como agente mutagénico para agricultura resurgió. Con la formación de la Atomic Energy Commission (AEC) en 1947 en los Estados Unidos, la preocupación por la seguridad alimentaria ante una catástrofe nuclear, la búsqueda por legitimar la energía atómica y,

²²⁹ Hamblin, "Quickening nature's pulse," 396, 408; Sigurbjörnsson, y LaChance, "El OIEA y la revolución verde," 41; IAEA, *Radiation and Radioisotopes*. Karin Zachmann hace un magnífico recuento de la irradiación de alimentos durante y después de la Segunda Guerra Mundial. Su abordaje es transnacional (Europa, Estados Unidos y la URSS) y describe además las motivaciones y justificaciones (políticas, científicas y bélicas) detrás de la irradiación de alimentos y otros productos, así como de la agricultura nuclear; Zachmann, *Risky Rays*.

²³⁰ Sigurbjörnsson, y LaChance, "El OIEA y la revolución verde," 38-42; Hamblin, "Quickening nature's pulse," 389-408; Curry, "Atoms in Agriculture," 119-53.

²³¹ Curry, *Evolution Made to Order*, capítulos 3 y 4; Curry, "Speeding Up Evolution," 459-78; cfr. Sigurbjörnsson, y LaChance, "El OIEA y la revolución verde," 38-42; cfr. Hamblin, "Quickening nature's pulse," 389-408.

debido al aumento de la disponibilidad de radioisótopos producidos intencionalmente o como subproductos, las investigaciones en radiobiología proliferaron y nuevamente se buscó mejorar variedades agrícolas por medio de mutagénesis radioinducida. En este marco, surgieron nuevos espacios experimentales, como los invernaderos de radiación gamma o los campos gamma, hacia finales de la década de 1940, que pronto se popularizaron como espacios para el surgimiento de nuevas variedades que ayudarían a combatir el hambre y favorecer el “desarrollo” en el mundo.²³²

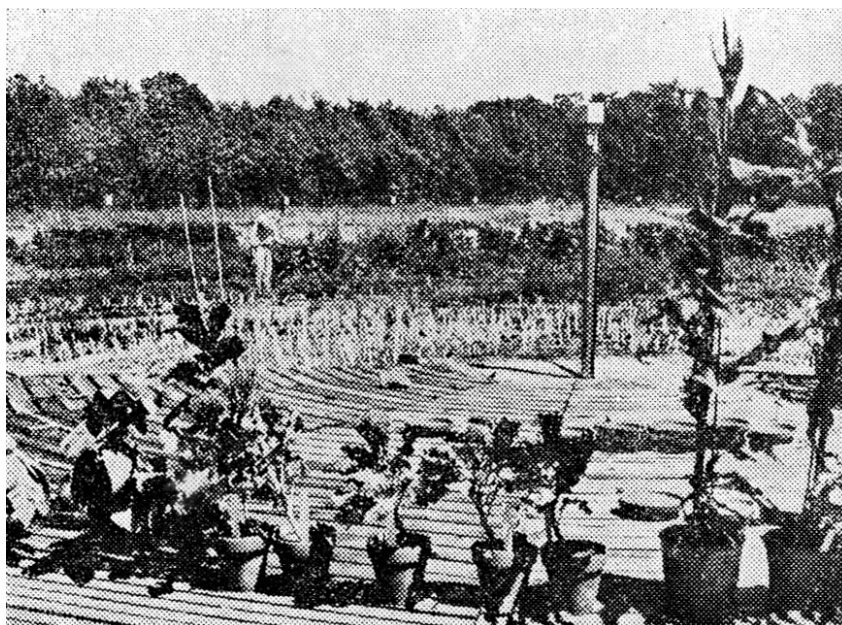


Figura 12. Un campo gamma, donde se generarían nuevas variedades por medio de mutaciones radioinducidas. A la centroderecha se observa la fuente de cobalto-60. Obtenida de Wikimedia Commons, “Plants in gamma field at Brookhaven”, Aneka Amerika American Miscellany (1957). P. 20, No. 102. Djakarta: United States Information Service. Dominio público

²³² El campo gamma consistía en una parcela de tierra en cuyo centro se coloca una fuente radioactiva (generalmente de Cobalto-60) y alrededor, de manera concéntrica, se plantan diversos individuos y se siembran semillas. De esta manera, las plantas alrededor de la fuente serían irradiadas de manera constante y a diversas intensidades dependiendo de la distancia a la fuente. La fuente contaría con algún tipo de blindaje móvil que permitiera que al colocarse se acercaran los científicos o que se dosificara la irradiación. El campo gamma continúa siendo una herramienta para radioinducir mutaciones; Curry, *Evolution Made to Order*, capítulo 11; IAEA, “Inducción de mutaciones;” Curry, “Atoms in Agriculture,” 119-53; Auerbach, *History of the Environmental Sciences Division*, 40; Hamblin, “Quickening nature’s pulse,” 393-95, 400, 404-8; cfr. Hamblin, “Let there be light...” 25-48.

Estas esperanzas en torno a la mutación radioinducida se profundizaron con el *Point Four Program*, durante la administración de Truman y, posteriormente, con la iniciativa de *Átomos para la Paz* durante la administración de Eisenhower. Estas estrategias impulsaron de manera importante la propagación de las técnicas nucleares en agricultura. Aunque había otras técnicas disponibles para el mejoramiento de variedades (selección e hibridación) que tenían mejor reputación científica y mayor evidencia de éxito, a partir de la década de 1950 se impulsó internacionalmente el mejoramiento por mutagénesis radioinducida. Particularmente, dado que a partir de *Átomos para la Paz* los radioisótopos y sus aplicaciones pacíficas fueron un instrumento político y geopolítico, los Estados Unidos –a través de sus programas de asistencia técnica y de las agencias de las Naciones Unidas– se enfocaron en promover intensivamente el uso de radioisótopos en agricultura. Como parte de esta ola geopolítica, el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés), creado en 1957, y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) se adhirieron a la causa e incentivaron tanto como desarrollaron (y legitimaron) programas de investigación sobre agricultura nuclearizada. Asimismo, ambas instituciones presionaron para que la Revolución Verde se sumara a la corriente de asistencia técnica que, además de promover el desarrollo, la modernización agrícola y el combate al hambre, promovía la nuclearización.²³³

Ante la búsqueda de resultados concretos de la fitotecnia nuclearizada, el IAEA visitó el IRRI en 1966, procurando infundir el interés por la mutación radioinducida. La respuesta del IRRI no fue favorable: tenían suficiente trabajo con el material genético recolectado y ya habían conseguido resultados por medio de hibridación: la variedad IR8 de arroz. A pesar de ello, el

²³³ Curry, *Evolution Made to Order*, capítulos 12 y 15; Hamblin, “Quickening nature’s pulse,” 395-406; Zachmann, *Risky Rays*, 29-30, 35-38; Sigurbjörnsson, y LaChance, “El OIEA y la revolución verde,” 38-42; Hamblin, “Let there be light...,” 25-48; Borlaug, “Wheat Breeding,” 34; IAEA, “Radiation and the Green Revolution,” 18. Cabe mencionar que la participación de la FAO en esta corriente de agricultura nuclearizada fue mucho menor que la del IAEA y no estuvo libre de objeción. Hamblin y Zachmann documentan muy bien la controversia entre el genetista Ronald A. Silow de la FAO y el IAEA, cuyo eje radicaba en la diferencia de perspectivas sobre la forma adecuada de combatir al hambre, la importancia de la tecnología nuclear en esta batalla, y sobre la balanza de riesgos/beneficios de la nuclearización; Hamblin, “Let there be light...,” 25-48; Zachmann, *Risky Rays*, 30-38; Hamblin, “Quickening nature’s pulse,” 403-5.

IAEA continuó buscando y atribuyendo participación de las técnicas nucleares en el desarrollo de mejores variedades.²³⁴

Al igual que en el IRRI hasta entonces, en el PAM la fitotecnia se había desarrollado por medio de selección, cruza e hibridaciones, y no a través de mutaciones. Sin embargo, para la década de 1960 el contexto internacional estaba ya volcado hacia la mutagénesis radioinducida y la variedad mejorada de trigo Sonora 64, desarrollada en México por Borlaug se sometió a mutación radioinducida en India. Como resultado, se obtuvo una variante de color ámbar y de supuesta mayor calidad proteica. Esta variante fue nombrada Sharbati Sonora y se convirtió en un emblema de la mutación radioinducida pues, bajo el supuesto de tener mejor calidad proteica, permitiría nutrir más a sus consumidores y de esta manera combatir el hambre y la desnutrición de los países pobres y sobrepoblados. Con el tiempo se descubrió que su calidad no era mejor y que el color era la única ventaja real de esta variedad, pues resultaba más familiar al mercado indio.²³⁵

A pesar de todos los cuestionamientos, de los dudables resultados de la mutación radioinducida, de que la mutación radioinducida no probó ser lo exitosa que se esperaba y no demostró que permitía ejercer un mayor control sobre los organismos, lo cierto es que los radioisótopos permitieron desarrollos inesperados en la agricultura, a partir de su uso como marcadores, esterilizadores y herramientas para la experimentación. En este sentido, es un hecho que las tecnologías nucleares tuvieron un rol importante en la Revolución Verde; tanto por posibilitar otra heurística como por impulsar nuevas formas de intervención sobre los organismos.

²³⁴ Hamblin, "Quickening nature's pulse," 400-8; Hamblin, "Let there be light...," 37, 40-43. El IAEA publicó una lista de variedades mutantes liberadas o aprobadas hasta 1969, obtenidas en campos gamma, por irradiación con rayos X, por irradiación directa en reactores nucleares, entre otras técnicas; IAEA, "Radiation and the Green Revolution," 19-27.

²³⁵ Hamblin, "Let there be light...," 26, 30, 37-38; 40-42; Hamblin, "Quickening nature's pulse," 390, 403-7.

Tanto en el caso de los ambientes controlados como en el de la agricultura nuclearizada, es posible discernir una racionalidad subyacente, que además comparten con la representación + intervención de los ecosistemas: la idea de que se pueden reducir los sistemas de la vida a variables, factores y resultados, todos ellos manipulables. De esta idea emanan la búsqueda de organismos y sistemas vivos estandarizados y deseables, de resultados comparables entre éstos, y de alteración del ritmo y funcionamiento biológico. A su vez, la práctica que articula ambas nociones y anhelos es el control, que se materializa en diversidad de espacios y prácticas experimentales.²³⁶

En todos los casos, la representación de los organismos y de los sistemas vivos se entrelaza con la política y los intereses económicos, científicos y sociales, para los cuales los sistemas vivos son reducidos a entidades manipulables: a objetos y medios. Justamente es aquí, que la representación de los sistemas vivos y sus ambientes se torna en intervención sobre los mismos, con lo que se llega incluso a su producción.

De esta manera, las herramientas, las prácticas y el contexto a través de los cuales se conoce a los sistemas vivos, influyen de manera decisiva sobre su conceptualización. La experimentación por medio de radioisótopos ha permitido comprender a los organismos y a los ecosistemas como entidades con flujos, ciclos y procesos. Esta reducción-traducción ha convertido a los organismos y a los humanos en seres que requieren de un ambiente particular (espacio, insumos, prácticas) y lo construyen, lo habitan y lo intervienen con base en esta necesidad, mientras al mismo tiempo son construidos por su ambiente.

Desde la perspectiva de la agencia humana, la medida en la que los ambientes y los organismos son producidos es variable. Podríamos quizás considerar que los “fitotrones naturales” han sido menos producidos que los “fitotrones construidos” porque la escisión entre la parcela experimental y el mundo que le rodea no contiene una barrera física tan estricta, como la estructura del fitotrón construido. Sin embargo, la propia ausencia de barrera sólida hace que la intervención dentro de los fitotrones naturales pronto se refleje en

²³⁶ Cfr. Munns, “The phytotronist,” 29-40.

intervención sobre el ecosistema circundante, por obra de los ciclos biogeoquímicos y los procesos naturales al descubierto. Esta ausencia de barrera, paradójicamente, produce al ambiente de manera más amplia. Por ejemplo, durante la RV se impulsó de manera intensiva el uso de pesticidas y fertilizantes químicos (como el DDT) que, como Rachel Carson evidenció, circulan a través de los ecosistemas y de las cadenas tróficas, incrementando exponencialmente la escala de la producción voluntaria o involuntaria del ambiente.²³⁷ De igual manera, podríamos pensar que los organismos mejorados por selección masal (selección de los individuos con mejores rasgos a través de generaciones sucesivas) han sido menos producidos que aquellos mutantes por radiación, pero en ambos casos el umbral de intervención tiene alcances insospechados, contribuyendo a la producción del ambiente y de los ecosistemas también de maneras insospechadas.

El caso de la agricultura es particular pues, al ser una actividad humana de supervivencia, está relacionada con la gran mayoría de las poblaciones humanas. Y es por esto que, necesariamente, implica la transformación del ecosistema donde se inserta. Por una parte, hay una transformación representacional: pasa de ser un pastizal, un bosque, una estepa, a ser una fuente de recursos, un sitio aprovechable y apropiable. Por otra parte, hay una transformación práctica: la siembra, el arado, el cultivo, el desmonte, la irrigación, la irradiación, etcétera. Aquí, nuevamente, el orden entre ambos esquemas de representación e intervención es un **bucle**, y la representación interviene tanto como la intervención representa. Este mismo esquema se repite a diferentes escalas y en diferentes acciones, como son los ambientes controlados y los ecosistemas. Ahora profundizaré al respecto.

²³⁷ Carson, *Silent Spring*.

E. El bucle: representar e intervenir a diversas escalas (conclusiones)

Aquí he abordado diversas prácticas científicas que representan e intervienen a la vida, y para las cuales la radioactividad es una herramienta de suma importancia, ya sea como cimiento de la práctica experimental y el conocimiento que emana de ella, o como insumo para la modificación de la vida. Estas prácticas operan a diversas escalas de la vida: la radiobiología a nivel celular e individual; la fitotecnia a nivel individual y poblacional; la ecología a nivel de comunidades y ecosistemas; y los ambientes controlados a escalas variables. En todas estas prácticas el factor común de la radioactividad no es sólo una herramienta científica, sino un indicador del contexto económico, geopolítico y científico donde se enclavan tales prácticas. Me concentro en el periodo de 1940 a 1970, durante la Segunda Guerra Mundial y las primeras décadas de la Guerra Fría, contexto en el que el poder atómico se convirtió tanto en el terror como en la salvación del mundo,²³⁸ y por ende era de crucial importancia conocer las interacciones de la radiación con la vida y manipularlas a conveniencia, ya que de estas interacciones podrían depender el poder político, la calidad de vida, el abasto de alimentos, la vida, la guerra, la muerte.

Al mismo tiempo, la radioactividad detonó un quiebre epistemológico y metodológico en la investigación biológica al emplearse los radioisótopos como marcadores y a través de ellos visibilizar procesos biológicos. Aquí he mostrado que estos quiebres epistemológicos y metodológicos derivaron también en cambios de la forma de actuar en y sobre el mundo, que a su vez ocasionaron transformaciones ontológicas, éticas y vitales. Estos incontables cambios los he llamado profundos, pues han reformado la manera de habitar el mundo de

²³⁸ Cfr. Weart, *Nuclear Fear*.

aquellas sociedades íntimamente relacionadas a estas prácticas científicas, construyéndose así diferentes naturalezas.

He rastreado estas transformaciones a través de diversas prácticas científicas y tecnologías, que comprenden las diversas escalas en las que han operado los cambios epistémicos y metodológicos detonados por el uso de la radioactividad. A lo largo de cada caso, observo una constante: un ímpetu reductor, transformador, manipulador y creador que se extrapola de lo “natural” a lo humano y lo social. En cada una de estas esferas de acción y en el tránsito entre ellas, la práctica científica se entrelaza –naturalmente– con su contexto, el cual sirve como justificación, impulso, instrumento y causa para la reingeniería natural y la social por medio de la ciencia y la tecnología.

De entre todos los cambios y proyectos que observo, destaco aquéllos efectuados sobre los ecosistemas, pues en este periodo su destino está estrechamente unido al de la radioactividad. Hay muchas razones: porque el rastreo de radioisótopos permitió su amplia conceptualización; porque su contaminación permitió visibilizar su dinámica, tanto como su fragilidad; porque fueron los primeros en resentir la producción en masa de radioisótopos para armas nucleares y las pruebas de detonaciones atómicas; porque los riesgos de una guerra nuclear recaían, a largo plazo, sobre ellos. Pero las razones primordiales que me interesan yacen en el potencial de representación e intervención que significó la radioactividad para los ecosistemas. Primero, porque los ecosistemas, desde sus primeras representaciones, estuvieron atados a la radioactividad y dependieron de ella. Segundo, porque las intervenciones que sobre ellos se efectuaron y se efectúan, están en buena medida nutridas por la información aportada por el rastreo de radioisótopos y por todo el conocimiento de las ciencias de la vida, de la tierra, del mar, y de la atmósfera, que se generó durante la Guerra Fría.²³⁹

²³⁹ Cfr. Oreskes y Krige, *Science and Technology in the Global Cold War*; cfr. Turchetti y Roberts, *Surveillance Imperative*; Hamblin, “Hallowed Lords of the Sea,” 209-28; cfr. Kirsch, “Harold Knapp,” 167-81.

Ya he hablado antes de la representación y la intervención, que forman bucles, pues representamos para intervenir, intervenimos para representar, y hacemos ambas a la luz de la otra. Trataré aquí de ser más explícita. Las representaciones de los ecosistemas surgidas en el periodo de mi interés surgieron a partir de intervenciones radioactivas: ya fueran pruebas de bombas atómicas, experimentos de inserción de un radioisótopo en una comunidad biótica o fugas de energía nuclear de los reactores a sus inmediaciones. Estas acciones no siempre fueron planeadas con el fin de observar la naturaleza, pero aportaron perspectivas distintas sobre ella. Estas perspectivas derivaron en representaciones, que condujeron a su vez a nuevos experimentos, nuevas formas de administración, y nuevas investigaciones; es decir, intervenciones. Una vez más, las intervenciones nutrieron representaciones novedosas y, así sucesivamente, en un bucle sin final. Pero, además, las representaciones generan conocimiento, generan conceptos, formas de hacer y actitudes; generan métodos y epistemologías. Y este, precisamente, es el *quid* de mi argumento: una vez que concebimos a los ecosistemas, que sabemos que están ahí, los intervenimos de todas las maneras imaginables e inimaginables, construyéndolos con cada paso que damos.

i. Datos colaterales

Aunque inicialmente mucha de la investigación sobre la vida que involucraba radioactividad haya sido producto de “accidentes” y experimentos –como el origen de los rayos X, los daños colaterales (cuyas enormes dimensiones no estaban previstas) producto del ataque nuclear sobre Hiroshima y Nagasaki, o la contaminación hídrica en los alrededores de los reactores nucleares–, el potencial heurístico de la radioactividad se maximizó con su uso durante la Guerra Fría, generando multiplicidad de *datos colaterales*. Aquí sigo el concepto de Susan Lindee de *datos colaterales*, quien los define como la “producción ‘no intencionada’ de oportunidades de recoger y evaluar nuevo conocimiento, como resultado del daño humano o ambiental ocasionado por la guerra.” Es decir, el uso intensivo de la radioactividad durante la Guerra Fría, impulsado de manera importante por intereses relacionados a cuestiones

bélicas, derivó en que se produjera conocimiento de una manera igualmente intensiva, como ya hemos visto en los capítulos anteriores.²⁴⁰

La producción de conocimiento sobre la vida se fundó de manera importante en el uso de la radioactividad como herramienta para rastrear procesos y como agente mutagénico. Sin embargo, ambas aplicaciones inducen daño al objeto de estudio. Resulta paradójico, pues, que la propia herramienta que permite generar conocimiento sin precedentes sobre la vida, la ponga en riesgo a ella y a sus condiciones de posibilidad. De esta manera, para comprender la vida hay que intervenirla y, para intervenirla, se le introduce un agente pernicioso que la puede destruir mientras a los científicos les permite construirla.

Fue en esta dinámica que se desarrolló al ecosistema como entidad. La Guerra Fría hizo que proliferaran las aplicaciones de la energía nuclear y como *datos colaterales* surgió mucha información sobre los ecosistemas, evidenciando su complejidad y su fragilidad. Al mismo tiempo, el contexto bélico y el nuevo conocimiento detonaron movimientos sociales y científicos que protegían la vida de la amenaza nuclear y a los ecosistemas como hábitats de la vida. Pero los cambios detonados por estos torrentes de conocimiento no se agotan aquí.

ii. Cambios profundos

Al nivel de los organismos, la comprensión de la fisiología condujo a que a éstos se les concibieran diferenciadamente de su ambiente. Así, se distinguió entre los procesos que ocurren fuera y dentro del organismo, y se identificaron como *factores* a las fuerzas que ejercen alguna influencia sobre su formación o desarrollo. En este sentido, Frits Went es un

²⁴⁰ Lindee, *Rational Fog*, 17, 115, capítulo 5; Creager, *Life Atomic*, capítulo 10. La noción de datos colaterales (*collateral data*) está presente en toda la obra de Lindee, *Rational Fog*. El uso de Lindee del concepto de daño suele ser muy transparente porque ella en general se refiere al daño ocasionado por armas, diseñadas para asesinar o destruir, acciones común e intuitivamente asociadas al concepto de daño. En las ciencias de la vida el concepto de daño es más relativo, porque, por ejemplo, el daño que ocasiona la radiación sobre las células puede ayudar a preservar la vida del individuo cuando de eliminar cáncer se trata. Debido a ello, conservo el concepto de Lindee a sabiendas de que la percepción del daño es contextual.

caso ejemplar de la investigación fisiológica del periodo de mi interés, pues para él el organismo era la suma de los factores genéticos y los factores ambientales, por lo que al tener el control de la ecuación se tendría el control del organismo.

Una vez que se representa al organismo como una ecuación se inauguran posibilidades de intervención. Cuando estas posibilidades se articulan con intereses científicos, económicos o políticos, se torna posible tanto generar organismos “a la medida”, que satisfagan estos intereses, como el desarrollo de métodos y tecnologías que permitan controlar los factores de la ecuación. A la intervención del organismo le sigue el robustecimiento de la representación que le dio origen, la proliferación de otras o la reformulación de alguna representación preexistente. La historia del fitotrón, del PAM y de la Revolución Verde son ejemplos de este entramado y del control resultante sobre organismos y su ambiente. Algo similar ocurre con los ecosistemas.

En el momento en que los radiotrazadores se insertaron en la interpretación de los fenómenos de la naturaleza, los ecosistemas como concepto adquirieron materialidad. Ya he hablado de que Tansley propuso el concepto en 1935, pero fue hasta los experimentos de Hutchinson con radioisótopos –a los que se sumaron la interpretación y el bagaje conceptual y cibernético de Hutchinson, así como el trabajo de Lindeman– que la fisicalidad y procesualidad de las que hablaba Tansley se manifestaron. El modelaje y conceptualización de los procesos que hizo Hutchinson los dotó de esa realidad comprensible, transmisible y matematizable.

Así pues, con el experimento se fortaleció el concepto y, con ambos, se formaron representaciones, como modelos y teorías, en los que se construye al ecosistema como resultado de una referencia circulante²⁴¹ que tiende a alejarse de la materialidad hacia la

²⁴¹ Latour, *Pandora's Hope*, capítulos 2 y 3. Latour describe la referencia circulante como la práctica en la que se sustituye a una entidad por un objeto que le represente (para Latour ni la entidad ni el objeto son materialidades independientes del actor, sino fenómenos que se construyen con el actor, como es la propia referencia). Este objeto representa selectivamente rasgos, y es a su vez sustituido por otro objeto, inscripción o representación, y así sucesivamente, formando una cadena de sustituciones que permiten formar conocimiento. En todas estas sustituciones permanece la referencia a la entidad y contexto original a través

abstracción. Este proceso implica diversas transformaciones a través de las cuales el ecosistema se convierte en inscripciones²⁴² (que pueden ser representaciones) que contribuyen a que el mundo adopte formas más comprensibles y manejables.

Los ecosistemas atravesaron este proceso cuando la ecología pasó de ser meramente descriptiva e histórica a ser experimental, analítica, predictiva e intervencionista. De concebir a la comunidad biológica como un superorganismo, la ecología pasó a concebir al ecosistema: una unidad de la naturaleza integrada en un sistema y compuesta por partes funcionales vivas e inertes envueltas en interacciones y procesos físicos, químicos e informacionales. Estas interacciones pudieron entonces ser representadas por medio de modelos y ecuaciones que pretendían reflejar lo que ocurría en la naturaleza. Así, cada componente del ecosistema podría ser medido, calculado, predicho y, por ende, controlado y/o manipulado. Aunque cada medición y ecuación se refiere a una entidad o proceso en la naturaleza, se les sustituye para la comprensión humana por una inscripción,²⁴³ convirtiendo al ecosistema en un laboratorio y en un espacio susceptible de ser intervenido; y al ser humano en la agencia interventora por excelencia. Ahora desgranaré cada parte del proceso, donde la heurística del ecosistema tiene diversas implicaciones.

de la cadena de transformaciones, incluso cuando también hay de por medio cadenas de traducción donde se modifican los intereses de los actores.

²⁴² De acuerdo con Latour, se trata de un “[t]érmino general que se refiere a todos los tipos de transformaciones a través de las cuales una entidad se materializa en un signo, un archivo, un documento, un trozo de papel, un rastro. Normalmente, pero no siempre, las inscripciones son bidimensionales, superponibles y combinables. Siempre son móviles, es decir, permiten nuevas traducciones* y articulaciones* mientras mantienen algunos tipos de relaciones intactas. De ahí que también se les llame ‘móviles inmutables,’ un término que se centra en el movimiento de desplazamiento y los requisitos contradictorios de la tarea. Cuando los móviles inmutables están alineados de manera inteligente, ellos producen la referencia circulante*,” Latour, *Pandora’s Hope*, 306-7. La traducción es propia; los * son del autor para referirse a otras palabras en el glosario.

²⁴³ Una inscripción es, para Latour, la materialización de una entidad. Esta inscripción se puede hacer en una tecnología de papel, como lo desarrollan primero Müller-Wille y Charmentier, que ilustran el valor de estas tecnologías de papel al hablar de las listas de Linneo; y luego Cházaro, Achim y Valverde. Las tecnologías de papel se refieren al soporte material de la ciencia: manuscritos, fotografías, dibujos, grabados, listas, manuales, guías, catálogos, inventarios, modelos, libros, etcétera; que permiten registrar, inscribir, organizar, interpretar, comparar, seleccionar, desarrollar, administrar y distribuir el conocimiento; Cházaro, Achim y Valverde, *Piedra, papel y tijera*. Ver: Müller-Wille, y Charmantier, “Lists as Research Technologies,” 743-52.

Cuando la ecología de ecosistemas se distancia de la concepción de las comunidades como organismos, traduce los ecosistemas a materia, energía e información. A través de esta reducción, se simplifica al ecosistema y se sistematiza su complejidad en datos y sistemas computacionales.²⁴⁴ Este es un cambio epistémico importante en el ecosistema, porque de ser una entidad o una representación de un fenómeno, se traslada a una representación creada con y para una tecnología particular: el computador, que media la comprensión del sistema. Estas nuevas representaciones implicaron estandarizar la forma de simplificar (y de escoger qué es relevante) y sintetizar los procesos ecológicos en modelos, ecuaciones, diagramas. La representación de los flujos, la simbología y el marco conceptual desde el que se elaboraron estas representaciones se constituyeron en estandarizaciones de la aprehensión misma de los ecosistemas; y al cambiar la heurística, cambió la concepción. Esta es una consecuencia de la referencia circulante. Así, la entidad del ecosistema se convirtió en una entidad distinta, en un objeto fabricado y cibernético. Epistemológicamente, esto significa que el científico se desconecta de la materialidad original y, por ende, de los valores y el contexto asociados a ésta.²⁴⁵

Tanto esta desconexión como el cambio de objeto implican también cambios profundos para la persona científica. De tener un rol de descripción y clasificación de lo natural, de descubrimiento y esclarecimiento, el nuevo objeto impone a la persona científica una realidad susceptible de ser construida; el sistema implica la existencia de alguien que lo puede controlar o intervenir, diseñar e, incluso, crear. Por ende, la persona científica, en esta nueva realidad que está creando, tiene otro nuevo rol: administrar científicamente, rol que tiene tintes tecnocráticos.²⁴⁶

²⁴⁴ Taylor, "Technocratic Optimism," 230-33; Odum, *Fundamentals*, 65-86; Patten, "Introduction to the Cybernetics," 221-31; Kingsland, *Evolution*, 195.

²⁴⁵ Kingsland, *Evolution*, 215. Granjou y Walker llaman a esta reconceptualización una "teoría cyborg de la naturaleza", que se materializa en los ecosistemas en ambientes controlados; Granjou, y Walker, "Promises that Matter," 53.

²⁴⁶ Taylor, "Technocratic Optimism," 232-33, 237; Kwa, "Radiation ecology," 217.

A la práctica ecológica de mediados del siglo XX se le sumaron las preocupaciones nucleares, ambientales y demográficas que ya he descrito antes, resultando en la centralización de la agencia en el ser humano. Esto significaría que los seres humanos seríamos los únicos con la agencia y el poder suficientes para intervenir, modificar, destruir, proteger, rescatar, mejorar el mundo; apropiándonos de él a cabalidad. Conforme a esta comprensión, los ecólogos de sistemas, de entre la humanidad, se encontrarían en una posición particularmente privilegiada, pues tendrían exacerbadas tanto la capacidad como la responsabilidad de obrar sobre los ecosistemas para el bienestar del mundo; ello resalta la vena tecnocrática de la ecología de ecosistemas.²⁴⁷

Sobre la base de la reducción de la complejidad natural que ejecuta la ecología de sistemas y el encumbramiento de la agencia de los ecólogos, esta vena tecnocrática pretendía extrapolar el control ecológico al control social. De acuerdo con ésta, los problemas sociales y los ambientales, habrían de abordarse técnicamente y, por ende, habría de reducirse su complejidad, modelarse, captar la dinámica del *feedback* y ser intervenidos en función de ello.²⁴⁸ Cabría preguntarse, conforme a esta corriente, en qué sujetos específicos se debería centralizar la agencia y para el beneficio particular de quiénes. Esta retórica se vio fortalecida en la segunda mitad del siglo XX por las crecientes preocupaciones maltusianas, marco en el cual surgió el PAM y la RV, cuando las vidas intervenidas dejaron de ser sólo aquellas de los organismos objeto de estudio y de producción, para incluir las de millones de habitantes de diversos territorios.

Por otra parte, a la centralización de la agencia se suma que la representación lleva aparejado el supuesto realista de que los sistemas se comportan de hecho como se representa su conducta.²⁴⁹ Sobre esta base representacional y el realismo que entraña, la representación condiciona la acción, y el ecólogo actuaría sobre el sistema esperando generar los resultados

²⁴⁷ Kingsland, *Evolution*, 202-6; Cfr. Rothschild, "Environmental Awareness," 492-530. Vena que se extrapolaría con facilidad a los sistemas sociales; cfr. Taylor, "Technocratic Optimism," 213-44.

²⁴⁸ Taylor, "Technocratic Optimism," 213-44.

²⁴⁹ Ver Taylor, "Technocratic Optimism," 229; Höhler, *Spaceship Earth*, 71.

que la modelación le permitiría prever.²⁵⁰ Este tipo de concepciones y de intervenciones son claros en los proyectos de modelación-creación de ecosistemas; desde los cibernéticos como el *World 3*, hasta los materiales, como el Ecotrón y la *Biosphere 2*. Sin embargo, como resulta claro con el caso de la *Biosphere 2*, siempre hay factores y dinámicas que se escapan a la imaginación humana.²⁵¹

iii. De ecosistema a ambiente: Nuevas naturalezas

Una consecuencia importante más de la nueva epistemología de los ecosistemas, de su factorización y sus representaciones, facilitadas por la ecología de ecosistemas, es que a los ecosistemas se les transforma en ambientes que sustentan la vida. Asimismo, se convierte a la Tierra en un sistema de soporte vital, que habría de ser administrada, estudiada, modelada, procurada y mejorada para que tenga el mejor desempeño.²⁵² Los ambientes controlados son la materialización del concepto de ecosistema cuando éste se funde con el de ambiente, una vez que la tan vasta comprensión del organismo y del ambiente ha permitido el control, el diseño, la re-creación y la producción de éstos. En esta nueva materialidad, los ambientes controlados configuran una nueva naturaleza, producto del ensamblaje entre tecnología y vida.

Esta renaturalización no sólo implica que los ecosistemas fabricados sean considerados ecosistemas (como los del Ecotrón), sino que a los ecosistemas en el medio natural también les son impuestas normas, categorías y comprensiones emanadas de lo fabricado. Además de la interpretación de la dinámica ecosistémica como procesos y factores, se les imprime a los ecosistemas funciones propias de los sistemas de soporte vital, acordes a necesidades y finalidades, a servicios útiles para la supervivencia humana en la Tierra.

²⁵⁰ Kingsland, *Evolution*, 210-11.

²⁵¹ Cfr. Nelson, *Pushing Our Limits*.

²⁵² Höhler, "The environment," 39-58. La idea de la Tierra como sistema de soporte vital además surge de las preocupaciones ambientalistas relacionadas a la idea de la Astronave Tierra; Kingsland, *Evolution*, 199.

Esta renaturalización implica entonces y, sobre todo, la transformación de los ecosistemas en ambientes. Sverker Sörlin y Nina Wormbs han denominado al proceso de creación de ambientes *environing*, que traduciré como ambientalización (hacer ambiente). El ambientalizar (*to environ*)²⁵³ es crear ambientes, es el ejercicio de la agencia del ser humano para intervenir material y conceptualmente a la naturaleza. El ambiente, entonces, es el resultado de un proceso continuo de ambientalización, donde el ambiente no está sólo “ahí-afuera”, sino que es una integración de lo social y de lo natural a múltiples escalas. Así, la agencia se ejerce a través de tecnologías ambientantes (conceptuales, teóricas, instrumentos, infraestructura, tecnologías de recolección y procesamiento de datos, computadores, inscripciones diversas, etcétera) que ocasionan cambios a nivel material y a nivel de concepciones.²⁵⁴

Desde esta perspectiva, todas las tecnologías y prácticas que aquí he abordado son ambientantes, pues ambientalizan conforme a su contexto. Esto significa que las representaciones e intervenciones de las que he hablado tienen una injerencia directa sobre la naturaleza, desde el momento mismo en el que abordan las relaciones seres humanos-naturaleza y condicionan la manera de pensar y actuar sobre ellas. Este trabajo no necesariamente es intencional ni planificado, como recalcan Sörlin y Wormbs, pero se trata de un trabajo continuo “relacionado a la capacidad humana, y a la necesidad como especie, de formar y modelar al entorno para sostener el tipo de vida que llamamos humana.”²⁵⁵

La representación y la intervención, y sus bucles, sobre la vida y la naturaleza que como especie llevamos a cabo cotidianamente, cambian nuestra concepción de éstas y de nosotros. En esta experiencia, la teorización, la construcción, la simplificación, la experimentación, la manipulación, e incluso la aniquilación, son parte integral de nuestra existencia y de nuestra

²⁵³ Traduzco *environ* como ‘ambientalizar’, y *environing* como ‘ambientalizar’ para hacer énfasis sobre que se trata de un proceso continuo, así como para evitar la traducción de estos términos como ‘ambientar’ o ‘ambientación’, pues estas palabras son de un uso tan cotidiano que resulta con frecuencia superficial, y aquí remito a algo más profundo.

²⁵⁴ Sörlin y Wormbs, “Environing technologies,” 101-25.

²⁵⁵ Sörlin y Wormbs, “Environing technologies,” 104-5, 101-25.

propia construcción continua, que se da en un cauce histórico. A los ecosistemas los construimos y fabricamos entonces como naturalezas antropomorfas, como ambientes, conforme al contexto. En cada contexto, la práctica científica aporta marcos de representación e intervención, y de esta manera contribuye a la construcción de epistemologías y ontologías diversas sobre la naturaleza. En algunos casos, como los aquí revisados, la práctica científica contribuye a la construcción de la naturaleza como ambiente, lo que no sólo implica el cambio ontológico de la naturaleza, sino también un cambio en el ser humano mismo, pues su habitar se transforma. De la transformación del ser humano y de la naturaleza, así como de la interacción entre ambos, surgen los ecosistemas: entidades condicionadas que se construyen junto con la humanidad que les habita y que, al habitarles, les interviene, les construye, se los apropia y les crea, tanto como a sí misma.

ANEXO

Modernización agrícola desde México

Aquí me centraré en las primeras décadas de la RV en México, lo que me permite identificar algunos de sus componentes que en el capítulo D se entrelazan con el control e intervención de los organismos agrícolas. De manera genérica, y reconociéndoles fronteras difusas, mencionaré los siguientes: a) el componente fitocientífico, dentro del cual se identifica la necesidad de mejorar las prácticas agrícolas y las condiciones para la agricultura, así como se desarrollan las estrategias científicas para ello; b) el componente político, que comprende el contexto geopolítico internacional y la voluntad política hacia el cambio agrícola y social, así como las acciones emprendidas por los gobiernos para impulsar la modernización; c) el componente tecnológico, que abarca no sólo los medios para la investigación fitocientífica, sino parte del impulso hacia la misma, como pudieran ser los ambientes controlados y la radioactividad; y d) el componente socioambiental, porque la modernización agrícola se llevó a cabo de maneras distintas dependiendo del contexto, de las necesidades y carencias sociales, de la geografía física y humana del territorio de la actividad agrícola; y de ello también dependieron los resultados de la RV.

Trataré de ilustrar a través de mi narrativa, pues, el caso mexicano, un ejemplo claro donde se entretujan nuevas políticas agrícolas, fitociencias, política, el combate al hambre, intereses económicos, pobreza y marginación, movilidad científica, entre muchos otros. En este Anexo hago un breve recuento del proceso de modernización agrícola en México, el comienzo de la RV en este país, y su desarrollo hasta 1965, año en que terminó el Programa Agrícola Mexicano (PAM).

Durante la época de la Revolución Mexicana el agro mexicano estuvo caracterizado por una polarización de las prácticas agrícolas, directamente relacionadas a la propia polarización social. Por un lado, estaba una clase alta compuesta por grandes latifundistas y dueños de inmensas plantaciones. Por otro, estaba el campesinado mexicano, cuya forma de producción estaba basada en la propiedad comunal y en prácticas agrícolas tradicionales. Y, por otro lado, estaba la clase media en desarrollo que buscaba formas de producción redituables comercialmente y bajo propiedad privada. Como resultado de la Revolución Mexicana, la reforma agraria reestructuró el agro: no sólo se repartieron tierras, sino también se buscó mejorar las condiciones del campesinado y modernizar la agricultura. Como parte de este movimiento, se buscó mejorar las herramientas agrícolas y se comenzaron a desarrollar variedades mejoradas. Pandurang Khankhoje, un agrónomo de origen indio fue un importante impulsor de este movimiento de educación, modernización agrícola y del desarrollo rural por medio de una mejor producción agrícola basada en ciencia. Durante la presidencia de Lázaro Cárdenas del Río (1934-1940) se continuó con los ideales agrarios posrevolucionarios y se impulsó de manera importante el desarrollo económico, social y de infraestructura en México; y, especialmente, de los sectores obrero y campesino del país. Por su parte, el desarrollo del México rural se promovió a través del reparto agrario y la formación de ejidos²⁵⁶, el otorgamiento de crédito, asistencia técnica y servicios sociales como la educación y la salubridad públicas. Tal fue el éxito de la reforma agraria del cardenismo que, para 1940, poco más de la mitad de los productos agrícolas en México eran producidos en ejidos.²⁵⁷

Con el cambio de gobierno, sin embargo, el presidente Manuel Ávila Camacho (1940-1946) modificó radicalmente la política económica en México. Si bien los proyectos de infraestructura del cardenismo impulsaron la industria de la construcción de manera

²⁵⁶ El ejido es una forma de tenencia colectiva de la tierra, de la cual se crean parcelas individuales que son asignadas a un miembro de una comunidad de por vida y que son heredables. Hasta 1992, no era posible vender las parcelas individuales en territorios ejidales; Morett-Sánchez, y Cosío-Ruiz, "Panorama," 130; Soto Laveaga, "Socialist origins," 337-59.

²⁵⁷ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 17-21; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 69-76; Hewitt de Alcántara, "The 'Green Revolution'," 25-26; Soto Laveaga, "Socialist origins," 337-59.

importante en los últimos años de la década de los treinta, el sector industrial creció aún más durante los años cuarenta. La nueva política de gobierno y el movimiento comercial generado por la Segunda Guerra Mundial promovieron una rápida industrialización de los centros urbanos, la formación de empresas privadas, así como a la industria manufacturera y la inversión extranjera. En este contexto, la agricultura era vista como un medio, una plataforma, para la industrialización.²⁵⁸

Conforme a esta lógica, la agricultura debía de modernizarse para proveer de alimentos a las urbes en crecimiento. Con el argumento de que el sector productivo de la reforma agraria (ejidos, básicamente) no era suficientemente productivo y de que resultaba inviable para las necesidades contemporáneas de alimentación y comercialización –y aunque al mismo tiempo no se le impulsara para que lo fuera–, el gobierno de Ávila Camacho fue dejando de promoverlo. Se comenzó a dejar de invertir en infraestructura y servicios, y el presupuesto destinado al sector se congeló; además, se fueron abandonando sus esquemas crediticios, mientras se impulsaba el cambio de tenencia de la tierra y se privilegiaba a grandes empresas productoras, a quienes se les beneficiaba con inversión en infraestructura, crédito, riego y mecanización. Los cambios en la estructura social-productiva y el progresivo abandono del campo a favor de la industria ocasionaron una mayor migración de la población rural hacia zonas urbanas, e importantes fracciones del campesinado de subsistencia empobrecieron progresivamente. Esto, a su vez, generó escasez de mano de obra agrícola y mayor mecanización de la agricultura, así como la disminución de la oferta de productos alimenticios frente a la demanda por las ciudades. Ello detonó inflación y escasez de alimentos, y como consecuencia el incremento de la importación de productos agrícolas básicos, como trigo, maíz, azúcar, frijol y arroz. Para el momento en que terminó la Segunda Guerra Mundial, la producción agrícola nacional era insuficiente para satisfacer la demanda de la población urbana, las exportaciones disminuyeron y la economía se desestabilizó. Esta

²⁵⁸ Hewitt de Alcántara, “The ‘Green Revolution’,” 28-29; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 21-24.

situación condujo a que se exploraran de manera más intensiva alternativas a los modos de producción tradicional.²⁵⁹

De esta manera, la estrategia de modernización de la agricultura mexicana, iniciada en 1940, se orientó fuertemente hacia el beneficio de los grandes productores. Entre algunos de sus componentes más relevantes están: la inversión en obras de infraestructura (de irrigación y electrificación), la mecanización del cultivo, el otorgamiento selectivo de créditos, la distribución selectiva de alimentos y bienes, el impulso al riego, y el impulso –por medio de subsidios, créditos, apertura y control de mercados, asistencia técnica, programas de extensión– a la agricultura comercial de alta productividad y de alto nivel tecnológico, que requiere del empleo de agroquímicos y semillas mejoradas.²⁶⁰ A continuación me centraré en la investigación fitocientífica que se llevó a cabo para la modernización agrícola en México a mediados del siglo XX, su entramado institucional, sus productos y consecuencias; todo lo cual está estrechamente relacionado a la RV.

Ya desde década de 1930 se llevaba a cabo en México investigación específica para aumentar la productividad agrícola nacional, misma que funcionaba a través de estaciones experimentales y de la recolección de semillas de maíz y trigo en todo el país, con el fin de seleccionar y crear variedades de mayor rendimiento; trabajo que comenzó Khankhoje en la década de 1920.²⁶¹ Edmundo Taboada Ramírez, agrónomo de la Escuela Nacional de Agricultura y posgraduado en Estados Unidos, alumno de Khankhoje, se encargó de parte

²⁵⁹ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 24-30, 57-58, 60-61; Hewitt de Alcántara, "The 'Green Revolution'," 29-31; Robles B., "Estructura de la producción," 21-50.

²⁶⁰ Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 120-22; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 31-99.

²⁶¹ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 31; Soto Laveaga, "Socialist origins," 337-59. Además de las estaciones experimentales, esta investigación tuvo lugar en el Instituto Biotécnico, entidad formada en 1934 y especializada en estudiar la historia evolutiva del maíz, así como maneras de mejorar las variedades de maíz. Cabe mencionar que en dicho instituto trabajó en endocria e hibridación, trabajos en los que destacó Khankhoje. El Instituto Biotécnico cerró en 1940, como consecuencia de la reorganización de la investigación con la administración de Ávila Camacho. Mientras tanto, Eduardo Limón trabajó en el desarrollo de variedades de maíz mejorado endocriado. La OCE se formó con base en su proyecto; Matchett, "At Odds over Inbreeding," 352-59.

de dicha investigación agronómica durante el gobierno de Lázaro Cárdenas, tiempo durante el cual buscó seleccionar las variedades mejores adaptadas de varias especies (como sésamo y chile pasilla) y resolver problemas técnicos y económicos de los pequeños productores. De manera complementaria, en 1940 se creó, por orden de Marte Rodolfo Gómez Segura, la Oficina de Campos Experimentales (OCE) a partir del Departamento de Campos Experimentales –creado a principios de los años treinta– en la Secretaría de Agricultura y Fomento (SAF) de México y Taboada fue nombrado su director.²⁶² La OCE se encargó de coordinar los campos experimentales de la SAF distribuidos en todo el país, los que fueron utilizados para la colección y selección de diversas variedades de maíz adaptadas a diferentes condiciones geográfico-climáticas y para la producción de semillas mejoradas sintéticas o de polinización abierta para la agricultura de temporal. Estas semillas mejoradas tenían la cualidad de que su rendimiento era mayor que el del maíz criollo, sin requerir de cambios drásticos en la forma de producción, puesto que era posible cultivarlas en los mismos sitios donde ya se cultivaba maíz –con frecuencia se trataba de territorios con escasez de agua, suelos empobrecidos, climas extremos, pendientes pronunciadas, entre otros rasgos que denotan escasa aptitud agrícola– y, además, se podrían sembrar año con año.²⁶³ En 1947, la OCE se convertiría en el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA).

De manera paralela, en 1941, con las nuevas políticas agrícolas y el nuevo gobierno federal a cargo de Manuel Ávila Camacho desde 1940, comenzaron diálogos entre el gobierno de México y la Fundación Rockefeller (FR), a fin de que la FR brindara asistencia técnica para el aumento de la productividad agrícola, lo que, al concretarse en 1943, fue denominado Programa Agrícola Mexicano (PAM).²⁶⁴ Desde 1936 la FR había buscado entablar tales

²⁶² Barahona, y Gaona, "Introduction of Plant Genetics," 156; Barahona, "Genética en México," 431-32.

²⁶³ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 46; Barahona, y Gaona, "Introduction of Plant Genetics," 156; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 97, 116, 120-23, 144; Stakman en Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 132; Robles B., "Estructura de la producción," 24-26; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 469-70.

²⁶⁴ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 32-33; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 121-24; Barahona, "Genética en México," 433-34.

conversaciones, pero la política cardenista y, en especial la expropiación petrolera, no permitieron que hubiera un clima político adecuado para ello.²⁶⁵

Dicho clima político se refiere a la postura del gobierno de México frente a la intervención estadounidense en asuntos públicos. Ya desde antes del gobierno de Cárdenas había desconfianza hacia los Estados Unidos por su intervencionismo manifiesto en la Revolución y la Posrevolución; sin embargo, la FR gozaba de reputación de poseer cierta independencia de la política, de ser filantrópica y de poseer amplia capacidad técnica y científica.²⁶⁶ Esta popularidad se la había ganado la FR a través de su International Health Commission (IHC, creada en 1914, renombrada Board [IHB] en 1915 y Division [IHD] en 1927), que desde mediados de la década de 1910 comenzó a intervenir en la salud pública de países de América Latina y el Caribe. En el campo de la salud pública, los primeros proyectos que desarrolló en dichos países estuvieron enfocados en la erradicación de la enfermedad que causa el Anquilostoma (parásitos intestinales), de la fiebre amarilla y de la malaria. En México estos trabajos se realizaron durante la década de 1920.²⁶⁷

Estos proyectos de la IHB/IHD habían demostrado su efectividad (pues desde un comienzo se formulaban de manera que fueran realizables) y con ello se había ganado el respeto y la confianza de los gobiernos mexicanos, incluyendo el de Cárdenas.²⁶⁸ Sin embargo, la política cardenista de soberanía y desarrollo generó fricciones con la FR y los Estados Unidos, particularmente por la expropiación petrolera de 1938, que, entre otras, perjudicó a varias sucesoras de la Standard Oil Company, otrora propiedad de John D. Rockefeller.²⁶⁹ Aunque la FR sostuvo su aparente neutralidad ante esta situación, lo cierto es que el clima político no era propicio para efectuar nuevos proyectos, al grado de que se impuso un bloqueo económico internacional a México y se demandó reparación por la expropiación

²⁶⁵ Oasa, y Jennings, "Investigación social en agricultura," 985; Barahona, "Genética en México," 434.

²⁶⁶ Birn, "Wa(i)ves of Influence," 381-83.

²⁶⁷ Cueto, "Cycles of eradication," 222-43.

²⁶⁸ Birn, "Wa(i)ves of Influence," 383-87.

²⁶⁹ Birn, "Wa(i)ves of Influence," 383-93; Oasa, y Jennings, "Investigación social en agricultura," 984.

petrolera.²⁷⁰ Esta situación cambió con el anuncio de la Segunda Guerra Mundial, pues Estados Unidos entonces requeriría de insumos y acuerdos con México, lo que suavizó la relación en los últimos momentos del cardenismo y ésta se estrechó con el nuevo gobierno de Manuel Ávila Camacho, el cual respondió a las presiones estadounidenses concediendo compensaciones a empresas estadounidenses y abriendo la puerta al capital privado y a los intereses estadounidenses.²⁷¹

Además de que el gobierno de Ávila Camacho era más amigable con los intereses económicos y políticos estadounidenses y de que para comienzos de la década de 1940 los Estados Unidos estaban ávidos de alianzas porque para entonces ya había estallado la Segunda Guerra Mundial, su política agraria privilegiaba a los productores comerciales. Sumado a ello, el gobierno estadounidense tenía interés en recolectar germoplasma de maíz para utilizarlo en los programas de fitotecnia de Estados Unidos y la FR tenía sus propios intereses en su participación en el mejoramiento agrícola en México y, eventualmente, en otros países “subdesarrollados”.²⁷² Dichos intereses estaban relacionados a la afinidad de la FR y algunos de sus colaboradores en el PAM con el Neo-Malthusianismo, por lo que una preocupación central era la explosión demográfica, y por lo tanto se hacía necesario desarrollar medios para frenarla, así como para aumentar el abasto mundial de alimentos. Al comienzo de la Segunda Guerra Mundial, además, la “cooperación internacional” y la asistencia técnica por vía de la ciencia resultaba una herramienta política idónea –por su supuesta neutralidad– para generar y fortalecer alianzas. Las alianzas de Estados Unidos con México en este contexto resultaban cruciales, tanto por el abasto de provisiones como alimentos, minerales y fibras, como por evitar que México se tornara del bando enemigo.²⁷³

²⁷⁰ Robles B., “Estructura de la producción,” 29-30.

²⁷¹ Robles B., “Estructura de la producción,” 34-44; “Mexican Expropriation of Foreign Oil, 1938.”

²⁷² Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 88; Ocampo Ledesma et al., “Gilberto Palacios,” 29; Robles B., “Estructura de la producción,” 34-44; cfr. Mangelsdorf, “Applied Genetics,” 2-4.

²⁷³ Schlosser, “Malthus at mid-century,” 465-84; Schiavon, *La relación especial*, 5-7; “Mexico”; Robles B., “Estructura de la producción,” 29, 42; Anderson, “Origins,” 61, 66; Oasa y Jennings profundizan en la idea de la intervención científica como una vía supuestamente neutral, como instrumento de autoridad y con fuerza de producción social; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 977, 979-80.

Esta necesidad de “cooperación” y “asistencia” en relación con México se acentuó con el comienzo de la Guerra Fría, considerando además que en la época se creía que “la sobrepoblación causa [...] pobreza, que a su vez [...] crea un caldo de cultivo para la insurrección comunista”, especialmente por las promesas de progreso y soluciones por parte del Comunismo.²⁷⁴ Ante esta supuesta amenaza, la fitotecnia se perfiló aún más como un medio científico para el “desarrollo”, el “progreso”, la “estabilidad social” y la defensa del capitalismo, extendiéndose a través de la Revolución Verde y del *Point Four Program* a los países “subdesarrollados”.²⁷⁵ Aunque en México (y los países a donde llegó la Revolución Verde) el aumento de la productividad agrícola era una necesidad real –y más aún con el crecimiento demográfico y la migración hacia las ciudades debido a la industrialización–, es claro que el Programa Agrícola Mexicano (y la Revolución Verde que derivó de él) tenía fines propagandísticos. Evidencia de ello es la necesidad reconocida de que el PAM presentara resultados en un corto tiempo –tanto a México como al mundo– y, por ende, el enfoque (al menos a partir de la década de 1950, que fue justamente cuando Nelson Rockefeller comenzó a trabajar como consejero del presidente Truman, en el marco del *Point Four Program*) sobre la producción comercial, que tenía más medios para aumentar su productividad en un corto tiempo, pese a que esto significara que la pobreza rural y el hambre tuvieran que ser relegadas a último lugar.²⁷⁶

²⁷⁴ Schlosser, “Malthus at mid-century,” 477; Mangelsdorf, “Applied Genetics,” 2-4; Anderson, “Origins,” 62-63.

²⁷⁵ Schlosser, “Malthus at mid-century,” 477-79; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 980-82; Mangelsdorf, “Applied Genetics,” 2-4; Anderson, “Origins,” 61, 63-65. Sobre el *Point Four Program*, ver apartado A4.

²⁷⁶ Birn, “Wa(i)ves of Influence,” 383-89, 393; Harwood, “Peasant Friendly Breeding,” 386-87, 399-401; Anderson, “Origins,” 61-62, 65; Harwood, “Whatever happened,” 1243-52; “Harry S. Truman to Nelson Rockefeller;” cfr. Mangelsdorf, “Applied Genetics,” 2-4; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 992-93. Algunas personas que han historizado el comienzo de dicha asistencia técnica consideran que desde su conceptualización la incursión de la FR en la agricultura mexicana estaba orientada hacia la americanización de la agricultura tradicional (Fitzgerald, por ejemplo, describe de manera específica a qué se refiere la agricultura americana en la primera mitad del siglo XX y por ende a qué se refiere dicha americanización) y hacia el consecuente beneficio económico de los grandes productores, más que hacia el abatimiento del hambre y la mejora de las condiciones de vida de la población mexicana en general y especialmente la rural. Otras versiones consideran que estas consecuencias fueron efectos no contemplados y no deseados en el inicio del PAM, aunque para la década de los cincuenta las intenciones cambiaran debido a las presiones por

Ahora bien, los diálogos entre el gobierno de México y la FR comenzaron en 1941 por vía de Henry Wallace (entonces vicepresidente de los Estados Unidos y dueño de la empresa semillera Pioneer) y el secretario de Agricultura, Marte R. Gómez Segura, quien mantuvo contacto con la FR para iniciar el programa de asistencia técnica para aumentar la productividad agrícola mexicana. La participación de Wallace surgió a raíz de que viajó a México en 1940 a la toma de posesión de Ávila Camacho y en esa oportunidad recorrió campos agrícolas, lo que lo llevó a luego comentar a Raymond B. Fosdick (presidente de la FR) sobre la mejora que significaría para la “vida nacional de México” la asistencia para el desarrollo de la agricultura mexicana. Este tipo de asistencia que podría brindar la FR de manera supuestamente neutral se alineaba con los intereses en el vecino del sur – especialmente en los albores de la Segunda Guerra Mundial– y además con el combate a algunos de los males en México que constituían rasgos característicos de países sobrepoblados (hambruna, pobreza, escasa producción de alimentos), incluso no estando en dicha situación. De esta manera, la asistencia para el desarrollo de la agricultura permitiría tanto forjar alianzas e intervenciones, como atender los problemas relacionados con el hambre y el crecimiento demográfico, fuera éste una condición presente o parte de una tendencia previsible.²⁷⁷

obtener resultados, a diferencias políticas y a las limitantes en los recursos disponibles. Lo que es cierto es que la FR y el gobierno estadounidense tenían sus propias intenciones en brindar tal “asistencia técnica”, que había división entre los analistas de la FR sobre cómo llevar a cabo el PAM y que la Revolución Verde en México tuvo consecuencias socioeconómica y ecológicamente desastrosas. Harwood, “Peasant Friendly Breeding,” incluso argumenta que en México la Revolución Verde resultó tan poco eficaz en atender la pobreza y el hambre, e incluso resultó perjudicial al profundizar la desigualdad, la pobreza y los desequilibrios ecológicos, que ha sido borrada de manera importante de la narrativa histórica de la Revolución Verde. En la primera postura, encontramos a Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*; Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 457-83; Hewitt de Alcántara, *La modernización*; Hewitt de Alcántara, “The ‘Green Revolution’,” 25-44; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 975-1012. En la segunda postura, en cambio, encontramos a Harwood, “Peasant Friendly Breeding,” 384-410; Harwood, “Whatever happened,” 1243-52; y Matchett, “At Odds over Inbreeding,” 345-72.

²⁷⁷ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 82-84; “Mexico”; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 5-6; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 985-986; Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 462-63; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 32-33; Barahona, y Gaona, “Introduction of

Como resultado de estos diálogos, y ante la disposición del gobierno de México, en 1941 la Fundación Rockefeller envió una comitiva de especialistas (Elvin Charles Stakman, fitopatólogo; Paul Mangelsdorf, botánico-genetista vegetal y agrónomo; y Richard Bradfield, agrónomo y edafólogo) a México a realizar un diagnóstico de la situación de la producción agrícola en México. Dicho comité concluyó que sus problemas principales eran: a) el, con frecuencia inadecuado, aprovechamiento y manejo de suelos (incluyendo la labranza); b) las plantas cultivadas, cuya adaptación, rendimiento y calidad podían mejorar; y c) las enfermedades y plagas en los cultivos; y que la FR podría ayudar a mejorar la productividad agrícola.²⁷⁸ De este estudio –y de al menos otro más– surgió en 1943 el Programa Agrícola Mexicano (PAM) como programa de cooperación entre la FR y el gobierno mexicano y, a su vez, a partir de él se creó la Oficina de Estudios Especiales (OEE) en la Secretaría de Agricultura.²⁷⁹ El Comité Consultivo para Actividades Agrícolas del PAM, responsable de los primeros años del desarrollo del programa, estuvo conformado por los mismos Stakman, Mangelsdorf y Bradfield, y a cargo del programa como Director de Campo quedó Jacob George Harrar.²⁸⁰

Plant Genetics,” 158; Ocampo Ledesma et al., “Gilberto Palacios,” 29. En 1941, el entonces encargado de la IHD en México, George C. Payne, hizo emerger como tema en la FR –y posteriormente con Wallace– la necesidad de un programa tal de asistencia para México, resultando en el acuerdo de que se trataría de un programa que integrara salud pública, educación y agricultura. Más tarde en ese mismo año se descartó a la educación como componente por su potencial de controversia, y a la salud pública porque ya la IHD trabajaba en ello. Para entonces, Wallace ya habría conocido México y además habría quedado impresionado por el programa de maíz híbrido de Eduardo Limón; Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 462; Matchett, “At Odds over Inbreeding,” 360.

²⁷⁸ Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 464; Matchett, “At Odds over Inbreeding,” 361-62; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 34-35; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 35; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 6, 14; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 986-87; Stakman en Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 132.

²⁷⁹ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 32-34; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 122-24; Barahona, Pinar y Ayala, *La genética en México*, 102; Barahona, y Gaona, “Introduction of Plant Genetics,” 155; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 14.

²⁸⁰ Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 8; Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 463. En 1959 Harrar se convertiría en vicepresidente de la FR y en 1961 presidente, posiciones desde las que impulsaría la exportación de la Revolución Verde a Asia y África, y la creación del IIRI en Filipinas; “Jacob George Harrar.”

Las funciones de la OEE consistían en, por una parte, aumentar la producción de alimentos, lo que se presumía que podría lograrse al atender las problemáticas identificadas. Así, con miras a alcanzar dicho objetivo se realizó investigación en torno a: a) la adaptación de semillas a suelos; b) el desarrollo de variedades de alto rendimiento, resistentes a plagas y a condiciones climáticas adversas, con ciclos de desarrollo más cortos y por ende mayor productividad; c) el uso eficiente del agua; y d) el manejo óptimo de insumos agrícolas, como pesticidas y fertilizantes.²⁸¹ Para ello, se cedieron espacios para oficinas y laboratorios dentro de la Secretaría de Agricultura en la Ciudad de México; se establecieron estaciones experimentales; y se estableció un espacio experimental en la Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo, donde se instalaron campos y estaciones experimentales, laboratorios diversos (fitopatología, entomología, edafología), almacenes e invernaderos.²⁸² Asimismo, en 1946, la FR financió la construcción y equipamiento de un invernadero para los trabajos de entomología, fitopatología y fitotecnia de la OEE en Chapingo.²⁸³

Por otra parte, la OEE se encargó también de promover la capacitación y formación de agrónomos y especialistas relacionados a la agronomía, así como de estimular y apoyar a las escuelas superiores de agricultura del país. Parte de dicha formación se daba al incorporar a jóvenes investigadores y a estudiantes a las investigaciones en campo y laboratorio de la OEE, a quienes luego se enviaba al extranjero (principalmente a los Estados Unidos) para que, posteriormente, regresaran a México a ocupar puestos de investigación agrícola y fitotécnica al servicio del gobierno y de la FR. Bajo este esquema, también se recibieron estudiantes de otros países latinoamericanos. Varios de estos especialistas eventualmente tuvieron participación en la creación e implementación de otros programas de investigación agrícola financiados por la FR, como la creación del IRRI y del CIMMYT.²⁸⁴

²⁸¹ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 35.

²⁸² Barahona, Pinar y Ayala, *La genética en México*, 102; "Mexico"; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 7-21.

²⁸³ Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 475.

²⁸⁴ Barahona, Pinar y Ayala, *La genética en México*, 102, 106; Barahona, "Genética en México," 434; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 14, 35-36; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 474-77.

Como parte del desarrollo de nuevas variedades agrícolas, dentro de la OEE trabajaron, entre otros, especialistas en edafología, fitopatología y genética. Algunos de ellos también trabajaron con la OCE, como el ingeniero agrónomo Gilberto Palacios de la Rosa. Inicialmente, el enfoque de tales investigaciones estuvo en el maíz y el trigo, que eran principalmente cultivos de subsistencia y comercial, respectivamente. Posteriormente, desde finales de los cuarenta y mediados de los cincuenta, también se realizaron investigaciones sobre frijol, papa, hortalizas, sorgo, cebada y leguminosas. Cabe mencionar que la “solución” a los problemas agrícolas centrada en el desarrollo de nuevas variedades necesariamente tenía que ir acompañada de una nueva estructura productiva, consistente en cambios en la forma de producción asociados a la incorporación de un “paquete tecnológico” de innovaciones, tanto en prácticas (como la mecanización, diferentes métodos de siembra y de irrigación, cambios en el manejo del suelo y la administración del agua) como en insumos (como fertilizantes químicos, plaguicidas y semillas mejoradas).²⁸⁵

En el caso del programa de mejoramiento triguero de la OEE, Norman Borlaug fue su director de 1944 a 1960. Su principal objetivo fue el aumento de la productividad del trigo, por lo que Borlaug se centró en el desarrollo de nuevas variedades, mismas que posteriormente habrían de ser distribuidas a agricultores y gobiernos. Este programa partió de la formación de un banco genético de variedades de trigo de diversas partes del país y del extranjero, las cuales se seleccionaron y sirvieron de base para el desarrollo de variedades híbridas. Estas variedades serían configuradas de manera que tuvieran cualidades que, a diferencia de las autóctonas, potenciaran la productividad, como: alto rendimiento, resistencia al chahuixtle (o roya), ciclos de desarrollo más breves, resistencia a condiciones climáticas particulares y a plagas, y, notablemente, la capacidad de responder de manera óptima a las prácticas e insumos del nuevo paquete tecnológico.²⁸⁶

²⁸⁵ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 43-44, 56; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 122-24; Barahona, y Gaona, “Introduction of Plant Genetics,” 158-59; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 137, 139; Ocampo Ledesma et al., “Gilberto Palacios,” 28-29.

²⁸⁶ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 37-44; Barahona, y Gaona, “Introduction of Plant Genetics,” 158; Barahona, Pinar y Ayala, *La genética en México*, 103-5.

Por otra parte, Edwin Wellhausen fue seleccionado por Harrar para encargarse del mejoramiento del maíz. Este programa también se centró en el desarrollo de nuevas variedades, para lo cual se requirió de la colección de semillas y germoplasma. A dicha colección contribuyeron la recolección en campo que hizo la OEE, la recepción de muestras de maíz colectadas por Taboada y Limón –así como por la OCE/IIA (ya en la década de 1950), consistentes en germoplasma autóctono y de variedades ya seleccionadas y/o mejoradas– y diversas aportaciones de agricultores. De manera similar al mejoramiento triguero, se seleccionaron los rasgos deseables del maíz y se generaron variedades con mayor productividad y también con mayores requerimientos de condiciones particulares e insumos.²⁸⁷

En 1947 se creó el Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA) a partir de la OCE, en el seno de la Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo y con Taboada al frente. Aunque la OCE/IIA también era un organismo destinado a potenciar la productividad agrícola de México, los medios encaminados a conseguirlo fueron distintos a los de la OEE, al menos a partir de la década de 1950.²⁸⁸ Así, el IIA buscó aumentar la productividad agrícola no sólo mediante la fitotecnia y su extensión, sino también mediante el impulso a la producción local sobre la comercial, al aprovechamiento de los conocimientos tradicionales, a la solución de problemas agrícolas cotidianos, a la agricultura de subsistencia (y por ende principalmente de maíz), y a procurar que los campesinos no necesitaran comprar nuevas semillas de variedad mejoradas cada año.²⁸⁹

La diversidad de objetivos y medios en la OEE y la OCE/IIA quedan manifiestos en las diferentes metodologías de fitomejoramiento y en los productos (variedades) que se obtuvieron en ambas instituciones. Si bien al inicio del PAM se esperaba que hubiera cooperación entre la OEE y la OCE –y de hecho en 1944 se reunieron representantes de

²⁸⁷ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 86, 93, 104, 111-14, 117-18, 120, 125; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 46-47; “Mexico”.

²⁸⁸ Cfr. Matchett, “At Odds over Inbreeding,” 345-72; cfr. Harwood, “Peasant Friendly Breeding,” 384-410.

²⁸⁹ Barahona, y Gaona, “Introduction of Plant Genetics,” 156-57; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 991-92.

ambas instituciones (P. C. Mangelsdorf, E. J. Wellhausen y E. Taboada) para establecer esquemas de cooperación en el mejoramiento del maíz, e incluso la OEE empleó semillas que le proporcionó la OCE—, es un hecho que la relación entre ambos organismos albergó fricciones y competencia, así como destellos de cooperación e intercambio.²⁹⁰ Sus diferencias en intenciones, objetivos y metodologías son debatibles si están enmarcadas en la década de 1940;²⁹¹ sin embargo, es claro que a partir de 1950 el tipo de variedades de cereales que se desarrollaron en ambas instituciones fue acorde a las afinidades sociopolíticas de las mismas.²⁹²

²⁹⁰ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 47; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 113, 128-130, 147; Matchett, "At Odds over Inbreeding," 345-46, 365; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 464-69, 474; Ocampo Ledesma et al., "Gilberto Palacios," 28-29.

²⁹¹ Cfr. Hewitt de Alcántara, *La modernización*; cfr. Hewitt de Alcántara, "The 'Green Revolution'," 25-44; cfr. Harwood, "Peasant Friendly Breeding," 384-410; cfr. Matchett, "At Odds over Inbreeding," 345-72; cfr. Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*. Harwood, "Peasant Friendly Breeding," por ejemplo, defiende que las intenciones iniciales de los científicos y asesores del PAM era combatir el hambre y llegar a los más pobres, cultivando maíz, pero que estos propósitos resultaban inalcanzables dadas las difíciles condiciones de la agricultura mexicana de maíz (territorios pequeños y de escasa aptitud agrícola, pocos recursos, estructura socio-económica desfavorable, dudosa capacidad técnica y formación de los agricultores) y por ende la FR se decantó por impulsar la estrategia que le aseguraba éxito con el menor esfuerzo y tiempo: la agricultura comercial y triguera. De manera similar, Byerlee indica que, efectivamente, la FR inicialmente buscaba favorecer a la mayoría de la población, pero pasó a centrarse en la producción de híbridos ante el favorecimiento de la monopolizante Comisión del Maíz por este tipo de variedades, y en la producción de trigo por la tendencia modernizadora del gobierno federal; Byerlee, *Birth of CIMMYT*, 11-12, <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/17705/57994.pdf>; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 88; Ocampo Ledesma et al., "Gilberto Palacios," 29. Por otra parte, llaman la atención sobre el interés estadounidense (movilizador del PAM y de la formación de sus bancos genéticos) en incorporar a su banco genético las variedades mexicanas que tenían resistencias específicas de su interés; Harwood, "Peasant Friendly Breeding," 384-410; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 82-83, 86, 88, 109, 113; Ocampo Ledesma et al., "Gilberto Palacios," 29.

²⁹² Matchett dice, congruentemente con Harwood (quien documenta el cambio de intenciones de las instituciones en cuestión), que en un principio la OCE buscaba desarrollar variedades híbridas (en parte para demostrar su capacidad científica y para revertir la mezcolanza que la agricultura de subsistencia había detonado), mientras que la OEE buscaba variedades sintéticas de polinización abierta (porque proveerían resultados pronto y porque las semillas podrían re-sembrarse, resultando ser de bajo costo para los productores); y que a partir de 1950 las intenciones se revirtieron, buscando la OEE generar híbridos y el IIA semillas re-sembrables. Además, Matchett menciona que los productores mexicanos no estuvieron conformes con las variedades sintéticas que la OEE presentó en la década de los cuarenta porque resultaban muy poco uniformes; Matchett, "At Odds over Inbreeding," 345-62, 366-67; Harwood, "Peasant Friendly Breeding," 384-410. Palacios de la Rosa, en su tesis de 1964, documenta las prácticas habituales de fitotecnia

De esta manera, en la OEE se desarrollaron principalmente variedades híbridas, de maíz y sobre todo de trigo, cuya forma de producción era más rentable y se aproximaba más a los requerimientos de producción de las variedades híbridas. Esto es, los productores de trigo con mayor frecuencia poseían infraestructura para irrigación, terrenos más grandes, prácticas de mecanización o tendencia hacia ellas, mayor capital para inversión, acceso a mecanismos y mercados que facilitarían la comercialización de los productos.²⁹³

Por otra parte, el IIA buscaría desarrollar principalmente variedades sintéticas o variedades estabilizadas de maíz, por diversos motivos: a) porque el maíz era el cereal más consumido por la población mexicana y porque la cultura y subsistencia de muchos productores y consumidores dependía de la producción de este cereal; b) porque el maíz ya se sembraba en la mayor parte del país, incluso con frecuencia en condiciones geográficas y económicas adversas; c) porque tales variedades otorgan mejores rendimientos que aquellas autóctonas y además se pueden resembrar en el siguiente ciclo –a diferencia de las híbridas, cuyos rendimientos caen drásticamente con las generaciones subsecuentes– y ello permite que los productores no necesiten comprar semilla cada año.²⁹⁴

Aunque a la postre ambas instituciones se centraran en la producción de ciertos tipos de variedades, tal producción entraña algunas metodologías comunes. Para la creación de las diversas variedades, por ejemplo, siempre fue necesario contar con un banco de germoplasma (creado a partir de la recolección de semillas de variedades locales de diversas geografías y adaptadas a distintos ambientes), seleccionar, almacenar y clasificar estas fuentes, y posteriormente, experimentar con las mismas y continuar el proceso de selección.²⁹⁵ Notablemente, tanto la OCE/IIA como la OEE comenzaron por el desarrollo

del INIA, una vez que éste comprendía a la OEE y el IIA; Palacios de la Rosa, “Mejoramiento del maíz en México.”

²⁹³ Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 36-45; Harwood, “Peasant Friendly Breeding,” 384-410.

²⁹⁴ Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 462, 467, 469; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 104, 113, 116, 120; Matchett, “At Odds over Inbreeding,” 351-52, 360; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 47-49.

²⁹⁵ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 93, 103-4, 111-13, 117, 125; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 46-47; Curry, “Working collections,” 3-5.

de variedades sintéticas²⁹⁶ y variedades de polinización libre.²⁹⁷ A partir de éstas, el IIA se concentró en el desarrollo de variedades estabilizadas²⁹⁸ y la OEE en el desarrollo de variedades híbridas²⁹⁹ de cruce simple y de cruce doble.

²⁹⁶ Las variedades sintéticas son variedades que se desarrollaron en los Estados Unidos a partir de los experimentos con endocria (endogamia) durante el primer cuarto del siglo XX, y a partir de las cuales se desarrollaron las variedades híbridas, pilares de la modernización agrícola de los Estados Unidos en la primera mitad de dicho siglo. Estas variedades se forman a partir de la selección de individuos con rasgos deseables y su endocria por una o dos generaciones para purificar las múltiples líneas; posteriormente estas líneas se combinan por medio de polinización semi-libre y se obtienen variedades en poblaciones genéticamente equilibradas, con rasgos deseables y buen potencial productivo y reproductivo. Esto significa que cualquier combinación probable de genes tendría mayor rendimiento que las variedades criollas y que la semilla se mantiene fértil a través de las generaciones; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 462, 467, 469; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 104, 113, 116, 120; Matchett, "At Odds over Inbreeding," 347-52, 360, 362; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 47; Ocampo Ledesma et al., "Gilberto Palacios," 30.

²⁹⁷ Las variedades mejoradas de polinización libre forman parte de la categoría de variedades sintéticas. Son manipuladas científicamente para tener mayores rendimientos que las variedades originales, pero conservan características genotípicas y fenotípicas deseables a través de la reproducción y por lo tanto se pueden resembrar; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 94-95, 105; Matchett, "At Odds over Inbreeding," 362.

²⁹⁸ Las variedades estabilizadas se forman a partir de sembrar granos de variedades de polinización libre y de variedades autóctonas selectas, seleccionar los individuos con mejores características agronómicas y mayores rendimientos, y luego cruzar a dichos individuos. Debido a que desde el inicio se estructuran poblaciones diferenciadas, el producto de la selección y cruce es una población genéticamente equilibrada y con potencial reproductivo. Este proceso permite que las variedades tengan mayores rendimientos que las locales, que se puedan reproducir entre sí y que, por ende, se puedan resembrar al siguiente año sin pérdida de rendimientos y sin alterar el proceso tradicional de selección y siembra de semillas; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 94-95, 97, 104-6, 109, 111.

²⁹⁹ Las variedades híbridas son variedades que se forman por un proceso de endocria seguido de cruce(s). Se seleccionan las semillas con rasgos agronómicos deseables (resistencia a plagas, alta productividad, gran tamaño, tolerancia a ciertas condiciones climáticas, diversas adaptaciones, entre otras), éstas se siembran y cultivan en condiciones homogéneas (para que sean comparables) y se autofecundan las plantas para que se formen líneas puras (homogéneas). Después de varias generaciones autofecundadas, se cruzan las líneas puras para formar híbridos simples, o se cruzan estos híbridos para formar híbridos de cruce doble. La semilla híbrida tiene rendimientos muy superiores a los de la semilla original (debido al vigor híbrido) que decaen drásticamente si se resiembran (debido a que las líneas puras tienden hacia la homocigosis y al reproducirse tienden a expresarse los genes deletéreos). La adopción de estos híbridos implica la compra anual de semilla, la adaptación de la producción agrícola a sus requerimientos (empleo de agroquímicos, maquinaria e irrigación, además de estructuras mercantiles y de distribución muy precisas y eficientes), mano de obra especializada (extensión y formación), y, preferentemente, tierras aptas para tal producción (en clima, pendiente y suelos); Matchett, "At Odds over Inbreeding," 362; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 94, 97, 103-4, 109-110, 112-13 115-16, 118; Lazos Chavero, "De la agrobiodiversidad," 144.

Debido a la notable diferencia de recursos humanos, políticos, materiales y financieros de los que disponía la OEE, respecto a la OCE/IIA, sus variedades sintéticas e híbridas fueron distribuidas más ampliamente.³⁰⁰ En 1948 la OEE puso por primera vez a la venta las semillas híbridas de maíz producidas en México. La producción habría corrido a cargo de la Comisión del Maíz (CM) dirigida por Ricardo Acosta –un ingeniero agrónomo y agricultor que había reproducido variedades de la OCE y que en 1946 fundó su empresa reproductora y distribuidora de semillas de la OEE– y luego transformada por el gobierno federal en la Comisión del Maíz. Sin embargo, la venta de híbridos de maíz presentó varios problemas para los pequeños productores; entre ellos, que la semilla les resultaba demasiado costosa, que requerían de condiciones y prácticas precisas ajenas a su contexto, y que las semillas no estaban adaptadas a todas las condiciones ambientales donde se podrían sembrar. Como era de esperarse en estas circunstancias, las plantas no respondieron al inexistente paquete tecnológico para el que fueron diseñadas, no tuvieron los rendimientos deseados y los agricultores resembraron las semillas de la siguiente generación. Para tratar de paliar estos problemas, la OEE promovió los híbridos, sus ventajas y manejo de manera intensiva y focalizada, lo que resultó en un aumento de la productividad en ciertos contextos privilegiados (con terrenos y suelos aptos, con irrigación, con capital y grandes extensiones para cultivo: las zonas del Bajío y de la Laguna) y el abandono de los híbridos en otros contextos.³⁰¹

Asimismo, para 1948, la OEE ya había creado diversas variedades de trigo de alto rendimiento y, para inicios de la década de 1950, su empleo se extendió a la producción nacional en mayor escala. Sin embargo, el uso de los trigos híbridos y su extensión resultaron problemáticos por diversas razones. Por una parte, la distribución de las nuevas tecnologías agrícolas a los productores era poco equitativa, pues se les distribuía a aquellos productores con grandes extensiones de tierra y mayor potencial comercial, mismos que además eran

³⁰⁰ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 124, 127-28, 130-31, 137; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 53.

³⁰¹ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 109, 119-122, 132-33.

beneficiados por la estructura institucional y económica con créditos, incentivos y mejoras diversos. Por otra parte, cuando en 1954 el Banco Nacional de Crédito Ejidal comenzó a distribuir semillas mejoradas y sus insumos a ejidatarios, no sólo éstos no fueron consultados al respecto y se les impuso un crédito, sino que además no se les informó ni capacitó adecuadamente sobre el proceso de adopción de estas tecnologías. Por si fuera poco, la misma provisión de insumos era poco sistemática y el paquete tecnológico complementario (fertilizantes e insecticidas) presentaba irregularidades tanto en el abasto como en sus precios y en la calidad de los productos. El empleo inadecuado de los insumos agrícolas, el consecuente deterioro de las tierras y reducción de la productividad, la deuda adquirida por los agricultores y la prohibición a la auto-organización campesina, profundizaron el empobrecimiento del sector ejidal y la desigualdad respecto al sector privado.³⁰²

Con todo, de 1945 a 1961 el rendimiento del maíz aumentó en 56.6% –muy probablemente debido al uso de fertilizantes más que al uso de variedades mejoradas–, mientras que para 1956, México se había hecho autosuficiente en producción triguera y para 1957 el 90% de la superficie triguera en México estaba sembrada con variedades mejoradas. Sin embargo, los problemas en esta producción continuaban surgiendo: el chahuixtle, por ejemplo, nunca ha logrado eliminarse del todo y el monocultivo, el uso de fertilizantes y el cambio en el uso del agua, detonaron invasiones de “malas hierbas”³⁰³, plagas y enfermedades. Otro problema importante de los trigos de alto rendimiento, reconocido desde 1948, era que si se les suministraban grandes dosis de fertilizante y agua –como era necesario hacer para aumentar la producción– tendían a crecer tanto (y a pesar tanto, más aún con agua) que sus tallos no soportaban el peso y tendían a encamarse (también conocido como acame, es decir perder

³⁰² Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 42-43; Hewitt de Alcántara, “The ‘Green Revolution’,” 32-40; Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 469-73.

³⁰³ Vieyra-Odilon y Vibrans, y De Jesús Contreras et al. documentan que muchas de las consideradas “malas hierbas” en este tipo de producciones son quelites, vegetación nativa que se intercala con el cultivo y que posee alto valor nutricional y biocultural, pero cuya producción y aprovechamiento en general es contraria a la producción capitalista y por ende se tiende a exterminarla en ésta; Vieyra-Odilon, y Vibrans, “Weeds as Crops,” 426-43; De Jesús Contreras et al., “La búsqueda de la denominación de origen,” 183-216.

su verticalidad), lo que ocasionaba un desarrollarlo inadecuado de las plantas, que éstas fueran más propensas a enfermedades y pudrición y que disminuyeran sus rendimientos.³⁰⁴



Figura 13. Campo experimental de la OEE en Santa Mónica, Texcoco, México, 1957.
Fotografía de N. MacLellan, CIMMYT Publications Repository,
<http://hdl.handle.net/10883/18817>, con licencia CC BY-NC-ND 4.0.

Dado que las nuevas variedades debían no sólo de preservar rasgos agronómicos deseables (como resistencia a plagas, tolerancia a ciertas condiciones climáticas, mayor rendimiento o mejor apariencia de los productos), sino además tener la capacidad de responder de la manera deseada a los insumos y prácticas de la nueva estructura productiva, resultaba imperativo resolver el acame de los híbridos de trigo. Con esta finalidad, de 1953 a 1961-1962 se desarrollaron variedades de trigo semi-enano, cuyos tallos cortos evitarían que se encamaran. Estos trigos enanos fueron posteriormente exportados a otros países para servir de base para la Revolución Verde.³⁰⁵

³⁰⁴ Athwal, "Semidwarf Rice," 1-3; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 42-45, 49; Fitzgerald, "Exporting American Agriculture," 469; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 122; Hewitt de Alcántara, "The 'Green Revolution'," 40-41; Borlaug, "Wheat Breeding," 10-11.

³⁰⁵ Athwal, "Semidwarf Rice," 1-34; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 45.



Figura 14. Norman Borlaug en un campo experimental demostrando la variedad de trigo Sonora-64, una de las variedades semi-enanas clave en la RV, a un grupo de entrenandos internacionales, en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO) cerca de Ciudad Obregón, Sonora, México (1962).
Fotografía obtenida de: N. MacLellan, 1962, CIMMYT Publications Repository, <http://hdl.handle.net/10883/4319>, con licencia CC BY-NC-ND 4.0.

En 1960, por iniciativa del entonces Secretario de Agricultura y Ganadería y bajo el argumento de evitar duplicar esfuerzos de investigación, se integró a la OEE y el IIA en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).³⁰⁶ Desde el comienzo del PAM, la conjunción en éste de investigación y formación estaba orientada, entre otras cosas, a que eventualmente investigadores mexicanos asumieran la dirección, administración y ejecución del programa, por lo que casi dos décadas después la formación del INIA sería un espacio propicio para estos fines. Efectivamente, en el INIA los investigadores de la FR asumieron las funciones de consejeros técnicos dirigiendo la investigación; los mexicanos de la OEE adoptaron puestos de jefes de programas, así como roles directivos y operativos; y los

³⁰⁶ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 129; Barahona, y Gaona, "Introduction of Plant Genetics," 159; Barahona, "Genética en México," 433.

investigadores y personal del IIA resultaron o expulsados del INIA o desprovistos de puestos de dirección.³⁰⁷

Convenientemente, al mismo tiempo, la FR desarrollaba su interés en la exportación de las tecnologías agrícolas y la estrategia aplicada a México.³⁰⁸ A partir de la experiencia y del germoplasma recolectado en México, Estados Unidos y otros países –como Colombia, Chile, y Venezuela– se desarrollaron nuevos programas internacionales. Uno de ellos fue el Programa Interamericano de Mejoramiento de Maíz, que comenzó en América Central (Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras y El Salvador) en 1954³⁰⁹ y se extendió a toda América Latina. Otro de ellos fue el establecimiento en 1962 del International Rice Research Institute (IRRI) en Filipinas, lo que abrió las puertas a la incursión de la FR en Asia. Cabe destacar que muchos de los científicos agrícolas latinoamericanos que fueron formados en los centros mexicanos del PAM, becados por la FR, regresaron a sus países de origen y participaron en estos nuevos programas. Asimismo, a partir de la década de 1960, muchos científicos que trabajaron en el PAM se unieron a otros programas en diferentes países, entre los que destacan el IRRI y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).³¹⁰

³⁰⁷ Roberts, “Rockefeller Foundation Program,” 297-300; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 130, 137-38; Harrar, *Mexican Agricultural Program*, 14-15, 35-36.

³⁰⁸ Barahona, Pinar, y Ayala, “Introduction and Institutionalization,” 281.

³⁰⁹ Bajo la forma del Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Maíz, hoy Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios y Producción Animal; Fuentes, Salas, y Salazar, “Origen e Historia,” 93-96; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 138; Byerlee, *Birth of CIMMYT*, 13-14.

³¹⁰ Roberts, “Rockefeller Foundation Program,” 298, 300; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 997; Anderson, “Origins,” 61-89.



Figuras 15a y 15b. Envío en 1966 de semillas de trigo de México hacia India. Se aprecian costales de la variedad enana Lerma Rojo. Obtenidas de: N. MacLellan, 1966, CIMMYT Publications Repository, <http://hdl.handle.net/10883/18273>, con licencia CC BY-NC-ND 4.0.



El IRRI surgió a raíz de que, en 1950, el gobierno de Filipinas invitó a la FR a participar en la mejoría de la agricultura filipina. Aunque para entonces la FR ya había considerado el intervenir en la agricultura asiática y a pesar de que la iniciativa filipina fue descartada hasta 1958, tal propuesta incentivó a la FR a explorar de manera seria su potencial de intervención en Asia. La participación en la agricultura asiática resultaría conveniente a la FR –siempre velando por los intereses estadounidenses– porque sería una forma de manejar el

subdesarrollo a su favor: reducir el hambre ayudaría a limitar el alcance del comunismo y las relaciones internacionales con Asia se suavizarían y brindarían un ejemplo de colaboración con la FR, lo que constituiría una intervención pacífica anti-comunista a un menor costo que el de una intervención militar. A partir de entonces y durante toda la década de 1950, la FR se dedicó a estudiar el cultivo de arroz en Asia; a evaluar a diversos países asiáticos (India, Japón, Tailandia, Myanmar, Filipinas), sus “necesidades” y “carencias”, y su potencial como receptores de su filantropía. También se centró en evaluar las características del arroz como cereal con un potencial productivo no aprovechado aún y poco investigado, la pertinencia de uno o varios centros regionales de desarrollo agrícola (en particular sobre la producción de arroz) y a delinear el programa de investigación/mejoramiento del arroz y su cultivo, considerando las experiencias de la FR en los EUA y otros países.³¹¹

En 1958, en conversaciones entre representantes de la FR (J. G. Harrar y Robert F. Chandler, posteriormente director del IRRI y antes edafólogo en el PAM) y la Fundación Ford (FF), se decidió que se construiría un único centro internacional para investigación sobre el arroz en Los Baños, Filipinas. El año siguiente se firmó el acuerdo entre la FR, la FF y el gobierno de Filipinas, y el IRRI se inauguró en 1960. La FF se encargaría de proveer la inversión para la construcción y equipamiento inicial, y la FR se encargaría de los costos de operación, así como de dirigir y operar el Instituto.³¹²

El IRRI fue heredero directo del PAM y de otros programas de la FR (en Colombia, Chile e India), e incluso algunos investigadores y administrativos que estuvieron en el PAM después trabajaron en el IRRI. De manera similar al PAM, sus objetivos serían, principalmente: a) el desarrollo de la investigación básica sobre el arroz para su mejor aprovechamiento y mayor producción, para beneficio de toda la población asiática y de los principales productores de arroz; b) la diseminación de tal investigación; c) la formación de especialistas

³¹¹ Anderson, “Origins,” 61-89; Weaver y Harrar, “Research on Rice”; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 998-99.

³¹² Anderson, “Origins,” 80-81, 87-88; Harrar, “International Rice,” 25-26; Chandler, *An Adventure in Applied Science*, 4-7.

internacionales, algunos de los cuales luego podrían aplicar lo aprendido en sus países de origen; y d) la diseminación de prácticas científicas en torno a la producción de arroz (el uso de variedades mejoradas y agroquímicos, el cambio de prácticas agrícolas y su estandarización).³¹³

El IRRI se fundó sobre la base de los programas de la FR en otros países y, notablemente del PAM, pero también el IRRI fungió de ejemplo para otros centros de investigación internacionales. Por ejemplo, luego de que terminó el PAM, en 1965, algunos científicos de dicho programa (como E. J. Wellhausen, N. E. Borlaug y J. S. Niederhauser, especialistas en maíz, trigo y papa, respectivamente) se quedaron en México a trabajar en estaciones experimentales. Por iniciativa del presidente de México Adolfo López Mateos, quien en 1962 visitó el IRRI, el gobierno de México y la FR (a través de Harrar, entonces presidente de la FR) firmaron la creación de un centro de investigación agrícola en México (CIMMYT) en 1963 que operó de manera muy limitada durante unos años. Para este fin, se aprovechó el personal de la FR que quedaba en México. En 1966, mediante un acuerdo entre el gobierno de México y la FR, se reconstituyó el CIMMYT para que fuera una entidad privada que funcionara como una organización internacional, En esta reconstitución jugó un papel crucial la FF, pues su apoyo –comprometido desde 1965 con la FR, y que se materializó en financiamiento en 1967– permitiría que el CIMMYT adquiriera envergadura internacional, como el IRRI. El CIMMYT quedó bajo la dirección de Edwin Wellhausen.³¹⁴

El CIMMYT se creó en México, no sólo por las alianzas existentes y el historial de cooperación entre el gobierno mexicano y la FR, sino también porque se consideraba que las condiciones climático-geográficas de México eran ideales para fundar un centro internacional de investigación sobre el maíz. Entre otros motivos, México contaba con

³¹³ Harrar, "International Rice," 25, 26; Roberts, "Rockefeller Foundation Program," 300; Anderson, "Origins," 83-85, 88. Para una detallada historia del IRRI, ver Chandler, *An Adventure in Applied Science*.

³¹⁴ Chandler, *An Adventure in Applied Science*, 155-56; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 138, 148; CIMMYT, *México*, 2.

“muchos “fitotrones” naturales donde el material experimental podría ser estudiado en su hábitat natural”.³¹⁵ Con la creación del CIMMYT y la captación de los especialistas extranjeros, los investigadores mexicanos se apropiaron del INIA y se centraron en el desarrollo de maíz de sequía, bajo la dirección del discípulo de Taboada, Gilberto Palacios de la Rosa.³¹⁶

Después del IRRI y del CIMMYT, se crearon otros centros internacionales de investigación agrícola con los mismos fines de realizar investigación básica, impulsar la producción agrícola, ser centros de formación y diseminar conocimientos, nuevas prácticas e insumos agrícolas. En 1967 se creó en Colombia el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) como un centro regional para Sudamérica, financiado por la FR, a la cual se le sumaron la FF en 1969 y, en 1970, la United States Agency for International Development (USAID) y la Fundación Kellog. En 1967, se creó además el International Institute of Tropical Agriculture (IITA) en Nigeria, financiado por la USAID, la FF, la FR y el gobierno de Canadá. Hasta los años ochenta se habían creado otros nueve centros de investigación (para sumar un total de trece) orientados a mejorar la tecnología alimentaria y la productividad agrícola. Estos centros serían financiados por un consorcio de patrocinadores –invitados por la FR y la FF a contribuir para su creación y mantenimiento–, denominado el Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), formado por: la Fundación Rockefeller, la Fundación Ford, el Banco Mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Africano de Desarrollo (AfDB), el Banco Asiático de Desarrollo (ADB), la Fundación Kellog, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), entre otros.³¹⁷

³¹⁵ The Rockefeller Foundation, *Annual Report, 1960*, 61-62.

³¹⁶ Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 148-49; Ocampo Ledesma et al., “Gilberto Palacios,” 28-29.

³¹⁷ El CGIAR se formó a raíz del exorbitante presupuesto que las fundaciones Ford y Rockefeller habían destinado a la creación de los cuatro centros internacionales de investigación agrícola para 1969, por lo que éstas invitaron a otras entidades a contribuir a la causa. Chandler, *An Adventure in Applied Science*, 156-65;

El hecho de que el PAM –y luego el IRRI, el CIMMYT y los demás centros y programas de investigación– tuviera, entre otros, fines propagandísticos, significó que, durante las décadas de los cincuenta y sesenta, los esfuerzos se centraron en demostrar la efectividad de los programas de la FR. De este modo, se impulsó a los sectores con mayores posibilidades de generar “mejores” resultados a un menor costo y en un menor tiempo y que, por ende, tendrían mayor visibilidad. Ya he mencionado que tales sectores beneficiados fueron aquellos con mayor capital, territorios más grandes y fértiles, instalaciones de riego, entre otros, cualidades que coincidieron principalmente con la producción de trigo. De esta manera, mientras se beneficiaba a la minoría de productores, la pequeña producción maicera de subsistencia –y la estructura social asociada a ella– era ignorada e, incluso, perjudicada. El programa de asistencia, supuestamente destinado a combatir el hambre en México, por ejemplo, logró aumentar la producción nacional de trigo (hasta lograr la autosuficiencia en la producción de este grano en 1956) y de maíz (en menor medida) porque los grandes productores tuvieron más rendimientos; pero la agricultura de subsistencia, los sectores más pobres, no pudieron adoptar las nuevas prácticas agronómicas y la estructura productiva se inclinó progresivamente en su contra.³¹⁸

Ya desde 1949 algunos integrantes de alto rango y consultores de la FR preveían que los cambios tecnológicos y en la estructura productiva generados por el PAM podrían tener consecuencias graves para la sociedad mexicana, tales como disparidades económicas y tensiones sociales. Dichas previsiones instaban a la FR a detener el PAM antes de que estos cambios repercutieran sobre la imagen de la FR y la de sus otros programas pendientes. Es posible que a esta preocupación se debiera, al menos en parte que, en 1960, la FR adoptara

Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 983-84, 998; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 56; “Research Institutes.”

³¹⁸ Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 876, 976, 998-99; Fujigaki Cruz, *Historia Económica*, 122-27; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 122-23; Hewitt de Alcántara, *La modernización*, 35-37; 43-44, 49-51, 56-98, 283-301; Barahona, y Gaona, “Introduction of Plant Genetics,” 159-160; Lazos Chavero, “De la agrobiodiversidad,” 142-48. Oasa y Jennings también mencionan que ya para la década de 1980 había esfuerzos por parte de la investigación agrícola internacional por expandir su alcance a los sectores menos beneficiados, e incluso perjudicados, por la estrategia de las décadas previas; Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 977.

un rol distinto en el mejoramiento agrícola mexicano. El enfoque en la producción cambió con la formación del INIA y del CIMMYT, cuando los investigadores del INIA se concentraron en mejorar la producción de maíz de temporal y de maíz tolerante a la sequía, que eran las formas de cultivo predominantes en el país.³¹⁹

El caso del PAM es un ejemplo de lo que implicó la Revolución Verde para los diversos países a donde se exportó. No sólo se trató de un modelo (con los mismos rasgos generalizadores de los modelos) diseñado sobre ciertas circunstancias para ser aplicado en otras, sino que además requería de los expertos, el conocimiento, los sistemas tecnológicos, los recursos, las asunciones y expectativas de *los otros* para ser puesto en marcha.³²⁰ Si funcionó, desde qué perspectiva y para quién, es objeto de debate.³²¹ Lo que es claro es que los argumentos (y realidades) del crecimiento demográfico, la escasez de recursos, el desarrollo, la modernidad y el hambre han sido movilizados importantes de la ciencia y la tecnología, favoreciendo que ciertos modos-de-hacer se difundan, se impongan y/o se enseñen.

Deborah Fitzgerald dice que “[...] el programa de la FR tuvo éxito en tanto los campesinos [mexicanos] y los profesionales agrícolas mexicanos compartieron con sus contrapartes estadounidenses las mismas asunciones y expectativas del progreso agrícola, y falló cuando tal grupo paralelo no existió.”³²² Este enunciado pone de relieve lo importante que es para la diseminación de un modo-de-hacer el “enseñar” a creer en lo mismo, además de enseñar a hacer lo mismo, y ello explica por qué la FR desde el comienzo del PAM acudió a estrategias demostrativas para interesar a los productores en sus prácticas novedosas, así como a discursos polarizadores de esperanza-pérdida, desarrollo-pobreza/hambre.

³¹⁹ Oasa, y Jennings, “Investigación social en agricultura,” 992-97; Arellano Hernández, *Objetos Técnicos Agrícolas*, 129, 138; Harwood, “Whatever happened,” 1245-46.

³²⁰ Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 459.

³²¹ Sobre algunas consecuencias sociales y ambientales, favorables y desfavorables, del PAM y de la Revolución Verde, muy debatidas y que no son objeto de esta investigación, ver Evenson, y Gollin, “Assesing the Impact,” 758-62; Lazos Chavero, “De la agrobiodiversidad,” 137-64; Hewitt de Alcántara, *La modernización*; Shiva, *The Violence*; Lipton y Longhurst, *New seeds*; Harwood, “Whatever happened,” 1243-52; Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 457-83; Cycon, “Fertile Lands and Bodies”; Curry, “Working collections,” 1-20.

³²² Fitzgerald, “Exporting American Agriculture,” 459.

Tales discursos también han sido movilizados de otras innovaciones científico-tecnológicas, como los ambientes controlados. En el capítulo D profundizo sobre la relación entre éstos y aquéllos, en el contexto de la Guerra Fría, del neomaltusianismo y de la Revolución Verde.

REFERENCIAS

- [Staff]. "Fourty Years of Biology Research." *Oak Ridge National Laboratory Review* 22, no. 2&3 (1989): 6-11.
- Aarkrog, Asker, y Gennady G. Polikarpov. "Development of Radioecology in East and West." En *Radioecology and the Restoration of Radioactive-Contaminated Sites*, editado por Felix F. Luykx y Martin J. Frissel, 17-29. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Anderson, Robert S. "The Origins of the International Rice Research Institute." *Minerva* 29, no. 1 (mar. 1991): 61-89.
- Ankeny, Rachel, y Leonelli, Sabina. "What's so special about model organisms?" *Studies in History and Philosophy of Science* 42, no. 2 (2011): 313-323.
- Anker, Peder. "The closed world of ecological architecture." *Journal of Architecture* 10, no. 5 (2005): 527-552.
- Appel, Toby A. *Shaping Biology: The National Science Foundation and American Biological Research, 1945-1975*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2000.
- Arellano Hernández, Antonio. *La Producción Social de los Objetos Técnicos Agrícolas: Antropología de la Hibridación del Maíz y de los Agricultores de los Valles Altos de México*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, 1999.
- Athwal, D. S. "Semidwarf Rice and Wheat in Global Food Needs." *The Quarterly Review of Biology* 46, no. 1 (mar. 1971): 1-34.
- Auerbach, S. I., J. S. Olson, y H. D. Waller. "Landscape Investigations Using Caesium-137." *Nature* 201, no. 4921 (feb. 1964): 761-764.
- Auerbach, Stanley I. "The Ecology around a Reactor." *Oak Ridge National Laboratory Review* 3, no. 5 (otoño 1970): 23-28.

- _____. "Evolution of ORNL's Environmental Sciences." *Oak Ridge National Laboratory Review* 22, no. 2&3 (1989): 62-71.
- _____. *A History of the Environmental Sciences Division of Oak Ridge National Laboratory*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 1993.
- Barahona Echeverría, Ana, y Ana Lilia Gaona Robles. "The History of Science and the Introduction of Plant Genetics in Mexico." *History and Philosophy of the Life Sciences* 23, no. 1 (2001): 151-162.
- Barahona, Ana, Susana Pinar, y Francisco J. Ayala. *La genética en México: Institucionalización de una disciplina*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2003.
- _____. "Introduction and Institutionalization of Genetics in Mexico." *Journal of the History of Biology* 38, no. 2 (verano 2005): 273-299.
- Barahona, Ana. "Genética en México y sus instituciones en la primera mitad del siglo XX." *Contrastes. Revista Internacional de Filosofía* 18 (suplemento XVIII 2013): 423-438.
- Beatty, John. "Scientific Collaboration, Internationalism, and Diplomacy: The Case of the Atomic Bomb Casualty Commission." *Journal of the History of Biology* 26, no. 2 (verano 1993): 205-231.
- Bedford, Joel S., y William C. Dewey. "Historical and Current Highlights in Radiation Biology: Has Anything Important Been Learned by Irradiating Cells?" *Radiation Research* 158, no. 3 (sep. 2002): 251-291.
- Birn, Anne-Emanuelle. "Wa(i)ves of Influence: Rockefeller Public Health in Mexico, 1920-50." *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 31, no. 3 (2000): 381-395.
- Bocking, Stephen. "Ecosystems, Ecologists and the Atom: Environmental Research at Oak Ridge National Laboratory." *Journal of the History of Biology* 28, no. 1 (primavera 1995): 1-47.

- Borlaug, Norman E. "Wheat Breeding and its Impact on World Food Supply." En *Proceedings of the Third International Wheat Genetics Symposium, Canberra 1968*, editado por K. W. Finlay y K. W. Shepherd. Canberra: Australian Academy of Science, 1968.
- _____. "Preface." En *Wheat Breeding at CIMMYT: Commemorating 50 years of Research in Mexico for Global Wheat Improvement. Wheat Special Report No. 29*, editado por S. Rajaram y G. P. Hettel, iv-vi. México, D. F.: CIMMYT, 1995.
- Boudia, Soraya. "The Curie laboratory: Radioactivity and metrology." *History and Technology* 13, no. 4 (1997): 249-265.
- Byerlee, Derek. *The birth of CIMMYT: Pioneering the idea and ideals of international agricultural research*. Ciudad de México: CIMMYT, 2016.
<https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/17705/57994.pdf>.
- Calvin, Melvin. *The Path of Carbon in Photosynthesis*. Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1964. Disponible en <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1961/calvin/lecture/>.
- Campos, Luis A. *Radium and the Secret of Life*. Chicago: The University of Chicago Press, 2015.
- Carson, Rachel. *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin, 1962/2002.
- Chadarevian, Soraya de. "Mice and the Reactor: The "Genetics Experiment" in 1950s Britain." *Journal of the History of Biology* 39, no. 4 (invierno 2006): 707-735.
- Chandler, Robert F., Jr. *An Adventure in Applied Science: A History of the International Rice Research Institute*. Manila: International Rice Research Institute, 1992.
- Cházaro, Laura, Miruna Achim, y Nuria Valverde, eds. *Piedra, papel y tijera: Instrumentos en las ciencias en México*. Ciudad de México: UAM, Unidad Cuajimalpa, 2018.

- CIMMYT. *México y el CIMMYT*. El Batán: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1984. <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/3552>.
- Collins Dictionary. "Servomechanism." Último acceso el 9 de febrero de 2021. <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/servomechanism>.
- Collins, James P., John Beatty, y Jane Maienschein. "Introduction: Between Ecology and Evolutionary Biology." *Journal of the History of Biology* 19, no. 2 (verano 1986): 169-180.
- Conway, Erik M. "Bringing NASA Back to Earth: A Search for Relevance during the Cold War." En *Science and Technology in the Global Cold War*, editado por Naomi Oreskes y John Krige, 251-272. Cambridge: MIT Press, 2014.
- Cooke, Dennis. "Ecology of Space Travel." En *Fundamentals of Ecology* 3ª ed., por Eugene P. Odum, 498-509. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1971.
- Creager, Angela N.H. "The Industrialization of Radioisotopes by the U.S. Atomic Energy Commission." En *The Science-Industry Nexus: History, Policy, Implications*, editado por Karl Garndin, Nina Wormbs, y Sven Widmalm, 143-167. Sagamore Beach: Science History Publications, 2004.
- _____. "Nuclear Energy in the Service of Biomedicine: The U.S. Atomic Energy Commission's Radioisotope Program, 1946-1950." *Journal of the History of Biology* 39, no. 4 (invierno 2006): 649-684.
- _____. "Phosphorus-32 in the Phage Group: radioisotopes as historical tracers of molecular biology." *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 40, no. 1 (mar. 2009): 29-42.
- _____. "Radioisotopes as political instruments, 1946-1953." *Dynamis* 29 (2009): 219-239.
- _____. *Life Atomic: A History of Radioisotopes in Science and Medicine*. Chicago: The University of Chicago Press, 2013.

- _____. "Timescapes of Radioactive Tracers in Biochemistry and Ecology." *History and Philosophy of the Life Sciences* 35, no. 1 (2013): 83-89.
- Creager, Angela N. H., y María Jesús Santesmases. "Radiobiology in the Atomic Age: Changing Research Practices and Policies in Comparative Perspective." *Journal of the History of Biology* 39, no. 4 (invierno 2006): 637-647.
- Cueto, Marcos. "The cycles of eradication: the Rockefeller Foundation and Latin American public health, 1918-1940." En *International health organisations and movements, 1918-1939*, editado por Paul Weindling, 222-243. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- Cullather, Nick. "Development? It's History." *Diplomatic History* 24, no. 4 (otoño 2000): 641-653.
- _____. "Miracles of Modernization: The Green Revolution and the Apotheosis of Technology." *Diplomatic History* 28, no. 2 (abr. 2004): 227-254.
- Curry, Helen Anne. "Speeding Up Evolution: X-Rays, and Plant Breeding in the United States, 1925-1935." En *New Perspectives on the History of Life Sciences and Agriculture*, editado por Denise Phillips y Sharon Kingsland, 459-478. New York: Springer, 2015.
- _____. "Atoms in Agriculture: A Study of Scientific Innovation Between Technological Systems." *Historical Studies in the Natural Sciences* 46, no. 2 (abr. 2016): 119-153.
- _____. *Evolution Made to Order: Plant Breeding and Technological Innovation in Twentieth-Century America*. Chicago: The University of Chicago Press, 2016.
- _____. "From working collections to the World Germplasm Project: agricultural modernization and genetic conservation at the Rockefeller Foundation." *History and Philosophy of the Life Sciences* 39, no. 5 (2017): 1-20.

- Cycon, Sarah M. K. "Fertile Lands and Bodies: Connecting the Green Revolution, Pesticides, and Women's Reproductive Health." *Pitzer Senior Theses*, paper 38, 2013. http://scholarship.claremont.edu/pitzer_theses/38.
- Dannen, Gene. "Harry S. Truman, Diary, July 25, 1945." Modificado por última vez el 21 de julio de 2015. <http://www.dannen.com/decision/hst-jl25.html>.
- De Jesús Contreras, Daniel, Irma Luz Ramírez de La O, Felipe Carlos Viesca González, y Humberto Thomé Ortiz. "La búsqueda de la denominación de origen (DO) del amaranto de Santiago Tulyehualco, Xochimilco, D.F." En *Calificación, Valorización y Turismo: Aproximaciones al patrimonio agroalimentario*, coordinado por Humberto Thomé-Ortiz y Ángel Roberto Martínez Campos, 183-216. Ciudad de México: Colofón, 2017.
- Diccionario de la Lengua Española. "Servomecanismo." Real Academia Española. Último acceso el 9 de febrero de 2021. <https://dle.rae.es/servomecanismo>.
- Downs, Robert Jack, y Henry Hellmers. *Environment and the Experimental Control of Plant Growth*. London: Academic Press Inc., 1975.
- Downs, Robert J. "Phytotrons." *The Botanical Review* 46, no. 4 (oct.-dic. 1980): 447-489.
- Drell, Daniel. *Chronology of Events in Division of Biology and Medicine Programs*. U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, 1964. <https://www.osti.gov/biblio/1095502-chronology-events-division-medicine-programs>.
- Durand, Leticia. *Naturalezas Desiguales: Discursos sobre la conservación de la biodiversidad en México*. Cuernavaca: UNAM/CRIM, 2017.
- Egerton, Frank N. "History of Ecological Sciences, part 47: Ernst Haeckel's Ecology." *The Bulletin of the Ecological Society of America* 94, no. 3 (julio 2013): 222-244.
- Encyclopaedia Britannica. "Fallout." Último acceso el 31 de mayo de 2021. <https://www.britannica.com/science/fallout-nuclear-physics>.

- _____. "Servomechanism." Último acceso el 9 de febrero de 2021. <https://www.britannica.com/technology/servomechanism>.
- Evans, Lloyd T. "The role of phytotrons in agricultural research." En *Climate and Rice*, editado por International Rice Research Institute, 11-27. Los Baños: International Rice Research Institute, 1976.
- _____. "Conjectures, Refutations, and Extrapolations." *Annual Review of Plant Biology* 54 (2003): 1-21.
- Evenson, R. E., y D. Gollin. "Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000." *Science* 300, no. 5620 (mayo 2003): 758-762.
- Fitzgerald, Deborah. "Exporting American Agriculture: The Rockefeller Foundation in Mexico, 1943-53." *Social Studies of Science* 16, no. 3 (ago. 1986): 457-483.
- Forman, Paul. "Behind Quantum Electronics: National Security as Basis for Physical Research in the United States, 1940-1960." En *Science and Society: The History of Modern Physical Science in the Twentieth Century, vol. 3 Physical Science and the Language of War*, editado por Peter Galison, Michael Gordin, y David Kaiser. New York: Routledge, 2001.
- Frankel, O. H. "The IRRI phytotron: science in the service of human welfare." En *Climate and Rice*, editado por International Rice Research Institute, 3-9. Los Baños: International Rice Research Institute, 1976.
- Fuentes, Alejandro, Carlos Salas, y Ángel Salazar. "Origen e Historia del Programa Cooperativo Centroamericano y del Caribe para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios y Producción Animal." *Agronomía Mesoamericana* 1 (1990): 93-96.
- Fujigaki Cruz, Esperanza. *Historia Económica de México, vol. 9: La agricultura, siglos XVI al XX*. Coordinado por Enrique Semo. D. F.: UNAM, Océano, 2004.

- Furukawa, Yasu. "Macromolecules: Their Structures and Functions." En *The Cambridge History of Science, vol. 5 The Modern Physical and Mathematical Sciences*, editado por Mary Jo Nye, 429-445. New York: Cambridge University Press, 2002.
- Gagnaire, J. *Absorption de Quelques Sels par l'Appareil Radiculaire de Différentes Espèces Ligneuses et Accumulation au Cours d'un Cycle Végétatif Complet, Rapport CEA no. 2317*. Laboratoire de Biologie Végétale, Centre d'Études Nucléaires de Grenoble, 1963.
- Galison, Peter. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago: The University of Chicago Press, 1997.
- Galston, Arthur W., y Thomas D. Sharkey. "Frits Warmolt Went." Biographical Memoirs, National Academy of Sciences. Último acceso el 19 de febrero de 2021. <https://archive.is/20010724034517/http://bob.nap.edu/readingroom/books/biomems/fwent.html>.
- Garforth, Lisa. "Environmental Futures, Now and Then: Crisis, Systems Modeling, and Speculative Fiction." *Osiris* 34, no. 1 (2019): 238-257.
- Gaud, William S. "Can the World Handle the Population Explosion?" [Discurso del 17 de abril de 1969]. En *William S. Gaud Articles and Speeches (1969-1973)* volume 01, folder ID 1651741. Washington, D. C.: World Bank Group Archives United States, 2012. <http://pubdocs.worldbank.org/en/20641399493354470/wbg-archives-1651741.pdf>.
- Gay, Hannah. *The Silwood Circle: A History of Ecology and the Making of Scientific Careers in Late Twentieth-Century Britain*. London: Imperial College Press, 2013.
- Gertych, Olga, y Vera Salnitskaya. "Inside a Russian experiment to make life possible on the Moon or Mars." *The Siberian Times*, mayo 3, 2016. <https://siberiantimes.com/science/casestudy/features/f227-inside-an-intriguing-russian-experiment-to-make-life-possible-on-the-moon-or-mars/>.

- Godwin, H. "Arthur George Tansley. 1871-1955." *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 3 (nov. 1957): 227-246.
- Golley, Frank Benjamin. *A History of the Ecosystem Concept in Ecology: More Than the Sum of the Parts*. New Haven: Yale University Press, 1993.
- Goodland, R. J. "The Tropical Origin of Ecology: Eugen Warming's Jubilee." *Oikos* 26, no. 2 (1975): 240-245.
- Granjou, Céline, y Jeremy Walker. "Promises that Matter: Reconfiguring Ecology in the Ecotrons." *Science and Technology Studies* 29, no. 3 (sep. 2016): 49-67.
- Hacking, Ian. *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- Hagen, Joel B. "Research perspectives and the anomalous status of modern ecology." *Biology and Philosophy* 4, no. 4 (oct. 1989): 433-455.
- _____. *An Entangled Bank: The Origins of Ecosystem Ecology*. New Brunswick: Rutgers University Press, 1992.
- _____. "Clementsian Ecologists: The Internal Dynamics of a Research School." *Osiris* 8, no. 1 (1993): 178-195.
- Hamblin, Jacob Darwin. "Hallowed Lords of the Sea: Scientific Authority and Radioactive Waste in the United States, Britain, and France." *Osiris* 21, no. 1 (2006): 209-228.
- _____. "'A Dispassionate and Objective Effort': Negotiating the First Study on the Biological Effects of Atomic Radiation." *Journal of the History of Biology* 40, no. 1 (2007): 147-177.
- _____. "Let there be light... and bread: the United Nations, the developing world, and atomic energy's Green Revolution." *History and Technology* 25, no. 1 (mar. 2009): 25-48.

- _____. "Quickening nature's pulse: atomic agriculture at the International Atomic Energy Agency." *Dynamis* 35, no. 2 (2015): 389-408.
- Hamilton, Joseph G. "The Use of Radioactive Tracers in Biology and Medicine." *Radiology* 39, no. 5 (nov. 1942): 541-572.
- Harrar, J. G. *Mexican Agricultural Program: A Review of the First Six Years of Activity under the Joint Auspiced of the Mexican Government and the Rockefeller Foundation*. New York: The Rockefeller Foundation, 1950.
- _____. "International Rice Research Institute." *AIBS Bulletin* 10, no. 6 (dic. 1960): 25-26.
- Harwood, Jonathan. "Peasant Friendly Plant Breeding and the Early Years of the Green Revolution in Mexico." *Agricultural History* 83, no. 3 (verano 2009): 384-410.
- _____. "Whatever happened to the Mexican Green Revolution?" *Agroecology and Sustainable Food Systems* 44, no. 9 (2020): 1243-1252.
- Heilbron, J. L., y Robert W. Seidel. *Lawrence and His Laboratory: A History of the Lawrence Berkeley Laboratory, vol. 1*. California: University of California Press, 1989.
- Hendricks, S. B., y F. W. Went. "Controlled-Climate Facilities for Biologists." *Science* 128, no. 3323 (sep. 1958): 510-512.
- Hewitt de Alcántara, Cynthia. "The 'Green Revolution' as history: the Mexican experience." *Development and Change* 5, no. 2 (mayo 1974): 25-44.
- _____. *La modernización de la agricultura mexicana 1940-1970*. D. F.: Siglo XXI Editores, 1978.
- Höhler, Sabine. "The environment as a life support system: the case of Biosphere 2." *History and Technology* 26, no. 1 (2010): 39-58.
- _____. *Spaceship Earth in the Environmental Age, 1960-1990*. New York: Routledge, 2016.
- Homei, Aya. "The contentious death of Mr Kuboyama: science as politics in the 1954 Lucky Dragon incident." *Japan Forum* 25, no. 2 (2013): 212-232.

- Hughes, Jeff. "Radioactivity and Nuclear Physics." En *The Cambridge History of Science*, vol. 5: *The Modern Physical and Mathematical Sciences*, editado por Mary Jo Nye, 350-374. New York: Cambridge University Press, 2002.
- Hughet, F., M. Delas, M. Delmas, Mme. Demias, M. Benard, M. Flanzzy, M. Fioramonti et al. *Compte Rendu d'Expériences de Plusieurs Années Sur l'Absorption du Strontium et du Césium Radioactifs par des Plantes Cultivées, Rapport CEA no. 2159*. INRA/DPS, 1962.
- Hutchinson, G. Evelyn. "Chemical Stratification and Lake Morphology." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 24, no. 2 (feb. 1938): 63-69.
- _____. "Bio-Ecology." Reseña de *Bio-Ecology*, de F. E. Clements y V. E. Shelford. *Ecology* 21, no. 2 (abr. 1940): 267-268.
- _____. "Limnological Studies in Connecticut: IV. The Mechanisms of Intermediary Metabolism in Stratified Lakes." *Ecological Monographs* 11, no. 1 (ene. 1941): 21-60.
- Hutchinson, G. Evelyn, y Vaughan T. Bowen. "A direct demonstration of the Phosphorus cycle in a small lake." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 33, no. 5 (mayo 1947): 148-153.
- Hutchinson, G. Evelyn, y Vaughan T. Bowen. "Limnological Studies in Connecticut: IX. A Quantitative Radiochemical Study of the Phosphorus Cycle in Linsley Pond." *Ecology* 31, no. 2 (abr. 1950): 194-203.
- IAEA. *Radiation and Radioisotopes Applied to Insects of Agricultural Importance*. Vienna: IAEA, 1963.
- _____. "Inducción de mutaciones." IAEA. Último acceso el 21 de febrero de 2021. <https://www.iaea.org/es/temas/inducccion-de-mutaciones>.

- _____. "Radiation and the Green Revolution." *International Atomic Energy Agency Bulletin* 11, no. 5 (oct. 1969): 16-27.
- Kautzleben, Heinz, y Axel Müller. "Vladimir Ivanovich Vernadsky (1863-1945) – From mineral to noosphere." *Journal of Geochemical Exploration* 147, parte A (2014): 4-10.
- Keller, Evelyn Fox. *Lenguaje y vida: Metáforas de la biología en el siglo XX*. Buenos Aires: Manantial, 2000.
- Kingsland, Sharon E. *The Evolution of American Ecology 1890-2000*. Baltimore: John Hopkins University Press, 2005.
- _____. "Frits Went's Atomic Age Greenhouse: The Changing Labscape on the Lab-Field Border." *Journal of the History of Biology* 42, no. 2 (verano 2009): 289-324.
- Kirsch, Scott. "Harold Knapp and the Geography of Normal Controversy: Radioiodine in the Historical Environment." *Osiris* 19, no. 1 (2004): 167-181.
- Kohler, Robert E. "Drosophila: A Life in the Laboratory." *Journal of the History of Biology* 26, no. 2 (verano 1993): 281-310.
- _____. *Landscapes and Labscapes: Exploring the Lab-Field Border in Biology*. Chicago: The University of Chicago Press, 2002.
- Koller, Dov. "Is there a basic common denominator in all Phytotron?" En *Phytotronique: Science, technique et recherches sur les rapports entre l'environnement et la biologie des végétaux*, editado por P. Chouard y N. de Bilderling, 4-6. París: Centre National de la Recherche Scientifique, 1969.
- Kramer, Paul Jackson, Henry Hellmers, y Robert Jack Downs. "SEPEL: New Phytotrons for Environmental Research." *BioScience* 20, no. 22 (nov. 1970): 1201-1208.
- Krige, John. "Atoms for Peace, Scientific Internationalism, and Scientific Intelligence." *Osiris* 21, no. 1 (2006): 161-181.

- Kwa, Chunglin. "Representations of Nature Mediating between Ecology and Science Policy: The Case of the International Biological Programme." *Social Studies of Science* 17, no. 3 (ago. 1987): 413-442.
- _____. "Radiation ecology, systems ecology and the management of the environment." En *Science and Nature: Essays in the history of the environmental sciences*, editado por Michael Shortland, 213-250. Oxford: Alden Press, 1993.
- Latour, Bruno. *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1999.
- Lawton, J. H., S. Naeem, R. M. Woodfin, V. K. Brown, A. Gange, H. J. C. Godfray, P. A. Heads et al. "The Ecotron: a controlled environmental facility for the investigation of population and ecosystem processes." *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 341, no. 1296 (jul. 1993): 181-194.
- Lawton, John H. "The Ecotron Facility at Silwood Park: The Value of "Big Bottle" Experiments." *Ecology* 77, no. 3 (abr. 1996): 665-669.
- Lazos Chavero, Elena. "De la agrobiodiversidad al control de las transnacionales: La soberanía alimentaria como demanda política en México." En *La naturaleza en contexto: Hacia una ecología política mexicana*, editado por Leticia Durand, Fernanda Figueroa y Mauricio Guzmán, 137-164. Ciudad de México: CEIICH-UNAM, CRIM-UNAM, El Colegio de San Luis, 2012.
- Lévai, László, y Szilvia Veres. *Applied Plant Physiology*. Debrecen: University of Debrecen, Service Sciences Methodology Centre, 2013.
- Lindee, M. Susan. "What Is a Mutation? Identifying Heritable Change in the Offspring of Survivors at Hiroshima and Nagasaki." *Journal of the History of Biology* 25, no. 2 (1992): 231-255.
- _____. *Rational Fog: Science and Technology in Modern War*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 2020.

- Lindeman, Raymond. "The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology." *Ecology* 23, no. 4 (oct. 1942): 399-417.
- Lindquist, A. W. *Insect Population Control by the Sterile-Male Technique*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1963.
- Lipton, Michael, y Richard Longhurst. *New seeds and poor people*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1989.
- Logsdon, John M. "Space exploration." *Encyclopaedia Britannica*. Último acceso el 01 de junio de 2021. <https://www.britannica.com/science/space-exploration>.
- Mangelsdorf, Paul C. "Applied Genetics and the World Food Problem." *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences* 4, no. 4 (ene. 1951): 2-4.
- Matchett, Karin. "At Odds over Inbreeding: An Abandoned Attempt at Mexico/United States Collaboration to "Improve" Mexican Corn, 1940-1950." *Journal of the History of Biology* 39, no. 2 (verano 2006): 345-372.
- Mateos, Gisela, y Edna Suárez-Díaz. "Clouds, airplanes, trucks and people: carrying radioisotopes to and across Mexico." *Dynamis* 35, no. 2 (2015): 279-305.
- _____. *Radioisótopos itinerantes en América Latina: Una historia de ciencia por tierra y por mar*. Ciudad de México: CEIICH-Facultad de Ciencias, UNAM, 2015.
- _____. "We are not a rich country to waste our resources on expensive toys': Mexico's version of *Atoms for Peace*." *History and Technology* 31, no. 3 (2015): 243-258.
- _____. "Expectativas (des)encontradas: la asistencia técnica nuclear en América Latina." En *Aproximaciones a lo local y lo global: América Latina en la historia de la ciencia contemporánea*, compilado por Gisela Mateos y Edna Suárez-Díaz, 215-241. Ciudad de México: Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Sociales Vicente Lombardo Toledano, 2016.
- _____. "Technical assistance in movement: nuclear knowledge crosses Latin American borders." En *How Knowledge Moves. Writing the Transnational History of Science and*

- Technology*, editado por John Krige, 345-367. Chicago: The University of Chicago Press, 2019.
- _____. “Creating the need in Mexico: The IAEA’s technical assistance programs for *less developed* countries (1958-68).” *History and Technology* 36, no. 3-4 (2020): 418-436.
- Medhurst, Martin J. “Atoms for Peace and Nuclear Hegemony: The Rhetorical Structure of a Cold War Campaign.” *Armed Forces & Society* 23, no. 4 (1997): 571-593.
- Morett-Sánchez, J. Carlos, y Celsa Cosío-Ruiz. “Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México.” *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 14 no. 1 (ene.-mar. 2017): 125-152.
- Mould, R. F. “Pierre Curie, 1859-1906.” *Current Oncology* 14, no. 2 (abr. 2007): 74-82.
- Müller-Wille, Staffan, y Isabelle Charmantier. “Lists as Research Technologies.” *Isis* 103, no. 4 (dic. 2012): 743-752.
- Munns, David P. D. “‘The awe in which biologists hold physicists’: Frits Went’s first phytotron at Caltech, and an experimental definition of the biological environment.” *History and Philosophy of the Life Sciences* 36, no. 2 (oct. 2014): 209-231.
- _____. “The phytotronist and the phenotype: Plant physiology, Big Science, and a Cold War biology of the whole plant.” *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 50 (abr. 2015): 29-40.
- _____. *Engineering the Environment: Phytotrons and the Quest for Climate Control in the Cold War*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2017.
- Munns, David P. D., y Karin Nickelsen. “To live among the stars: artificial environments in the early space age.” *History and Technology* 33, no. 3 (2018): 272-299.

- Nelson, Mark, Tony L. Burgess, Abigail Alling, Norberto Álvarez-Romo, William F. Dempster, Roy L. Walford, y John P. Allen. "Using a Closed Ecological System to Study Earth's Biosphere." *BioScience* 43, no. 4 (1993): 225-236.
- Nelson, Mark. *Pushing Our Limits: Insights from Biosphere 2*. Tucson: The University of Arizona Press, 2018.
- Novy, James E. "Screwworm control and eradication in the southern United States of America." *World Animal Review* special issue, 1991/10.
- Oasa, Edmund K., y Bruce W. Jennings. "La naturaleza de la investigación social en la agricultura internacional: la experiencia norteamericana, el IRRI y el CIMMYT." *El Trimestre Económico* 49, no. 196 (4) (oct.-dic. 1982): 975-1012.
- Ocampo Ledesma, Jorge Gustavo, María Isabel Palacios Rangel, Adrián Lozano Toledano, y Jorge Aguilar Ávila. "Gilberto Palacios de la Rosa." En *Genealogías, Trayectorias y Redes: Metodologías para los estudios sociales de la ciencia, la tecnología y la innovación*, por Jorge Gustavo Ocampo Ledesma, María Isabel Palacios Rangel, Adrián Lozano Toledano y Jorge Aguilar Ávila, 28-31. Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo, 2019.
- Odum, Eugene P. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1953.
- _____. *Fundamentals of Ecology*. 2ª ed. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1959.
- _____. "The New Ecology." *BioScience* 14, no. 7 (jul. 1964): 14-16.
- _____. "Energy Flow in Ecosystems: A Historical Review." *American Zoologist* 8, no. 1 (feb. 1968): 11-18.
- _____. *Fundamentals of Ecology*. 3ª ed. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1971.
- Office of the Historian, Foreign Service Institute. "Mexican Expropriation of Foreign Oil, 1938." United States Department of State. Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://history.state.gov/milestones/1937-1945/mexican-oil>.

- Oficina de Comunicación del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. "Tributo a Evangelina Villegas: Co-creadora del maíz con calidad proteica y correceptora del Premio Mundial de Alimentación 2000." *Revista Fitotecnia Mexicana* 40, no. 2 (2017): 117-118.
- Oreskes, Naomi, y John Krige, eds. *Science and Technology in the Global Cold War*. Cambridge: MIT Press, 2014.
- Ortiz Ferrara, G. "Bread Wheat Breeding in the Dryland Areas of West Asia and North Africa." En *Wheat Breeding at CIMMYT: Commemorating 50 years of Research in Mexico for Global Wheat Improvement. Wheat Special Report No. 29*, editado por S. Rajaram y G. P. Hettel, 48-59. México, D. F.: CIMMYT, 1995.
- Osgood, Kenneth. *Total Cold War: Eisenhower's Secret Propaganda Battle at Home and Abroad*. Lawrence, Kansas: University Press of Kansas, 2006.
- Oyama, Susan. "Biologists Behaving Badly: Vitalism and the Language of Language." *History and Philosophy of the Life Sciences* 32, no. 2/3 (2010): 401-423.
- Palacios de la Rosa, Gilberto. "Mejoramiento del maíz en México." Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Agricultura, 1964. En *Ing. Gilberto Palacios de la Rosa*, coordinado por María Isabel Palacios Rangel y Jorge Gustavo Ocampo Ledesma, 9-72. Chapingo: Universidad Autónoma de Chapingo, 2018.
- Patten, Bernard C. "An Introduction to the Cybernetics of the Ecosystem: The Trophic-Dynamic Aspect." *Ecology* 40, no. 2 (abr. 1959): 221-231.
- Patten, Bernard C., y Eugene P. Odum. "The Cybernetic Nature of Ecosystems." *The American Naturalist* 118, no. 6 (dic. 1981): 886-895.
- Piqueras, Mercè. "Meeting the Biospheres: on the translations of Vernadsky's work." *International Microbiology* 1, no. 2 (1998): 165-170.
- Poole, Robert. "What Was Whole about the Whole Earth? Cold War and Scientific Revolution." En *The Surveillance Imperative: Geosciences during the Cold War and*

- Beyond*, editado por Simone Turchetti y Peder Roberts, 213-235. New York: Palgrave Macmillan, 2014.
- Rader, Karen A. "Alexander Hollaender's Postwar Vision for Biology: Oak Ridge and Beyond." *Journal of the History of Biology* 39, no. 4 (invierno 2006): 685-706.
- Rajaram, Sanjay. "Wheat Germplasm Improvement: Historical Perspectives, Philosophy, Objectives, and Missions." En *Wheat Breeding at CIMMYT: Commemorating 50 years of Research in Mexico for Global Wheat Improvement. Wheat Special Report No. 29*, editado por S. Rajaram y G. P. Hettel, 1-10. México, D. F.: CIMMYT, 1995.
- Reichle, D. E., y S. I. Auerbach. *U.S. Radioecology Research Programs of the Atomic Energy Commission in the 1950s*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 2003.
- Rentetzi, Maria. "The Women Radium Dial Painters as Experimental Subjects (1920-1990) Or What Counts as Human Experimentation." *NTM International Journal of History & Ethics of Natural Sciences, Technology & Medicine* 12, no. 4 (2004): 233-248.
- Roberts, L. M. "The Rockefeller Foundation Program in the Agricultural Sciences." *Economic Botany* 15, no. 4 (oct.-dic. 1961): 296-301.
- Robles B., R. "Estructura de la producción y cultivos, 1950-1960." En *Historia de la cuestión agraria mexicana, vol. 7 La época de oro y el principio de la crisis de la agricultura mexicana 1950-1970*, por Julio Moguel, Rosario Robles, y Blanca Rubio, 12-83. México, D. F.: Siglo XXI Editores y CEHAM, 1988.
- Rothschild, Rachel. "Environmental Awareness in the Atomic Age: Radioecologists and Nuclear Technology." *Historical Studies in the Natural Sciences* 43, no. 4 (sep. 2013): 492-530.
- Rowland, R. E., y Lucas, H. F., Jr. *The Radium Dial Workers*. Argonne: Center for Human Radiobiology, Argonne National Laboratory, 1982. <https://www.osti.gov/servlets/purl/6374911.1982>.

- Roy, Jacques, François Rineau, Hans J. De Boeck, Ivan Nijs, Thomas Pütz, Samuel Abiven, John A. Arnone III et al. "Ecotrons: Powerful and versatile ecosystem analysers for ecology, agronomy and environmental science." *Global change biology* 27, no. 7 (abr. 2021): 1387-1407.
- Russell, Liane B., y R. Julian Preston. "Genetics Research in the Biology Division." *Oak Ridge National Laboratory Review* 22, no. 2&3 (1989): 12-15.
- Salisbury, Frank B., Josef I. Gitelson, y Genry M. Lisovsky. "Bios-3: Siberian Experiments in Bioregenerative Life Support." *BioScience* 47, no. 9 (oct. 1997): 575-585.
- Schiavon, Jorge A. *La relación especial México-Estados Unidos: Cambios y continuidades en la Guerra y Pos-Guerra Fría*. D. F.: CIDE, 2006.
<http://cide.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1011/118>.
- Schlosser, Kolson. "Malthus at mid-century: neo-Malthusianism as bio-political governance in the post-WWII United States." *Cultural Geographies* 16, no. 4 (oct. 2009): 465-484.
- Shiva, Vandana. *The Violence of the Green Revolution: Third World Agriculture, Ecology and Politics*. Londres: Zed Books, 1991.
- Sigurbjörnsson, Björn, y Leo E. LaChance. "El OIEA y la revolución verde: Desde los laboratorios de investigación hasta los campos de cultivo, las técnicas nucleares hacen sentir su influencia." *International Atomic Energy Agency Bulletin* 29, no. 3 (1987): 38-42.
- Sörlin, Sverker, y Nina Wormbs. "Environing technologies: a theory of making environment." *History and Technology* 34, no. 2 (2018): 101-125.
- Soto Laveaga, Gabriela. "The socialist origins of the Green Revolution: Pandurang Khankhoje and domestic 'technical assistance'." *History and Technology* 36, no. 3-4 (2020): 337-359.

- Tansley, Arthur George. "The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms." *Ecology* 16, no. 3 (jul. 1935): 284-307.
- Taylor, Peter. "Technocratic Optimism, H. T. Odum, and the Partial Transformation of Ecological Metaphor after World War II." *Journal of the History of Biology* 21, no. 2 (1988): 213-244.
- "The Earhart Plant Research Laboratory." *Nature* 163, no. 4156 (1949): 986.
- The Rockefeller Archive Center. "Jacob George Harrar." The Rockefeller Foundation: A Digital History. Último acceso el 17 de febrero de 2021. https://rockfound.rockarch.org/biographical/-/asset_publisher/6ygcKECNI1nb/content/jacob-george-harrar.
- _____. "Mexico." The Rockefeller Foundation: A Digital History. Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://rockfound.rockarch.org/mexico>.
- _____. "Natural Sciences." The Rockefeller Foundation: A Digital History. Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://rockfound.rockarch.org/natural-sciences>.
- _____. "Research Institutes." The Rockefeller Foundation: A Digital History. Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://rockfound.rockarch.org/research-institutes>.
- The Rockefeller Foundation. *The Rockefeller Foundation Annual Report, 1960*. New York: The Rockefeller Foundation, 1961. <https://www.rockefellerfoundation.org/wp-content/uploads/Annual-Report-1960-1.pdf>.
- The University of Arizona. "About Biosphere 2: History." Último acceso el 9 de febrero de 2021. <https://biosphere2.org/visit/about-biosphere2/history>.
- Thimann, Kenneth V. "Evolution of the Phytotron." Reseña de *The Experimental Control of Plant Growth, with special reference to the Earhart Plant Research Laboratory at the California Institute of Technology*, por Frits W. Went. *The Quarterly Review of Biology* 33, no. 4 (dic. 1958): 262-263.

Truman Library Institute. "Harry S. Truman to Nelson Rockefeller, with Related Material, November 24, 1950." Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://www.trumanlibrary.gov/library/research-files/harry-s-truman-nelson-rockefeller-related-material?documentid=NA&pagenumber=8>.

Turchetti, Simone, y Peder Roberts, eds. *The Surveillance Imperative: Geosciences during the Cold War and Beyond*. New York: Palgrave Macmillan, 2014.

United Nations. *Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Annexes*. General Assembly, 1958.

USAID. "USAID History." Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://www.usaid.gov/who-we-are/usaaid-history>.

UVA Miller Center. "August 6, 1945: Statement by the President Announcing the Use of the A-Bomb at Hiroshima." Último acceso el 01 de marzo de 2021. <https://millercenter.org/the-presidency/presidential-speeches/august-6-1945-statement-president-announcing-use-bomb>.

_____. "January 20, 1949: Inaugural Address." Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://millercenter.org/the-presidency/presidential-speeches/january-20-1949-inaugural-address>.

_____. "March 12, 1947: Truman Doctrine." Último acceso el 17 de febrero de 2021. <https://millercenter.org/the-presidency/presidential-speeches/march-12-1947-truman-doctrine>.

Vernadsky, Vladimir I. *The Biosphere*, (Trad. David B. Langmuir). New York: Copernicus, 1926/1998.

Vieyra-Odilon, Leticia, y Heike Vibrans. "Weeds as Crops: The Value of Maize Field Weeds in the Valley of Toluca, Mexico." *Economic Botany* 55, no. 3 (2001): 426-443.

Weart, Spencer. *Nuclear Fear: A History of Images*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1988.

Weaver, Warren, y J. George Harrar. "Research on Rice." [Appendix 1 of minutes of the meeting of the Rockefeller Foundation Board of Trustees, 30 November to 1 December, 1954]. *100 Years: The Rockefeller Foundation*. The Rockefeller Archive Center. Último acceso el 17 de febrero de 2021. https://rockfound.rockarch.org/digital-library-listing/-/asset_publisher/yYxpQfeI4W8N/content/research-on-rice.

Wellerstein, Alex. "The Kyoto misconception: What Truman knew, and didn't know, about Hiroshima." En *The Age of Hiroshima*, editado por Michael D. Gordin y G. John Ikenberry, 34-55. Princeton: Princeton University Press, 2020.

_____. "The Kyoto misconception." *Restricted Data: The Nuclear Secrecy Blog*, 8 de agosto de 2014. <http://blog.nuclearsecrecy.com/2014/08/08/kyoto-misconception/>.

_____. "A 'purely military' target? Truman's changing language about Hiroshima." *Restricted Data: The Nuclear Secrecy Blog*, 19 de enero de 2018. <http://blog.nuclearsecrecy.com/2018/01/19/purely-military-target/>.

Went, Frits W. "Auxin, the plant growth-hormone." *The Botanical Review* 1, no. 5 (1935): 162-182.

_____. "Plant Growth Under Controlled Conditions. III. Correlation between various physiological processes and growth in the tomato plant." *American Journal of Botany* 31, no. 10 (mar. 1944): 597-618.

_____. "The Phytotron." *Engineering and Science* 12, no. 9 (jun. 1949): 3-6.

_____. *The Experimental Control of Plant Growth, with special reference to the Earhart Plant Research Laboratory at the California Institute of Technology*, editado por Frans Verdoorn. Vol. No. 17 *Chronica Botanica: An International Biological and Agricultural Series*. New York: The Ronald Press Company, 1957.

- _____. "The Concept of a Phytotron." En *Environmental Control of Plant Growth: Proceeding of a Symposium Held at Canberra, Australia, August, 1962*, editado por L. T. Evans, 1-4. New York: Academic Press Inc. 1963.
- Wiener, Norbert. "Time, Communication, and the Nervous System." *Annals of the New York Academy of Sciences* 50, no. 4 (oct. 1948): 197-220.
- _____. "Cybernetics." *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences* 3, no. 7 (abr. 1950): 2-4.
- Willis, A. J. "The ecosystem: an evolving concept viewed historically." *Functional Ecology* 11 (abr. 1997): 268-271.
- Yarris, Lynn. "Ernest Lawrence's Cyclotron: Invention for the Ages." Editado por Science Articles Archive Berkeley Lab. Último acceso el 7 de noviembre de 2019. <https://www2.lbl.gov/Science-Articles/Archive/early-years.html>.
- Zachmann, Karin. *Risky Rays for an Improved Food Supply? Transnational Food Irradiation Research as a Cold War Recipe*. Preprint 7. Munich: Deutsches Museum, 2013.