



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

CAMPO DE FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, FACULTAD DE CIENCIAS,

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS,

DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

**‘POR ENCIMA DEL BORDE DEL MUNDO’: LA
TERMORREGULACIÓN DE REPTILES ENTRE EL CAMPO
Y EL LABORATORIO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

DOCTOR EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA

FAUSTO ERNESTO CAMPOS REYES

DIRECTORA DE TESIS: DRA. EDNA MARÍA SUÁREZ DÍAZ

FACULTAD DE CIENCIA, UNAM

COMITÉ TUTOR:

DRA. VIVETTE GARCÍA DEISTER (Facultad de Ciencias, UNAM)

DR. OSCAR ALBERTO FLORES VILLELA (Facultad de Ciencias, UNAM)

DR. FRANCISCO ROBERTO VERGARA SILVA (IB, UNAM)

DRA. LETICIA MARGARITA OCHOA OCHOA (Facultad de Ciencias, UNAM)

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX.

AGOSTO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Al lector de esta tesis

A las nuevas generaciones, Dharius y Kaleth

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A **CONACYT**, por la beca otorgada para realizar la tesis de doctorado (de agosto de 2012 a julio de 2016)

Al proyecto de PAPIIT (UNAM) **IN401017** *Ciencia y tecnología a través de las fronteras: tensiones y sinergias de la asistencia técnica en México en la segunda mitad del siglo XX.*

Al personal del archivo de Cheadle Center for Biodiversity and Ecological Restoration (CCBER), UCSB por todo su apoyo.

A mi estimada directora de tesis Edna Suárez, por todo tu apoyo a lo largo de estos años, por la orientación y amistad, gracias a tu apoyo siempre, este trabajo fue posible. A Vivette Vacía por su ojo agudo, sus observaciones, por el increíble título para la tesis, fuiste un elemento muy importante en mi trabajo. A Oscar Flores, Francisco Vergara y Leticia Ochoa por el tiempo dedicado a revisar mi trabajo y su importante contribución.

A mis padres Virginia y Florentino, a mis queridos hermanos Penélope, Laura, Norma y Hugo, y mis amados sobrinos Dharius y Kaleth, a toda mi familia por siempre estar ahí, por su amor. A mi compañera de vida, por su amor y apoyo, gracias siempre Gabriela Bautista. A todos mis queridos amigos y amigas con los cuales he crecido y formado, sin su apoyo la vida no sería tan plena como lo es.

A la vida...

I am the Lizard King, I Can Do Anything

J. Morrison

Índice

Introducción	1
Capítulo 1	13
1. El nacimiento de un fenómeno: la termorregulación de los reptiles	13
1.1. Las observaciones en campo, la relación entre la temperatura de los animales y su entorno (1906-1935).....	14
1.2.- Arreglos experimentales y la temperatura corporal de los reptiles (1896-1932).....	25
1.3.- Los gradientes de Weese, el campo y el laboratorio	40
1.4.- El trabajo en el desierto y el grupo de investigadores de UCLA	49
1.4.1.- El trabajo experimental y el establecimiento de un nuevo fenómeno (1930-1945)	51
Sumario.....	64
Capítulo 2	68
2. El trabajo de Raymond B. Cowles, la termorregulación en reptiles	68
2.1.- Cowles, su trabajo en Sudáfrica	68
2.2.- Por encima del borde del mundo: el desierto de California.....	80
2.3.- El arreglo experimental de Raymond B. Cowles	92
2.3.1.- Desarrollo experimental.....	101
2.4.- La termorregulación y su estructura conceptual	111
Sumario.....	119
Capítulo 3	123
El legado de Cowles: la extinción de los dinosaurios	123
3.1.- La hipótesis sobre la extinción de los dinosaurios.	123

3.2.- La estabilización de la termorregulación. Experimentos con cocodrilos. .	131
3.2.1.- Temperatura voluntaria en los cocodrilos	141
3.2.2.- Tolerancia al calor (luz directa del sol) de los dinosaurios.....	142
3.2.3.- Tolerancia a variaciones de temperatura. Cámara de gradientes	150
3.3.- La contribución de Bogert a la termorregulación en reptiles	158
3.3.1. Modificaciones al arreglo experimental.....	162
Sumario.....	175
Conclusiones	178
Fuentes bibliográficas	188

Introducción¹

Una caracterización amplia y detallada de la investigación experimental debería incluir la identificación de los elementos principales que componen esta actividad científica. En particular, para las disciplinas que realizan su trabajo de investigación en espacios abiertos, es fundamental identificar el conjunto de prácticas e instrumentos con los cuales se producen, estudian y estabilizan los fenómenos de interés científico. Un primer acercamiento al trabajo de las investigaciones de campo, particularmente en la biología, muestra que hay al menos tres elementos importantes que deberían considerarse para entender la generación de conocimiento de esta disciplina: el sitio de trabajo, los arreglos experimentales y la actividad de los científicos en torno a los objetos de investigación. La intención de este trabajo es mostrar detalladamente el papel epistémico determinante del *sitio* en la caracterización de los fenómenos que se estudian en el campo, particularmente en la biología. Me interesan aquellos objetos de investigación que se constituyen como tales porque se producen en un lugar específico, dada una compleja interacción entre el “campo”, el arreglo experimental y las prácticas científicas. Para ello, este trabajo historiza el origen y establecimiento de un fenómeno ampliamente estudiado y reconocido en la ecología y fisiología de los reptiles: la *termorregulación*.

Como punto de partida del quehacer científico es crucial atender y caracterizar el sitio o lugar donde se desarrolla la investigación científica. Pero esta caracterización no puede entenderse sólo como un prolegómeno que ubique a tal o cual investigación en un espacio dado sólo para señalar las coordenadas del sitio de trabajo de los científicos. Más bien como una identificación del *lugar* como un elemento central en la generación del conocimiento científico. Normalmente se asume que “...el conocimiento científico típicamente es entendido como

¹ Todas las citas textuales de las fuentes originales que fueron recuperadas dentro del manuscrito en: texto, imágenes, fotos y tablas son traducciones realizadas por el autor de la tesis. Cada cita textual contiene la información en formato APA 6ª edición para ubicar las fuentes bibliográficas originales.

independiente de las circunstancias locales o las contingencias geográficas” (Finnegan, 2015, p.236). No obstante, los espacios y sitios concretos donde se realiza la ciencia están entrelazados con los productos que genera. Como afirma Finnegan (2015, p.236) “el conocimiento científico siempre es un logro difícil de alcanzar... requiere la movilidad de recursos materiales, tecnológicos, instituciones y personas. La ciencia así se despliega en complejos e intrincados arreglos espaciales”.

La naturaleza de la práctica científica está íntimamente ligada a los sitios donde se despliega. En su ejecución modifica profundamente estos espacios, los transforma de manera significativa. *El espacio se convierte en un actor activo de la ciencia*. Estudiar la práctica científica implica, entre otras cosas, desenmarañar la relación del sitio de investigación y la práctica científica.

El sitio o lugar donde se produce el conocimiento ha tenido un importante rol en la ciencia y particularmente en las ciencias de la vida desde los siglos XVIII y XIX. Estos lugares han sido diversos y distintos autores los han estudiado. Por ejemplo Forgan (1994) examina como las características espaciales y arquitectónicas del museo en Gran Bretaña en el siglo XIX tuvieron una relación con la creación y comunicación del conocimiento científico. Outram (1996) en su “nuevos espacios” de la historia natural analiza como los historiadores naturales pasaron del espacio inerte del museo a un espacio práctico fuera de este. Mostrando como la distinción entre espacios abiertos y cerrados ha sido sujeto de discusión entre los científicos de las ciencias biológicas desde finales del siglo XVIII. Shapin (1988) estudia las prácticas experimentales de finales del siglo XVII en Inglaterra, examina la red de conexiones entre el entorno físico y social de la investigación de esta forma indagar el establecimiento de los lugares donde se genera conocimiento. De Bont (2015) estudia el establecimiento de las estaciones de campo en Europa a principio del siglo XX.

Sin embargo, para autores como Kohler (2002a, 2002b) fue el laboratorio el que se consideró como el espacio por excelencia para la investigación en la moderna ciencia de la biología. A finales del siglo XIX el laboratorio adquirió un papel casi

hegemónico; incluso en las ciencias de la vida, se convirtió en el punto de referencia de la ciencia moderna y en el elemento para evaluar otras prácticas de investigación científica (Kohler, 2002a). El laboratorio es un lugar de manipulación, un espacio donde se construyen los fenómenos de investigación en un ambiente controlado, invariable y genérico, que se pretende como un espacio neutral para la investigación que ahí se realiza. Todo esto parece generar un importante sentido de credibilidad al conocimiento producido en los laboratorios:

Damos crédito a los conocimientos y prácticas que son universales y desconfiamos de lo que es meramente local y particular. Los laboratorios están destinados a parecer universales e iguales en todas partes. La variabilidad de la inesperada naturaleza no tiene cabida en los laboratorios. Tales cosas socavarían la razón por la que confiamos en los experimentos. (Kohler, 2002a, p.7)

No obstante la hegemonía de los laboratorios como lugares donde se genera conocimiento, en las últimas dos décadas distintos trabajos en historia de la ciencia han volteado la mirada hacia las ciencias que se desarrollan en otros sitios, como el *campo*²; así, se han explorado situaciones de clase y género en la historia natural, o las prácticas de la ciencia de amateurs y artesanos, es decir, desde el punto de vista del trabajador no experto (Secord, 1994a, 1994b). Se ha hecho también énfasis en el campo, sus prácticas y las herramientas del trabajo científico considerando la cultura material y el razonamiento práctico en el quehacer científico, especialmente cuando se explora el pasado de la ecología y de la botánica (Clarke & Fujimura, 1992). Los trabajos que recuperan el campo como sitio para hacer ciencia también exploran cómo los contextos materiales y sociales permitieron la emergencia de lugares tan particulares como las estaciones de campo (De Bont, 2015).

Hay un reciente interés en los estudios científicos e históricos de la ecología en estudiar el desarrollo de lo que podríamos denominar escenarios híbridos que

² El volumen 11 de *Osiris* 1996 es uno de los primeros números que agrupan investigaciones sobre las ciencias del campo entorno a tres ejes: apropiación cultural, conocimiento y poder e, identidad y género. Para una introducción de este análisis ver: Kuklick y Kohler (1996) "Introducción" *Osiris* 11, *Science in the field*, p. 1-14.

combinan las prácticas de campo y las metodologías del laboratorio. Kingsland (2009) estudia la construcción de fitotrones³ después de la segunda guerra mundial describiéndolos como laboratorios modificados que imitan a las condiciones naturales más cercanas. Vetter (2012) en su trabajo sobre las estaciones biológicas de la región Rocky Mountains en el oeste de los Estados Unidos de América en las primeras décadas del siglo XX, identifica a estas estaciones como sitios híbridos laboratorio-campo y señala que son “sitios de campo con muros elevados más que laboratorios cuyas paredes con el mundo natural se han reducido” (Vetter, 2012, p. 587). Por otro lado, Grodwohl, Porto, y El-Hani (2018) examinan cómo el establecimiento de un experimento en campo para la ecología de comunidades, particularmente en la ecología de costas rocosas, implicó un problema de confiabilidad de los resultados experimentales de dicha práctica. Cuestionan el estado exclusivo que se le otorgan a ciertas prácticas como sólo de experimentación de campo.

Estos trabajos muestran cómo se ha entendido que el trabajo de campo es diferente en su naturaleza al trabajo del laboratorio, nutrido de ideas científicas, un vocabulario común, incluso se ha identificado como un fenómeno social en virtud de que es un espacio habitado por diferentes actores con distintos intereses, donde el trabajo depende en gran medida de los tipos de instrumentos que se puedan tener o construir, así como de los recursos humanos disponibles (D. E. Allen, 1976; Kohler, 2002a). También se ha explorado la relación entre el campo y el laboratorio a partir de la identificación de una zona de interacción compleja donde prácticas y herramientas científicas adquieren una dimensión distinta, un punto limítrofe o “borde” (Kohler, 2002a).

Las reflexiones sobre la investigación en campo han mostrado que es un espacio con características muy particulares, pues engloba una serie de sitios irrepetibles, dinámicos, incontrolables, con un sentido local muy fuerte, al tiempo que pretenden y aspiran a tener un significado a nivel global. Las posibilidades de manipulación y

³ Son invernaderos de investigación cerrados para estudiar la interacción entre las plantas y el medio ambiente (Munns, 2017)

control en el campo son pocas, en comparación con un laboratorio. La investigación depende mucho de las condiciones del lugar⁴. Sin embargo, son espacios donde se puede generar y, de hecho, se genera conocimiento fiable y valioso porque la información se obtiene a pesar o quizás en función de la complejidad del medio. Es justo este dinamismo de los sitios de trabajo en el campo lo que les confiere su riqueza, su potencialidad como espacios de conocimiento. El campo como espacio para hacer ciencia gana credibilidad como lugar de investigación a través del investigador y su interacción con él:

Las observaciones de campo permiten a los investigadores examinar la realidad antes de que esta haya sido transformada en artefacto vía las intervenciones del laboratorio. El campo lleva consigo una idea de realidad no adulterada, descubierta en el momento. Ciertos sitios del campo se transforman en ventanas únicas sobre el universo, revelando solo en este lugar algo que no puede ser movido o replicado en el laboratorio. En tal instancia, 'estar allí' se transforma en un parte esencial de afirmaciones de autoridad para una observación o descubrimiento. En el campo, una inevitablemente falta de control se convierte en su propia virtud. Los científicos *en plein air* son probablemente más abiertos a las sorpresas que podrían interrumpir las expectativas de investigación en formas prometedoras, esto sólo porque es más difícil para los sitios de campo cerrarse a las intrusiones humanas y naturales. Los científicos de campo frecuentemente inmersos en un sitio por un largo tiempo desarrollan encarnadas formas de sentir, ver y entender – lo que se transforma análogo a los fríos y precisos instrumentos del laboratorio (Gieryn, 2006).

De esta forma, se ha reconocido que el campo como espacio de investigación cuenta con su propia dinámica y estructura. Una forma particular de trabajo en la que se recuperan prácticas, instrumentos y acciones de otros sitios para producir su propio estilo, y que resignifica el papel del investigador en la generación del conocimiento. La experticia de quien conoce el espacio y que al tiempo está abierto a lo inesperado y a la irregularidad de los fenómenos en el que intervienen muchos factores a la vez. La ciencia hecha en el campo destaca, entonces, precisamente por aquello que el laboratorio ha llegado a eliminar, al sujeto que manipula, que

⁴ Una reflexión general sobre el campo como lugar de investigación en: Kuklick y Kohler (1996) "Introducción" *Osiris* 11, *Science in the field*, p. 1-14.

interviene, que mide. En el campo, el científico mismo se vuelve un instrumento pensante que simultáneamente y de manera evidente participa y es parte del entorno. Para resumir, en general el 'lugar' como categoría analítica se ha vuelto "indispensable para la historia de las ciencias del campo" (Kohler, 2002b, 2012; Ophir & Shapin, 1991). Nociones como "truth-spot", "trading zone" o más específicamente "place-based" ("dependientes de lugar") en la ecología pretenden dar cuenta del lugar o sitio como elemento fundamental en el análisis de la generación de conocimiento en contextos locales (Billick y Price, 2011; Galison, 1996; Gieryn, 2002, 2006).

Si bien es importante analizar el papel que juegan los lugares y espacios donde se desarrolla la ciencia, además es necesario ahondar en la práctica científica que se ejecuta en dichos sitios, explorar la actividad científica misma, el trabajo que realizan los investigadores dentro de estos espacios. En específico, me interesa dar cuenta de cómo se generan los objetos que son de interés para la ciencia. Una mirada cercana al trabajo científico revela que la ciencia moderna no se puede concebir sin una cultura material ampliamente desarrollada que abarca los objetos de interés científico, los instrumentos para estudiarlos y los espacios en los cuales se desarrollan dichos estudios (Daston, 2000; De Bont, 2015; Finnegan, 2008, 2015; Gieryn, 2002; Kohler, 2002a, 2012, Livingstone, 1995, 2003, Rheinberger, 1992b, 1992a, 1997b). En este sentido, mirar a través de casos históricos específicos el desarrollo de la investigación de campo en la biología me permitirá profundizar en los distintos aspectos que hacen que sitios específicos generen conocimiento y altos estándares de credibilidad pese a su "especificidad local". Además, como señala Chang (2011) analizar casos específicos me permite dilucidar nuevas propuestas de análisis filosófico para explicar el desarrollo de prácticas científicas concretas. Es una virtud más que un error que el trabajo histórico nos permita generar nuevas ideas filosóficas a través de investigaciones concreta. Se podrá evaluar después, en otros trabajos, si la propuesta teórica permite analizar casos similares y ver su capacidad explicativa.

Así pues, esta tesis se inserta en lo que se ha denominado epistemología histórica, o “la reflexión sobre las condiciones históricas *bajo* las cuales y los medios *con* los cuales, los objetos en general se convierten en objetos de conocimiento. [La epistemología histórica] se enfoca en el proceso de generación de conocimiento científico, la forma en que este es iniciado y sostenido” (Rheinberger, 2010)⁵. Lo que Daston (2000) ha denominado la “metafísica aplicada”: cómo los objetos pueden surgir o desaparecer como objetos de investigación científica⁶. Siguiendo esta línea, deseo resaltar que en este trabajo no pretendo entrar en el añejo debate entre lo real *versus* lo construido, lo natural y lo artificial. Más bien me interesa reflexionar sobre la vida activa de la ciencia, las prácticas y los productos del quehacer científico en su ejecución. En este sentido Daston (2000) señala que la metafísica aplicada se sitúa ortogonal al debate clásico entre la invención y descubrimiento, planteando que los objetos científicos pueden ser simultáneamente reales e históricos. Esta discusión entre realismo y constructivismo ha sido larga y álgida en los círculos de filosofía de la ciencia y en este trabajo no pretendo minimizarla, sino más bien poner la atención en el hecho indiscutible de la novedad científica.

Como ya mencioné antes, el objetivo central de este trabajo consiste en historizar el origen y establecimiento de un fenómeno en la ecología de los reptiles, la *termorregulación*: ¿cómo y por qué surgió este objeto científico? Esto es, cuáles fueron las circunstancias históricas específicas en las que la termorregulación surgió como un objeto de investigación científica porque, a diferencia de los objetos de lo cotidiano, que parecen presentarse de forma “evidente”, ahí frente a nosotros, “los objetos científicos son elusivos y se ganan a pulso” (Daston, 2000, p.11). Analizar

⁵ La epistemología histórica cuenta con una trayectoria que podrían rastrearse en la década de 1990 con el trabajo de Rheinberger (1992a, 1992b) y su obra principal de 1997: *Toward a history of epistemic things: Synthesizing proteins in the test tube*. Stanford, California: Stanford University Press.

⁶ Daston publica en el año 2000 *Biographies of scientific objects*, uno de los primeros trabajos donde compila las investigaciones de diferentes autores sobre los objetos científicos. En 2005 el Instituto Max Plank creó una red internacional de investigación sobre los objetos científicos. Cuyo objetivo es “llamar la atención sobre una parte esencial de la cultura material de la ciencia moderna, que recientemente se convirtió en un campo de investigación científica: los objetos científicos” Algunos de sus trabajos más recientes sobre el tema son: *Challenging objects in the history of science*, (21-23 enero, 2010); Scientific Objects in Dialogue - Research Network Final Event (04-05 octubre 2010) <http://scientificobjects.mpiwg-berlin.mpg.de/scientificobjectsPublic/index/Organization.html>

de cerca el trabajo de los científicos en esta ardua tarea, dilucidar cómo estos objetivos movilizaron la actividad científica en torno a ellos es el centro del trabajo de la epistemología histórica. Es decir, ¿qué condiciones se articularon para que el concepto y la reproducibilidad del fenómeno de la termorregulación surgiera como objeto de investigación en un contexto histórico específico? Mi tesis indaga el detalle de lo que los científicos involucrados en su caracterización hicieron en el desarrollo de sus investigaciones, y cómo la termorregulación como objeto científico pudo ser observada, manipulada, y reconstruir su capacidad para generar una estructura conceptual que la caracterizó; asimismo, me interesa destacar cómo la termorregulación pudo ser generadora de sorpresas y adquirir coherencia y estabilidad como entidad ontológica científica. La tesis, en resumen, analiza el desarrollo histórico de un objeto de la ciencia, cuyo curso temporal y condiciones particulares pueden rastrearse.

Para pensar a la termorregulación como un objeto científico, en este trabajo argumento que este fenómeno emergió como parte de una estructura experimental producida a lo largo de varios años en las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles en dos sitios distintos: el desierto de California (el sitio de campo) y el laboratorio. Fue a través de los arreglos experimentales construidos en esos dos sitios preponderantes, y sólo a partir de ellos, que el fenómeno se manifestó; es decir, en esta tesis considero al arreglo experimental de campo como una configuración similar a la noción de *sistema experimental como la unidad funcional más pequeña de la investigación* (Rheinberger, 1992a, 1997a, 1997b). Señala (Rheinberger, (1992a) que si se pretende saber cómo de hecho trabaja la ciencia se debe "...iniciar con la caracterización de un sistema experimental, su estructura y su dinámica como el punto de partida de cualquier análisis." (p.306). Es dentro de este sistema o arreglo experimental que surgen los objetos de interés científico. Aquí, sin embargo, se analiza la termorregulación como un tipo de fenómeno que sólo se manifiesta fuera del laboratorio del que habla Rheinberger, es un fenómeno que se fue conformando como objeto científico en un espacio abierto, con controles limitados y situado en un sitio concreto. A lo largo de los capítulos que siguen describo cómo fue adquiriendo un grosor ontológico a través del arreglo

experimental, generando resultados, implicaciones, sorpresas, explicaciones, cómo se aplicó a otras prácticas, campos y problemas de investigación.

En lo que sigue analizaré las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles en los trabajos experimentales que se desarrollaron en las primeras décadas del siglo XX en los Estados Unidos. A través de un recorrido histórico en tres capítulos mostraré cómo la confluencia de distintos trabajos de investigación en varios laboratorios, pero sobre todo en el campo, y la conformación de un arreglo experimental en constante evolución, permitieron la emergencia del fenómeno de la termorregulación en reptiles, una pieza clave que cambió la visión sobre la ecología de este grupo de organismos y sobre la biología térmica en general de los animales poiquiloterms.

En el primer capítulo de la tesis reviso los trabajos realizados por distintos científicos interesados en la biología térmica de los reptiles, incluyendo a Charles G. Rogers, Elsie M. Lewis, Francis M. Baldwin, Hans Gadow, Joseph Grinnell, Albert Reese y Francis G. Benedict, entre otros. El trabajo de investigación sobre la biología térmica de reptiles fue realizado en distintos espacios en las primeras décadas del siglo XX en los Estados Unidos, en una naciente, pero sólida comunidad científica cuyo trabajo se apoyaba en varias décadas de desarrollo de la historia natural en ese país, en una tradición de estudios y colaboración transatlántica con los recientes laboratorios biológicos de Europa⁷. Si bien el tema de la biología térmica en los animales no era nuevo para los investigadores de inicios del siglo XX, fue a finales del siglo XIX que iniciaron los trabajos específicos sobre grupos en particular. En mi tesis centro el análisis en los Estados Unidos porque precisamente debido a su diversa geografía y tradición de campo, ahí fue donde se desarrolló buena parte del trabajo de investigación sobre la biología de los reptiles del desierto. A lo largo del capítulo realizo un recorrido histórico desde los primeros trabajos que exploran la relación entre la temperatura de un entorno y los reptiles hasta centrar el análisis en un grupo de investigadores de la Universidad de

⁷ Para una revisión sobre el desarrollo de la biología en Estados Unidos de Norte América revisar: (Benson, Maienschein y Rainger, 1991)

California que en la década de 1930 y 1940 consolidaron el trabajo experimental y sentaron las bases para la emergencia del fenómeno de la termorregulación de reptiles. En particular reviso las contribuciones de Asa, O. Weese, Walter Mosauer y Laurence M. Klauber. En este capítulo se analiza también el desarrollo de distintos arreglos experimentales, la utilización de instrumentos y generación de dispositivos experimentales, las técnicas de medición y manejo de animales, la formulación de un vocabulario y un conjunto de nociones que permitieran caracterizar los resultados de los experimentos. Además, busco mostrar cómo el trabajo de investigación inició en dos sitios distintos, el campo y el laboratorio, cómo estos espacios construyeron su propia dinámica de investigación, y cómo los investigadores se decantaron por el campo como el sitio por excelencia para estudiar el fenómeno de la termorregulación.

En el capítulo dos analizo la importancia del espacio o sitio en el que se realizan las investigaciones como un espacio productor de conocimiento científico. Para ello, examino más a fondo la relación entre el campo y el laboratorio como los dos espacios en los cuales se habían estado desarrollando las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles. En este capítulo argumento que no hay una distinción tajante entre estos dos espacios, para ello discuto las aportaciones de otros historiadores y filósofos experimentales, y apporto nuevos elementos para la discusión. No obstante que se caracteriza por formas distintas de trabajo, en particular el campo construye su propia práctica de investigación. El trabajo de campo más que reproducir las prácticas de investigación del laboratorio recupera elemento de este para generar su propio estilo de trabajo, su propio conocimiento donde el sitio tiene un papel epistémico determinante, al formar parte de la caracterización y de las condiciones materiales del fenómeno emergente. El trabajo de Raymond B. Cowles, el herpetólogo del grupo de UCLA que contribuyó de forma relevante al desarrollo de las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles, ilustra con sumo detalle esta profunda interacción entre el sitio, las prácticas científicas y el conocimiento que se produce en esas circunstancias. A través del trabajo de Cowles doy cuenta de algunas características cruciales del trabajo de biología de campo de la primera mitad del siglo XX. Analizo cómo el campo, a través

de la mirada del investigador, adquiere un valor epistémico central, se constituye como el espacio prístino y único en el que se pueden conocer los fenómenos que sólo ocurren ahí y no pueden reproducirse en otras partes. Reflexiono sobre el valor del sitio como localidad concreta, pero también de la experiencia de inmersión total en el mismo, esto se refleja en la frase de la autobiografía de Cowles que da título a esta tesis: “por encima del borde del mundo”.

En la segunda parte de este capítulo examino con detalle el arreglo experimental que Cowles y Bogert realizaron en el último lustro de la década de 1930 en una estación de campo que establecieron en el Valle de Coachella. El trabajo que realizaron estos investigadores permitiría el establecimiento de un arreglo experimental estructurado, que recuperaba en su reproducción las prácticas, instrumentos, técnicas, métodos y estructuras conceptuales que habían heredado de sus antecesores. Es en este arreglo que el campo se consolida como el sitio idóneo para investigar la compleja naturaleza térmica de los reptiles en su entorno. A partir de este trabajo se aceptó que los reptiles contaban con un mecanismo de regulación térmica que dependía de su comportamiento, pero este sólo podía estudiarse en la concreción del hábitat de las especies estudiadas. El sitio de investigación, el arreglo experimental y el trabajo de los investigadores confluyeron para generar un nuevo fenómeno sobre la biología de estos animales, la termorregulación de reptiles.

El último capítulo explora distintos aspectos de la estabilización de la termorregulación, atrincherándose en otras investigaciones que derivaron de los estudios de Cowles, especialmente su utilización para proponer hipótesis que explicaran la extinción de los dinosaurios. Con esta intención, el arreglo experimental que se había generado previamente con los reptiles del desierto de California se reprodujo con cocodrilos en 1944 en la estación de investigación de Archbold Biological Station en Florida. Dicho arreglo muta y evoluciona; se recuperan los principios básicos de medición, las técnicas, dispositivos experimentales y nociones básicas sobre la termorregulación, pero los animales experimentales requieren un manejo distinto y esto implicó una adecuación de los

instrumentos, la forma de trabajo de los investigadores, los animales y –en general– del arreglo experimental. Sin embargo, una vez más el espacio abierto, aquel que es lo más cercano a los ambientes concretos de los animales, es considerado como el sitio por excelencia para realizar la investigación. Esta reconfiguración del arreglo experimental permitiría generar una hipótesis sobre la extinción de los dinosaurios por sobrecalentamiento de la Tierra. No obstante, la termorregulación como fenómeno en los reptiles del presente tomará relevancia posteriormente en los trabajos sobre distribución, reproducción, forrajeo, etc., en lo que podemos llamar el legado de Cowles. La termorregulación se establece, entonces, como un fenómeno básico de la biología de los reptiles, y los trabajos de los herpetólogos en las siguientes décadas recuperarán los elementos centrales de estas investigaciones, es decir, la importancia de estudiar la biología térmica de los reptiles en el campo, fuera del laboratorio, y la utilización y generalización de conceptos básicos de la fisiología, como ectotermo y endotermo, para denominar la naturaleza térmica diferentes grupos de animales. Espero, con ello, haber contribuido de manera detallada a la discusión acerca de la naturaleza de las prácticas situadas y haber extendido el argumento acerca del valor de la dimensión espacial en su significado más concreto: el sitio, el campo o, en este caso, el desierto.

Capítulo 1

1. El nacimiento de un fenómeno: la termorregulación de los reptiles

*A lizard ran out on a rock and looked up, listening
no doubt to the sounding of the spheres.
And what a dandy fellow!
the right toss of a chin for you and a swirl of a tail!
If men were as much men as lizards are lizards
they'd be worth looking at.
(Lizard, Lawrence, 1929)*

Las investigaciones sobre la temperatura corporal de los reptiles inician desde finales del siglo XIX y los primeros años del siglo XX, se extienden a lo largo de las primeras décadas del siglo XX, se diversifican y continúan hasta el momento constituyéndose como un área básica de la investigación en la biología de los reptiles. Es a partir de estas décadas de trabajo, sobre todo a principio del siglo XX y la construcción de diversos arreglos experimentales que la investigación sobre la biología de la temperatura de los reptiles se sistematiza, lo cual deviene en la emergencia de la *termorregulación* como un fenómeno fundamental en la biología de este grupo.

Cuando revisamos la literatura sobre la biología de la temperatura en general de los animales antes del siglo XX vemos que era habitual dividirlos, desde un punto de vista fisiológico, en términos de su temperatura en dos grupos: animales de “sangre caliente” y animales de “sangre fría”. Dentro de los primeros están los mamíferos y las aves, en los segundos están el resto de los animales, reptiles, anfibios, peces, insectos (Agassiz y Gould, 1851). Durante el siglo XIX ésta fue una clasificación utilizada de forma regular para describir literalmente la temperatura del cuerpo de muchos organismos, particularmente de los reptiles. Por ejemplo, en un libro de principios de zoología de 1856 se afirma que:

Los reptiles, peces y muchos de los animales inferiores, no tienen el poder de mantener una temperatura uniforme. El calor de su cuerpo es bajo, siempre entre los 35 a 50°F (de 1.6 a 10°C) y varía perceptiblemente con su medio circundante...

Por esta razón, son denominados animales de *sangre fría*. (Agassiz y Gould, 1851, p.122)

Este tipo de afirmaciones y la idea en general de que los reptiles son organismos de “sangre fría” fueron recurrentes durante todo el siglo XIX e inicios del XX. Sin embargo, en los primeros años de este último siglo se produjo un desarrollo importante de las investigaciones sobre la biología de la temperatura de los animales en general y de los reptiles en particular. Muchos biólogos interesados en los aspectos fisiológicos, ecológicos y evolutivos de los reptiles empezaron a analizar el efecto de las altas temperaturas en estos animales que se consideraba, podían soportarlas muy bien. En lo que sigue revisaré y analizaré el proceso histórico y epistemológico de las investigaciones que se desarrollaron desde los primeros años del siglo XX y hasta la década de 1940 principalmente en Estados Unidos. En los primeros dos apartados revisaré las investigaciones de campo y laboratorio que se desarrollaron en las primeras tres décadas del siglo, finalmente dirigiré la atención hacia un grupo de herpetólogos de la Universidad de California Los Ángeles (UCLA) entre la década de 1930 y 1940, ya que este grupo desarrolló una serie de arreglos experimentales que culminaron con la conformación de la termorregulación en reptiles como un fenómeno central para entender la biología de este grupo en la segunda mitad del siglo XX.

1.1. Las observaciones en campo, la relación entre la temperatura de los animales y su entorno (1906-1935)

Las investigaciones sobre la capacidad de los reptiles para soportar temperaturas muy altas o la relación que hay entre la temperatura de los animales y la de su entorno, fueron temas importantes entre distintos investigadores en los primeros años del siglo XX. Iniciando el siglo los trabajos de investigación abarcaron desde las observaciones en campo que daban cuenta de la presencia conspicua de varias especies de animales (incluidos los reptiles) en las zonas más calurosas del globo; aquellos que analizaban la relación entre los animales y su ambiente; los que indagaban por medio de mediciones puntuales la capacidad de los reptiles (u otros

animales) para soportar altas temperaturas o ver cuál era la temperatura máxima que soportan los reptiles en su medio, hasta las investigaciones en el laboratorio donde se sometían a los animales a diferentes condiciones térmicas para conocer su repuesta.

Las primeras nociones sobre la naturaleza térmica de los reptiles fueron resultado de las observaciones en campo. El zoólogo alemán Hans Friedrich Gadow (1909) en un amplio trabajo sobre anfibios y reptiles señalaba que "...las tortugas de color oscuro a veces toman el sol y son tan calientes que es desagradable tocarlas ya que poseen pocos mecanismos para regular su calor" (p.68). En un artículo sobre observaciones en campo de reptiles y anfibios, el zoólogo Charles Lewis Camp (1916) consideraba extraordinario que los lagartos de collar "...se suben a grandes rocas y están por horas en el sol durante los periodos más calurosos del día" (p.521) y que los Chuckwallas⁸ eran encontrados "perchando en rocas tan calientes que es insoportable al contacto con la mano" o persiguiéndose "sobre las laderas en los días más calurosos de julio" (Camp, 1916, p.523). En una monografía clásica sobre la vida de los animales del desierto, Buxton (1923) señaló que:

La existencia misma de pequeños animales sobre la superficie de los desiertos al medio día es notable. La mayoría de los animales —por ejemplo, los escarabajos y las lagartijas— son de sangre fría, así que uno supone que su temperatura se aproxima a la del aire en la cual se encuentran en un momento dado; y al ser relativamente pequeños, las fluctuaciones de su temperatura interna deberían ser rápidas. (p.98)

De hecho, Buxton hacía referencia a las observaciones de Camp sobre los Chuckwallas del desierto de California. Incluso hasta 1936 Warden, Jenkins y Warner señalaban: "La temperatura preferida por la mayoría de los reptiles parece ser considerablemente más alta que la que se encuentra normalmente en su ambiente"⁹. Asimismo, en su libro "*Ecological Animal Geography*" en el capítulo

⁸ Son lagartijas de largos cuerpos encontradas sobre todo en las regiones áridas del sur de los Estados Unidos y norte de México. Pertenecen al género *Sauromalus* parte de la familia de las Iguanas.

⁹ Citado por Cowles y Bogert, 1944:268.

sobre las condiciones para la existencia de los animales el zoólogo y ecólogo alemán Richard Hesse (1937) señalaba que "...las temperaturas toleradas por los insectos y lagartos del desierto (50-55°C) eran muy parecidas aquellas soportadas por los animales de aguas termales" (p.14). Cabe resaltar que para su análisis de la temperatura de los reptiles del desierto Hesse citaba el trabajo de Buxton 1923.

A la par de estas observaciones se realizaron trabajos experimentales en el laboratorio que buscaban determinar qué tan parecida era la temperatura de los animales de "sangre fría" con la de su entorno. A diferencia de los trabajos de campo, donde los animales eran observados procurando intervenir lo menos posible en su actividad, el laboratorio como espacio para investigar la naturaleza térmica de los reptiles generó un entorno de manipulación donde la pretensión de control fue la base del trabajo experimental. En este espacio, a diferencia del trabajo de campo, los animales eran y son manipulados y sometidos a distintas pruebas y mediciones que pudieran revelar algo sobre su naturaleza térmica.

Bogert (1959) señala que "desde aproximadamente 1909 el fisiólogo británico Sir Charles Martin comparó la regulación de la temperatura corporal en varios mamíferos con las de un lagarto. Demostró que los mamíferos podían mantener su temperatura dentro de un rango bastante estrecho en una amplia variación de temperaturas ambientales en el laboratorio. La temperatura del lagarto, por otro lado, subía y bajaba casi tan rápido como la del medio ambiente". (p.105)

Un ejemplo que permite explorar la forma en que se generó una de las primeras situaciones experimentales es el trabajo de los fisiólogos del departamento de Zoología de Oberlin College en Ohio, Charles G. Rogers y Elsie M. Lewis (1914, 1916). Estos investigadores estaban interesados en desarrollar una propuesta experimental que pudiera uniformizar la manera en que se había estudiado hasta el momento la temperatura corporal de los *así llamados* animales de sangre fría, de tal forma que pudieran incorporar el trabajo de sus antecesores. En la primera década del siglo XX se realizaron diferentes estudios fisiológicos relacionados con la temperatura corporal de los animales (Robertson, 1906; Rogers, 1911; Snyder, 1905). Aunque en esta tesis no se revisarán estas investigaciones, queda claro que los trabajos de Rogers y Lewis no fueron las primeras investigaciones

experimentales sobre la temperatura corporal en animales, hubo una tradición de investigación en fisiología animal que estuvo en boga en estos primeros años del siglo XX y el trabajo sobre la producción o no de calor en animales constituyó una de muchas investigaciones en curso en experimentos de laboratorio. La intención de uniformizar las pruebas experimentales atendía a la necesidad percibida de encontrar criterios más específicos para hacer mediciones, para el uso de instrumentos, para definir los hechos resultados de los datos obtenidos, entre otros aspectos.

Rogers y Lewis, (1916) utilizaron una serie de instrumentos: galvanómetros muy sensibles, interruptores, termopares y termostatos para medir la relación entre la temperatura de distintos animales de “sangre fría” y su entorno (utilizan a la lombriz de tierra, el pez dorado, una almeja del género *Anadonta* y a la salamandra de la especie *Diemyctylus viridescens* entre otros animales). Para hacer la lectura de la temperatura de los animales y poderla contrastar con la de su entorno, los investigadores construyeron un aparato con base en un método que había sido utilizado desde el siglo XIX por los físicos italianos Nobili y Melloni en 1830¹⁰. El aparato que construyeron era un dispositivo de tres vías (termopar¹¹) de alambres metálicos delgados (de cobre y constantán¹²). Una de las uniones de estos alambres era colocada dentro de un tubo de vidrio delgado el cual era introducido por la boca hasta el estómago de los animales. Los otros dos extremos fueron colocados en 1) el medio con el cual se quería contrastar la temperatura y 2) con en el galvanómetro (ver **imagen 1**). Con este dispositivo se midió la diferencia de temperatura entre los animales y su entorno (agua o aire). Los termómetros se colocaron en el medio y en el galvanómetro. Los resultados de estos trabajos los llevaron a las siguientes conclusiones:

¹⁰ Nobili y Melloni fueron dos físicos italianos que construyeron instrumentos para las investigaciones en termodinámica, utilizando la diferencia de corriente que generan diferencias en la temperatura a partir de metales con diferentes capacidades de corriente. (Gavroglu, 1999, p.119).

¹¹ En las investigaciones sobre la temperatura en reptiles se fueron adoptando distintos instrumentos que permitían un registro de la temperatura más fino. Entre los más usados está el termopar que es un instrumento que registra la temperatura a partir de la dedición la corriente eléctrica inducida a través de la unión de dos metales diferentes cuando se les aplica calor (Chang, 2004, p.117).

¹² Es una aleación formada por 55% de cobre y 45% de níquel.

Tanto la lombriz como la pequeña salamandra rápidamente ajustan su temperatura corporal a la de su ambiente, el ajuste, en muchos casos, se encuentra entre los rangos de 16-25°C para la lombriz y 16-35° para la salamandra. El pez dorado y la almeja requirieron un mayor tiempo (entre 30 minutos y 1 hora) para ajustar su temperatura... No hay evidentemente en las formas estudiadas de mecanismos para regular la producción de calor corporal o para la pérdida del mismo. Así como el calor se produce en el cuerpo este es tomado del medio circundante. (Rogers & Lewis, 1916, p.14).

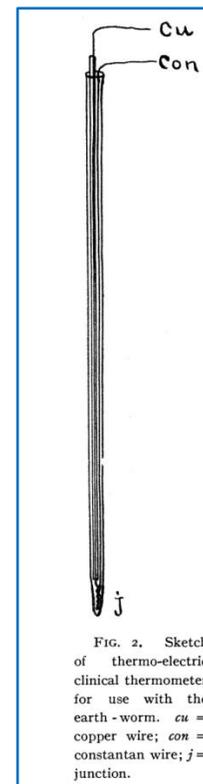
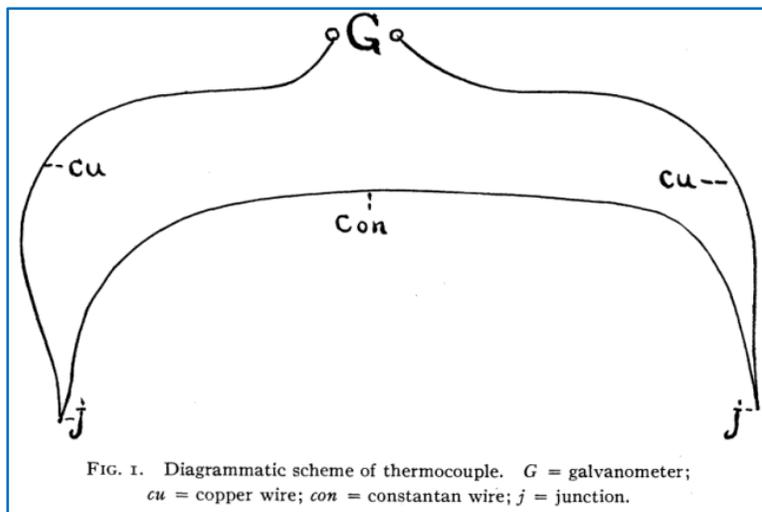


Imagen 1. Esquemas del termopar (izquierda) y termómetro (derecha). Uno de los extremos del termopar se introducía en la boca de los animales hasta el estómago (Rogers & Lewis, 1914, p. 265-266).

En el trabajo mencionado, en el laboratorio, con las distintas especies, los investigadores llegaron a la conclusión de que los animales estudiados tienen generalmente la temperatura de su entorno y en un breve tiempo se ajustan a los cambios térmicos de dicho ambiente. Estos trabajos muestran varios puntos importantes en torno a las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles en los primeros años del siglo XX.

En el primer cuarto de siglo se dio un marcado interés en entender distintos aspectos relacionados con la morfología, fisiología y evolución de los animales. En cuanto a las propiedades térmicas de los reptiles, estas fueron caracterizadas por las observaciones en campo de los hábitos térmicos de los animales en su entorno y por investigaciones en el laboratorio para analizar la temperatura corporal de distintas especies. Estos trabajos, sin embargo, no parecen contraponerse, aunque tampoco complementarse. Ambos construían su objeto de estudio desde diferentes enfoques. En el campo, el animal era parte del ambiente donde habitaba, no se consideraba como independiente de su entorno; en el laboratorio, el animal se convirtió en espécimen y en objeto de manipulación, el escenario térmico ya no es el ambiente donde habitaba el animal, sino la estructura experimental que se monta en torno a él y, sin embargo, en ambos espacios pretendían hablar de la naturaleza térmica de los reptiles. Aunque justamente la novedad del fenómeno mismo hace complicado señalar con claridad que estos dos caminos se refieran al mismo hecho. Ambos se conectaron con las características térmicas de los reptiles, sin embargo, estas aún no eran claras, no estaban definidas y por su inespecificidad se podía hablar de ellas en estos dos lugares, aunque su construcción fuera distinta.

A diferencia de las investigaciones que revisaré más adelante, donde el trabajo de campo era más cercano en su forma y ejecución al laboratorio y, por lo tanto, las fronteras entre estos dos espacios se hicieron más difusas, en este primer momento, el trabajo de campo se sustentaba principalmente en la observación y el de laboratorio en la medición y control. En este sentido, las observaciones en campo estaban permeadas por el estilo de investigación propio de los historiadores naturales de finales del siglo XIX, donde la recolecta, el registro y la observación fueron los principales métodos de indagación. Por otra parte, trabajos como los de Rogers y Lewis se insertaban dentro de una tradición experimental en el laboratorio sobre la temperatura que tuvo auge en los primeros años del siglo XX. En estos experimentos se sometía a los animales a diferentes condiciones térmicas que arrojaran información sobre distintos aspectos de la biología de los organismos. Dentro de esta tradición experimental en el laboratorio destacará, para las

investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles, el trabajo de Weese que se expone más adelante.

Esta revisión sobre los sitios de investigación muestra que hubo una distinción importante entre la investigación de campo y del laboratorio. Ambos espacios generaban sus propias formas de trabajo. Un reflejo de esto fue que los estudiosos del campo se citaron entre ellos para sustentar sus observaciones, pero no citaban los estudios del laboratorio. De la misma forma, Rogers y Lewis citaron los trabajos de fisiólogos que estaban realizando mediciones en el laboratorio, pero no los informes del trabajo de campo. En este periodo al parecer hubo dos comunidades de investigación distintas que no dialogaron entre ellas. Ambas generaron sus propias formas de trabajo. Revisando con cuidado la investigación que se estaba generando sobre la biología térmica de los reptiles, se puede ver que hay dos maneras de acercarse a lo que parecía un mismo fenómeno, que no interactuaron entre ellas y, por la naturaleza de su trabajo, iban en caminos distintos, aunque paralelos.

El recuento anterior remite a la visión clásica y polémica de la historia de la biología de finales del siglo XIX, defendida notoriamente por Garland Allen. Allen vio en este proceso de estructuración de las ciencias biológicas el paso de una empresa naturalista a una experimentalista generando una dicotomía que propone una tensión entre dos extremos¹³. Aunque en este momento del análisis parece sugerirse que hubo una distinción clara entre estas dos formas de trabajo, más bien sostengo la tesis de que durante el proceso de estructuración que tuvieron las ciencias biológicas, hubo una diversidad de formas de trabajo que no se contrapusieron y que no implicaban necesariamente el abandono de un naturalismo hacia una biología más experimental, más bien como sostiene (Churchill (1981) “...cuando comparamos entre metodologías, se puede esperar una continuidad de enfoques que van desde la observación en un extremo a los intrincados experimentos manipulativos por el otro” (p.178). De tal forma que en el abanico de

¹³ Estas nociones sobre la transformación de las ciencias biológicas en: (G. E. Allen, 1978, 1979, 1981). Algunas críticas a las ideas de Allen en los trabajos de (Benson et al., 1991) y en un número especial de *Journal of the History of Biology* vol. 14, No. 1. 1981.

posibilidades las investigaciones de campo y de laboratorio se proyectan como dos maneras de concurrir en un fenómeno que está señalado, pero que aún no está definido; y que a través de sus diferentes formas de trabajos se van entretejiendo las posibilidades para caracterizarlo. Estos trabajos sentarían parte de las bases materiales, técnicas y metodológicas para la investigación en los años siguientes. El arreglo experimental y las condiciones materiales de su producción a partir de los cuales emergería el fenómeno de la termorregulación se estaban configurando en estos dos caminos. Como se verá más adelante, la confluencia entre el trabajo de campo y del laboratorio sería más visible, de tal forma, que se generaría una zona híbrida de interacción y complementación.

Las observaciones en campo y los experimentos en el laboratorio iban señalando dos aspectos importantes. Por un lado, que los animales de “sangre fría” soportaban bien las altas temperaturas de las zonas áridas y que éstos mantenían su temperatura corporal relativamente cercana a aquella de su entorno (frío o caliente), por lo tanto, no parecían tener mecanismos para regular su temperatura. Como en toda investigación donde nuevos datos revelan aspectos de los fenómenos que no se habían visto, algunos estudiosos del tema empezaron a proponer otra forma de referirse a los animales que no generaban calor. Aunque no se ha podido rastrear exactamente quien o quienes son los primeros en utilizar otra terminología, los investigadores a finales del siglo XIX empezaron a utilizar un término, según Cowles, más técnico para referirse a los “animales de sangre fría”: *poiquilothermo* (el primer registro de esta noción está en el trabajo de Gadow, 1909). La raíz “*thermo*” se refiere, por supuesto, a la temperatura, “*Poiquilo*” significa fluctuaciones, esto es, fluctuaciones con el ambiente (Cowles y Bakker, 1977, p. 82). No sé exactamente en qué momento a principios del siglo XX este término se empezó a utilizar por parte de los herpetólogos, pero fue un concepto acuñado por el biólogo y fisiólogo alemán Karl Georg Lucas Christian Bergmann en su libro de 1847: “Ueber die Verhältnisse

der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse”¹⁴, donde desarrolló su famosa regla de Bergmann¹⁵.

Sin embargo, este cambio en el uso de los términos clásicos no fue ampliamente aceptado y hubo quien defendió la distinción clásica entre “sangre fría” y “sangre caliente”. Por ejemplo, (Sutherland, 1897) a finales del siglo XIX hizo una serie de experimentos para sostener la importancia de mantener los conceptos clásicos:

Existe desde hace varios años una tendencia a disminuir o ignorar la distinción entre dos tipos de animales, los de *sangre fría* y los de *sangre caliente*. Un número importante de escritores adoptan el hábito de hablar de ‘los así llamados animales de sangre fría’ como si el contraste fuera una creencia infundada que el incremento del conocimiento está aboliendo rápido. Sin embargo, la diferencia no sólo es real, en algunos aspectos, sino que es radical. En muy pocas, no obstante, de las clases naturales se ha encontrado una línea de demarcación tan aguda... Aunque la distinción entre los dos tipos es real, hay una línea de gradación continua entre estos dos. (Sutherland, 1897, p. 67)

Es claro que para Sutherland la utilización de “sangre-fría” y “sangre-caliente” debió mantenerse como un criterio *real* de distinción entre los animales. En su trabajo a través de una serie de experimentos (y apoyándose en otras investigaciones) sostuvo que esta distinción era fundamental para separar a los animales que mantienen su temperatura fluctuante (los de “sangre fría”) de los que la mantienen constante (“sangre-caliente”). Por otra parte, Gadow (1909) hizo la siguiente caracterización de los poiquiloterms: “Las criaturas de sangre fría que *no tienen una temperatura específica; éstas más o menos asumen aquella de su entorno.*” (p. 67-68).

¹⁴ “*Ueber die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse.* (Acerca de las condiciones de la economía de calor de los animales a su tamaño) *Göttinger Studien 1, 595-708: 613.*

¹⁵ La regla de Bergmann en términos generales señala que hay una relación entre la temperatura del ambiente donde habitan los organismos y su tamaño. Particularmente se refiere a los animales homeotermos. Mientras más frío es su ambiente la talla de los organismos que lo habitan será mayor. Esta regla fue cuestionada por diferentes trabajos a lo largo del siglo xx. *Llama poiquiloterms a aquellos animales diferentes a las aves y mamíferos que no mantienen una temperatura constante.*

Es interesante cómo Gadow definió a los poiquilotermos como animales de “sangre fría” que más o menos asumen la temperatura de su medio circundante, es decir, poiquilotermos. Según Turner, este tipo de situaciones en las cuales se veía que los reptiles podían tener temperaturas iguales a las de su entorno e incluso a veces más altas que las de los llamados “animales de sangre caliente”, hizo que los biólogos apostaran por una conveniente estrategia semántica, cambiando “sangre fría” por poiquilotermo y “sangre caliente” por homeotermo. Sin embargo, continúa Turner:

La nueva dicotomía (homeotermo vs poiquilotermo) produjo un resultado curioso. Prevalció la idea de que la regulación de la temperatura sólo concernía a los homeotermos, porque ellos tienen que mantener una temperatura corporal constante. Para los poiquilotermos el problema de la regulación de la temperatura no podía ser importante, por definición, su temperatura corporal varía simplemente con la del medio. (Turner, 1984, p. 422)

Estas afirmaciones de Turner no tienen en cuenta algo más importante dentro de la dinámica investigativa, que no sólo implica algunos cambios semánticos y a partir de éstos, nuevos conceptos que van guiando la investigación. En los arreglos experimentales se da un proceso de coproducción, entre fenómenos, términos y conceptos, es un proceso que no distingue entre estos dos aspectos y se da en un mismo movimiento. “Las prácticas y los conceptos vienen empaquetados juntos... La construcción misma de los conceptos se entrelaza con las prácticas que los hacen operativos, dándoles referencia empírica y haciéndolos funcionar como herramientas para la producción de conocimiento” (Lenoir, 1988, citado por Rheinberger, 1992a, p. 309). En este sentido, la puesta en duda de la dicotomía entre *sangre fría* y *sangre caliente* no sólo es un cambio de términos, sino un cambio conceptual resultado de una práctica de investigación donde los conceptos emergen para caracterizar nuevos fenómenos que van surgiendo en un *arreglo experimental*. El cambio en la terminología responde más a las novedades que surgen dentro de las prácticas experimentales y las observaciones de campo, que sólo por una estrategia semántica. El cambio conceptual y las implicaciones que tiene para caracterizar un hecho científico, en este caso la relación de los reptiles con su

ambiente térmico, son el resultado de la cogeneración del fenómeno y los conceptos que ahí emergen. La afirmación de Turner parece señalar que las nociones de poiquilotermo y homeotermo produjeron una forma distinta de ver el fenómeno. Sin embargo, fue a través de los arreglos experimentales y las observaciones en campo que emergieron las nuevas nociones que daban cuenta de algo distinto en la relación entre el animal y su entorno térmico, las nociones surgieron por las novedades no antes de ellas.

Por otra parte, sucede que estas nociones también son apropiadas por las comunidades científicas. Como señala Fleck (1986) "...un concepto... como cualquier otro suceso en la historia de las ideas, es el resultado del desarrollo y la coincidencia de algunas líneas colectivas de pensamiento" (p. 69). Entendiendo esta idea de *colectivo de pensamiento* como una forma de trabajo, un estilo de investigación que es adoptado por una comunidad en un momento determinado. En este sentido, los términos y conceptos que van caracterizando a los fenómenos se transmiten al interior de las comunidades y, por lo tanto, son apropiados como parte del vocabulario científico de la colectividad. Así, el cambio de términos se va difundiendo a lo largo de la red de la comunidad científica.

Como hemos revisado hasta este punto, había dos formas de investigación en torno a la biología térmica de los reptiles: las observaciones de campo y los experimentos en el laboratorio. Con base en estos trabajos se sostenía que los reptiles habitaban en las zonas más calientes del planeta, parecían soportar bien las altas temperaturas y mantenían una temperatura corporal muy cercana a la del medio que los circunda. Este era el estado de las investigaciones hasta el primer cuarto de siglo, pero éstas continuaron en las siguientes décadas diversificándose. A la par de estos trabajos, otras investigaciones se desarrollarían sobre la relación entre los reptiles y la temperatura de su entorno (más allá del trabajo de Rogers y Lewis). Un número de observaciones se empezaron a acumular y diferentes autores llamaron la atención de que la tolerancia de los reptiles al calor extremo (termofilia) no era tan universal como se pensaba. Turner señala que áreas activas de la investigación siempre están haciendo obsoletos sus propios dogmas y el estudio de

la temperatura corporal no fue la excepción, "...mientras que estas ideas simples (sobre la biología térmica de los reptiles) se estaban incorporando en los principales libros de texto, un gran número de observaciones se fueron acumulando, mostrando que eran inadecuadas" (Turner, 1984, p. 423).

Esta afirmación parece sostener una visión tipo Kuhniana sobre el cambio paradigmático en la ciencia. No es la intención de este trabajo entrar en una discusión al estilo de Kuhn. Lo que resulta importante señalar es que se estaba generando un proceso de diversificación del trabajo investigativo. Los distintos actores sostenían respuestas diferentes a un fenómeno que se estaba constituyendo en el imaginario de los herpetólogos.

1.2.- Arreglos experimentales y la temperatura corporal de los reptiles (1896-1932)

Como lo mencioné en el apartado anterior, durante las primeras décadas del siglo XX ocurrió una diversificación de las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles. En distintas instituciones, universidades y lugares, investigadores de diferentes áreas realizaban algún trabajo en el que analizaban la respuesta de estos animales a distintas condiciones térmicas. En esta sección analizaré el desarrollo de estas investigaciones, daré cuenta de la forma en que se conformaron los arreglos experimentales sobre la biología térmica de los reptiles y cómo estos arreglos darían pie a la emergencia de la termorregulación como un fenómeno central en la biología de este grupo. En este punto es importante aclarar a qué me estoy refiriendo en este trabajo con *arreglo experimental*, para ello me remitiré a la idea de *sistema experimental* de Rheinberger y después matizaré la diferencia entre su noción de sistema experimental y la noción de arreglo experimental que se utiliza en este trabajo.

Los sistemas experimentales son los dispositivos de trabajo básico de la investigación científica: "la unidad funcional más pequeña de la investigación" (Rheinberger, 1992a, 1997b, 1997a). El sistema experimental se constituye como

la unidad básica de análisis, para dar cuenta de cómo se produce el conocimiento científico tenemos que estudiar la unidad básica donde se genera. “De esta forma, si se quiere saber cómo de hecho trabaja la investigación científica uno debe iniciar con la caracterización de un sistema experimental, su estructura y su dinámica como el punto de partida de cualquier análisis” (Rheinberger, 1992a, p. 306). De esta forma, el sistema experimental se convierte en punto de orientación en la hipercompleja trama de acontecimientos que pasan en la ciencia empírica moderna. Es dentro de éste que emergen los objetos que son de interés científico y que se vuelven la parte central de indagación en el trabajo de investigación. Según Rheinberger (1997a) estos sistemas experimentales están firmemente atrincherados en la práctica diaria de los científicos. Estos los utilizan para caracterizar el alcance, así como los límites y constreñimientos de su actividad investigativa (p. 246). Por ejemplo, en su autobiografía François Jacob hace la siguiente formulación desde la perspectiva de la investigación en biología:

En el análisis de un problema, el biólogo se limita a enfocarse en un fragmento de la realidad, sobre una pieza del universo el cual él arbitrariamente aísla para definir algunos de sus parámetros. De esta forma, en biología cualquier estudio inicia con *la elección de un ‘sistema’*. Esta elección depende de la libertad para maniobrar del experimentador, la naturaleza de las preguntas que libremente hace, e incluso, a menudo, del tipo de respuesta que puede obtener. (Jacob, F., citado en: Rheinberger, 1992a, p. 306)

En este sentido, los sistemas experimentales forman el dispositivo de trabajo básico de la investigación científica “...en la cual los objetos científicos y las condiciones técnicas de su producción están íntimamente interconectadas. Son inseparables y al mismo tiempo unidades locales, individuales, sociales, institucionales, técnicas, instrumentales y, sobre todo, unidades epistémicas” (Rheinberger, 1997b, p. 2).

Al convertirse el sistema experimental en la unidad básica de análisis epistemológico es fundamental realizar una caracterización de su funcionamiento y revisar las consecuencias que tendrán para el análisis filosófico e histórico de la investigación científica. Cuando Rheinberger habla del sistema experimental como

la unidad básica del trabajo científico, se refiere a que es a partir de este sistema que se establecen las bases materiales para producir el conocimiento científico, sin embargo, el conocimiento que producirá este sistema no es algo que se conozca por anticipado. De esta forma el sistema experimental es "... un amplio arreglo experimental diseñado para producir conocimiento que aún no tenemos" (Rheinberger, 1992a, p. 309, 1997b, p. 27). Es decir, en contraste con la noción de que los arreglos y diseños experimentales surgen de una pregunta teórica o de un modelo del cual se infieren las pruebas y experimentos cruciales que confirmarán lo que la teoría ya predice, la propuesta de Rheinberger es apuntalar la idea de que los experimentos tienen vida propia, como y lo había anticipado Hacking (1983), generan conocimiento que no deriva de ninguna teoría.

Así pues, un arreglo experimental es un generador de preguntas más que de respuestas, si éste estuviera bien definido sería innecesario ejecutarlo ya que el resultado se conocería desde un principio y, por tanto, no tendría sentido (Fleck, 1979:96 citado en: Rheinberger, 1992a, p. 309, 1997b, p. 27). Los sistemas experimentales "son sistemas de manipulación diseñados para dar respuestas desconocidas a preguntas que los experimentadores aún no son capaces de formular con claridad" (Rheinberger, 1997b, p. 27). De esta forma, estos sistemas deben ser capaces de producir novedades científicas que sean reproducibles, las cuales estén "más allá de nuestro conocimiento, es decir, son generadores de sorpresas" (Rheinberger, 1997b, p. 3). Si un sistema experimental no es capaz de generar sorpresas, entonces no es de utilidad para el experimentador. Las novedades son "siempre el resultado de singularidades espaciotemporales" (Rheinberger, 1997a, p. 247). Los sistemas experimentales son justamente arreglos que permiten a los científicos generar estas novedades, esto es, obtener resultados sorprendentes. En este sentido los sistemas experimentales son concebidos como "...máquinas para hacer el futuro..." (Jacob, 1988, citado en: Rheinberger, 1997b) De esta manera, son "dispositivos para *materializar preguntas, cogeneran los fenómenos o entidades materiales y los conceptos que encarnan*" de tal forma que "...prácticas y conceptos vienen empaquetados juntos" (Rheinberger, 1992a, p. 309, 1997b, p. 28). Este punto es central sobre esta noción, no hay una separación clara

ni prioridades en cuanto a la relación entre los fenómenos y los conceptos, ambos elementos se co-generan en un mismo movimiento, en un mismo espacio de indagación, ambos se entrelazan en unísono durante el trabajo de investigación.

La posibilidad de los sistemas experimentales de producir novedades está en su capacidad de reproducción diferencial:

Diferencia y reproducción son los dos lados de una misma moneda; su interacción da cuenta de los cambios y desplazamientos dentro del proceso investigativo. Para ser productivos, los sistemas experimentales tienen que ser organizados de tal forma que la generación de diferencias se convierta en la fuerza motriz reproductiva de toda la maquinaria experimental. (Rheinberger, 1997b, p. 3)

De esta forma, nos dice Rheinberger que estos sistemas son más reales que la realidad ordinaria. La realidad de los objetos que genera (objetos epistémicos) está en “su resistencia, su elasticidad, su capacidad como “jokers” de la práctica, para obligarnos a abandonar preconcepciones y anticipaciones” (Rheinberger, 1997a, p. 247).

Como lo señaló Polanyi (1964) “Esta capacidad de un objeto para revelarse de formas inesperadas en el futuro. Lo atribuyo al hecho de que el objeto observado es un aspecto de la realidad, posee una significancia que no es exhaustivo para nuestra concepción de cualquier aspecto singular de esta. Para confiar en que un objeto que conocemos es real es, en este sentido, sentir que tiene independencia y poder para manifestarse en formas aún no pensadas en el futuro”. (Citado en: Grene, 1974, p. 219)

De esta forma, los sistemas experimentales se constituyen como la unidad funcional básica de trabajo de la investigación científica (Rheinberger, 1997b, p. 306). Entender cómo funciona esta unidad mínima de investigación permite dar cuenta de la construcción del conocimiento científico. En un nivel epistemológico es necesario, como lo señala Bachelard (1966), una “filosofía del detalle epistemológico” contrario a lo que denomina “la filosofía integral de los filósofos” (Citado en: Rheinberger, 1997b). En este sentido, Rheinberger menciona que analizando adecuadamente los detalles y las particularidades de las prácticas “más

allá de imponer limitaciones a nuestro conocimiento, son requisitos previos para alcanzar y proporcionar los medios mismos del conocimiento científico” (Rheinberger, 1997a, p. 246,247). Es justamente en la conformación detallada de los sistemas experimentales que los eventos científicos se materializan y toman forma, esto es, son creados.

Los sistemas experimentales son el espacio básico de producción de conocimiento en el laboratorio, es justo en este sistema como unidad mínima de investigación, que emergen los objetos que son el objetivo de investigación, los llamados “objetos epistémicos”. Son sistemas de manipulación designados a dar respuestas sobre preguntas que aún no han sido formuladas completamente. Éstos no son simplemente dispositivos experimentales, generadores de respuestas “son vehículos para materializar las preguntas”. Por lo tanto, un sistema experimental es un arreglo que no está dado desde un inicio, arribar a él es un proceso laborioso. Es a partir de la confluencia, en contextos específicos, de distintas y múltiples prácticas, de instrumentos, de técnicas, de modelos, etc., que, en la complejidad de la empresa científica, los sistemas experimentales crean los objetos que son de interés epistémico. Estos objetos son de interés por su opacidad, porque aún no sabemos suficiente de ellos, porque aún no se integran en la estructura de objetos que podemos conocer y porque aún no forman parte de nuestra tecnología. De éstos es de los que hablaré a continuación.

Lo interesante del caso que presento aquí es que la termorregulación es un fenómeno que se genera en estrecha relación con un arreglo experimental, en este trabajo me refiero a los sistemas experimentales como arreglos experimentales. La diferencia estriba en que un sistema hace referencia a una configuración con estructuras más intrincadas, los elementos tienen una relación muy fina de concatenaciones. En el caso que nos ocupa, la variabilidad de los sitios de investigación no permitiría una estructura tan finamente organizada. Por ellos hablo de arreglos experimentales como estructuras más flexibles en la relación entre sus componentes, que permiten un abanico más amplio de configuraciones dependientes de las particularidades del trabajo del campo, en contraste con las

prácticas de investigación en los laboratorios. Por lo tanto, el arreglo experimental no se da privilegiadamente en el laboratorio sino en el campo, en este caso, en el desierto. Mi análisis se centrará en los aspectos materiales de la producción científica pero también en el sitio, el desierto, que los hizo posibles. Analizar cómo se configuraron los procedimientos, prácticas, métodos, técnicas e instrumentos en la producción de hechos científicos; cómo a partir de la confluencia del arreglo experimental, el trabajo de los científicos y el sitio donde se realiza la investigación se constituye un *escenario epistémico*, es decir, la confluencia de estos tres elementos que generan el espacio de investigación a partir del cual emergen los objetos científicos. Cómo los objetos epistémicos se manifiestan en los rastros e inscripciones del arreglo experimental de tal forma que se genera, además, un espacio de representación material y conceptual dentro del mismo escenario epistémico; cómo se va cogenerando un repertorio conceptual que emerge junto con los objetos científicos para definirlos y caracterizarlos; cómo estos arreglos experimentales se van reproduciendo y cambiando. Estas preguntas son a las que pretendo responder en esta tesis. Todo esto constituiría la *cultura material* que será la base de las investigaciones ulteriores, donde el arreglo experimental se modificará y dará paso a otros posibles objetos epistémicos.

Como lo señala Rheinberger (1992a, p. 309) los sistemas experimentales son dispositivos para materializar preguntas, los cuales restringen (gracias al arreglo técnico) las posibles respuestas que pueden generarse. Los arreglos experimentales sobre la biología térmica de los reptiles son un buen ejemplo. En 1944 Cowles y Bogert señalaban que, si se pensaba que los reptiles preferían temperaturas considerablemente altas como aquellas normalmente encontradas en su ambiente, entonces, una de las preguntas centrales que quedaban por responder era: ¿Cómo se las arreglaban para sobrevivir en ambientes donde la temperatura a veces excede el límite letal conocido para otros vertebrados?

El trabajo experimental en el campo (y en menor medida en el laboratorio) sobre la biología térmica de los reptiles fue muy importante porque permitió realizar observaciones detalladas de la relación entre los cambios de temperatura y el efecto

que causa en los animales. Asimismo, implicó utilizar distintos instrumentos, crear técnicas de medición, técnicas de manejo y manipulación de animales (considerando sus características particulares). En la mayoría de estos trabajos se recolectaban animales de su medio natural y se llevaban a las universidades o centro de investigación para someterlos a distintas condiciones dentro de un laboratorio o en un espacio controlado. Esto generó una forma de trabajo característica de la investigación sobre la temperatura. Quizá era la única forma de indagar este fenómeno en particular, de tal manera que produjo un estilo de investigación propio, dirigido, pero a su vez constreñido por dos elementos: 1) Por un lado los aspectos materiales y técnicos con los cuales se contaba y determinaban la capacidad de medición y la precisión de la información sobre la temperatura y; 2) los constreñimientos del trabajo con animales: los organismos que se pudieran emplear y las dificultades que implicara su manejo.

Este estilo de trabajo se fue conformando a la par de la propia investigación y de las necesidades que cada proceso experimental requiriese. Se constituyó en una forma de investigación que se insertó dentro de la tradición experimental de los estudios fisiológicos y del comportamiento en la biología en los primeros años del siglo XX. El trabajo en el laboratorio donde se manipula a los animales para someterlos a distintas condiciones ambientales como: temperatura, humedad, presión atmosférica, entre otras, y cuantificar su respuesta, incorporando nuevos métodos, técnicas e instrumentos, forma parte del desarrollo de la biología como ciencia experimental a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX en Estados Unidos¹⁶. Esta forma de acercarse al problema de la relación térmica entre los animales y su entorno arrojó otra imagen sobre la biología térmica de los reptiles que no se había considerado anteriormente. Los desarrollos experimentales de distintos investigadores se enfocaron en dar cuenta de la *similitud térmica* entre los reptiles y su entorno (poiquilotermia) y del grado de *tolerancia* de los reptiles a temperaturas extremas.

¹⁶ En este trabajo no se abordará la discusión sobre el desarrollo de la biología durante este periodo. Para una revisión más detallada de este complejo proceso revisar: (Benson et al., 1991; Rainger, Benson, y Maienschein, 1988).

Hay muchos trabajos, pero en esta sección se señalarán los más sobresalientes. Ya que son los más citados en la literatura, porque su trabajo tuvo influencia importante en las investigaciones ulteriores y, a partir de ellos se generó una forma de trabajo que se fue reproduciendo más adelante. Los trabajos pertenecen a los siguientes investigadores:

Tabla 1. Investigadores en los primeros años del siglo XX que realizaron trabajos sobre la biología térmica de los reptiles.				
Investigador	Universidad	Investigación	Laboratorio/ca mpo	Año
Baldwin, Francis Marsh Fisiólogo	Iowa State College, Ames.	La relación entre la temperatura del cuerpo y la del ambiente en Tortugas	Laboratorio	1925
Grinnell Joseph ¹⁷ Zoólogo y Naturalista	Museum of Vertebrate Zoology University of California Berkeley	La biota de las montañas de San Bernardino, California.	Campo	1908
Sutherland, Alexander Fisiólogo	Fisiólogo	La temperatura de los reptiles, monotremas y marsupiales.	Laboratorio	1896
Arthur S. Pearse Ecólogo	Duke University.	Aspectos fisiológicos y ecológicas de los Homeotermos.	Laboratorio	1928
Reese, Albert M. Zoólogo	West Virginia University.	Todo lo relacionado con los Cocodrilos americanos.	Laboratorio/ campo	1923
Benedict, Francis Gano Químico y fisiólogo.	Harbor Station of the Carnegie Institution	Aspectos fisiológicos y metabólicos de los reptiles.	Laboratorio	1932
Weese, Asa Orrin	University of Illinois	Estudió los efectos térmicos en los reptiles de las zonas áridas de California	Laboratorio/ Campo	1916- 1919.

¹⁷ Joseph Grinnell “desarrolló la teoría de los ‘nichos ecológicos’ publicada en 1924 la cual ha demostrado ser uno de los principios organizadores de la naturaleza” (Zoology, 2015a).

Dentro de estos autores, Baldwin fue quien realizó una revisión de los trabajos previos que habían hecho observaciones sobre la relación de la temperatura corporal y el ambiente en poiquilotermos. En las que serían las primeras mediciones sobre la temperatura corporal de las tortugas, Walbaum (1782) observó que la diferencia de temperaturas de los animales con su entorno era de 1° o 2° y fluctúa con el mismo; Milne y Edwards (1863) después de haber revisado algunos trabajos concluyeron que la temperatura corporal varía poco con respecto a la del ambiente y esta no excedía los 4°C; Rogers y Lewis (1916) observaron las fluctuaciones en la temperatura corporal de dos vertebrados: peces (goldfish) y anfibios (salamanders). Concluyeron que ninguna de estas formas tenía mecanismos para producir o perder calor. En contraste, las observaciones de Valenciennes (1841) corroboradas después por Sclater (1862), señalaron que cuando el pitón hembra se enrosca para incubar sus huevos podía incrementar su temperatura corporal con una diferencia entre la hembra y el macho de 10°C y hasta 20°C por arriba del aire circundante¹⁸. Estos trabajos eran parte de los primeros indicios que hay en la literatura sobre la medición de la temperatura en animales¹⁹. Aunque no sabemos (sólo en el trabajo de Rogers y Lewis) cómo se arribó a estas conclusiones, es evidente que se realizaron mediciones y manipulaciones para definir la diferencia o similitud de la temperatura.

En el campo, otros investigadores dieron cuenta de que los animales no tenían una tolerancia tan notoria a las altas temperaturas. En sus observaciones sobre la biota de las montañas de San Bernardino en California, Joseph Grinnell (1908)²⁰ registró la muerte de una serpiente cuando la puso en un área abierta a la luz directa del sol. Para tomarle una fotografía la colocó en un lugar sin permitirle escapar de la radiación. Señala que al parecer la serpiente murió por insolación "...la serpiente

¹⁸ Todas las citas son extraídas de (Baldwin, 1925b).

¹⁹ Arriba ya se señaló que Rogers y Lewis también citan varios trabajos durante el siglo XIX donde se hacen manipulaciones y mediciones para conocer la temperatura de los animales.

²⁰ Joseph Grinnell fue el primer director del Museo de Zoología de Vertebrados en la Universidad de California Berkeley en 1908. Grinnell se distinguió por hacer un estudio intenso de la fauna de California a partir del método de observación de campo que desarrolló. Acumuló un importante registro de la distribución e historia natural de aves, mamíferos, reptiles y anfibios respaldado con especímenes, fotografías y notas de campo (Zoology, 2015a).

se quedó quieta de repente, empezó a abrir la boca varias veces y se puso tensa... parece haber sufrido insolación por haber permanecido en el sol" (Grinnell, 1908, p. 166). Esto se consideró inusual ya que se creía que las serpientes toleraban muy bien la radiación solar. En contraste con las observaciones en campo que ya se revisaron antes, aquí hay una diferencia importante, Grinnell no sólo vio la conducta de los animales en campo, sino que los manipula. Esto marcó una distinción clara que más adelante analizaremos, donde *el campo ya no fue sólo el espacio para recolectar y observar, también era un espacio en el que se pueden hacer experimentos*. El caso de Grinnell resulta interesante porque quizá fue uno de los primeros investigadores que implementó un protocolo detallado para el registro de las observaciones de campos de la fauna silvestres llamado "*método Grinnell*". Su trabajo incluyó un catálogo de captura de especímenes, un diario donde se detalló el comportamiento de los individuos para cada especie, mapas topográficos de la localización y fotografías de los sitios de recolecta y de los animales capturados. Además, anexó materiales para documentar parámetros bióticos y abióticos como condiciones climáticas, tipos de vegetación, vocalización y otras evidencias de la presencia de los animales en una dada localización (Zoology, 2015b). En suma, Grinnell desarrolló otro tipo de observación que incluía no sólo ver al organismo, además una revisión detallada de las condiciones entorno al animal. De esta forma la observación ya no solo es ver, es registrar, recolectar, medir, ver-cómo. Grinnell fue uno de los primeros investigadores que hace trabajo en el campo, pero generando experimentos.

Sin embargo, fue en el laboratorio donde se empezaron a producir los arreglos experimentales que dieron forma a la investigación posterior sobre la biología térmica de los reptiles. Los trabajos se fueron diversificando y reproduciendo. Una de las vetas de esta investigación está en los arreglos experimentales que buscan analizar la relación entre las fluctuaciones de la temperatura del medio (aire circundante) y los reptiles. (Sutherland, 1897, p. 68) elaboró un experimento para ver la relación entre las fluctuaciones de temperatura en un medio (donde se colocó un animal) y el animal (reptiles, marsupiales y monotremas). En un pequeño tanque con agua sumergió a los animales de tal forma que sólo su nariz sobresaliera y

generó fluctuaciones en la temperatura del agua (por medio de una o más lámparas) para ver los cambios de temperatura de los animales en relación con los del agua. Aunque sus resultados arrojaron que en general los reptiles tenían una temperatura análoga a la del agua, mostró que los lagartos de la familia *Agamidae* aumentaban ligeramente su temperatura corporal cuando incrementaban su actividad.

Por su parte (Baldwin, 1925b) realizó una serie de experimentos con tortugas (*Chrysemys marginata* y *Chelydra serpentina*). Igual que en las investigaciones precedentes, le interesaba la relación entre los cambios térmicos del medio circundante y las tortugas. Para su trabajo experimental colectó estas especies de diferentes partes en el lago Okoboji en Iowa, EU. Baldwin realizó pruebas experimentales para diferentes gradientes térmicos (fluctuaciones de la temperatura corporal en un rango no crítico, en frío y en caliente) y en diferentes medios (aire y agua). Además, registró el peso de cada tortuga. El uso de estos criterios no queda claro del todo en el trabajo de Baldwin, cuando hablaba de temperaturas en un rango no crítico hacía referencia a variaciones térmicas en el medio circundante sin un instrumento que aumente o disminuya drásticamente la temperatura (entre 10 y 27 °C). En los otros dos casos utilizó medios como hielo o lámparas de alcohol para generar gradientes térmicos con temperaturas por debajo o por arriba de este rango no crítico, alterando drásticamente la temperatura corporal de las tortugas.

El procedimiento experimental (con ligeras variaciones según el caso) consistió en mantener en una posición fija a las tortugas para registrar la temperatura del espacio donde se puso, del medio circundante (aire o agua), la temperatura corporal de cada individuo (**imagen 2**) y el intervalo de tiempo en que se hizo cada registro. Durante estas mediciones notó, al igual que Sutherland, que la actividad de las tortugas podía considerarse como un elemento en la variación de la temperatura corporal de los animales. Por último, antes de hacer sus registros realizó 40 observaciones preliminares que le podían dar indicios sobre el comportamiento de las tortugas al cambio térmico.

En sus resultados Baldwin registró que a temperaturas alrededor de 26.5°C las tortugas acuáticas presentaban signos de malestar agudo y que una exposición

prolongada a temperaturas de entre 39° y 40.4°C generalmente eran letales. En otro trabajo señaló que las tortugas de las mismas especies del experimento anterior podían sobrevivir en ambientes muy calurosos porque la evaporación de la piel ayudaba a reducir la temperatura de su cuerpo (Baldwin, 1925a).

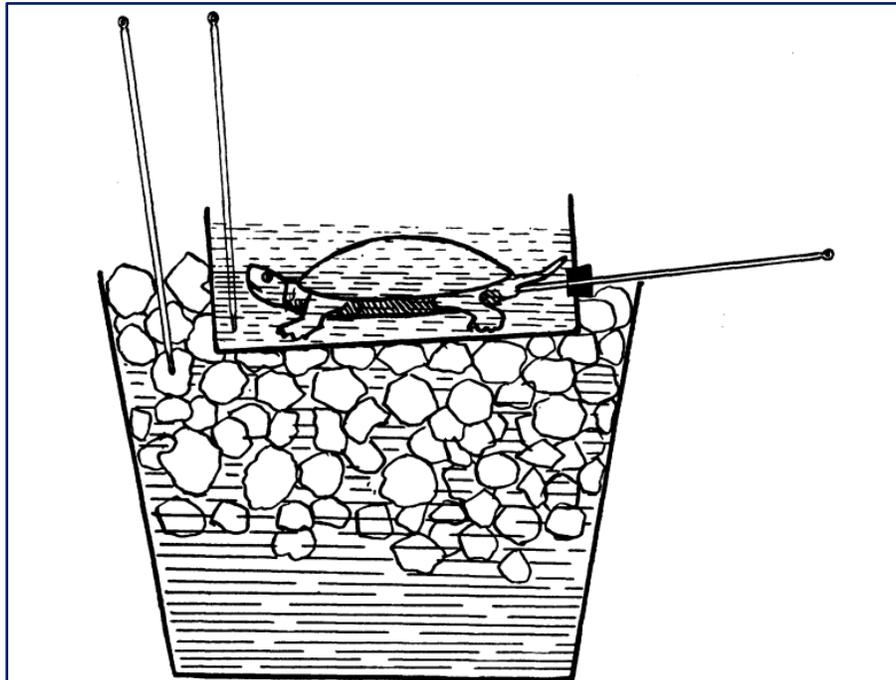


FIG. 1. Diagram of relationships of the apparatus used in cooling experiments. The animals were made fast by clamp in the smaller container surrounded by water, and this subjected to an ice bath. Temperatures were read from the three thermometers shown.

Imagen 2. Diagrama donde se muestra el aparato que utilizó Baldwin para hacer las mediciones de la temperatura en el agua (Baldwin, 1925b, p. 434).

En otro trabajo, Pearse y Hall (1928, pp. 20–21) reprodujeron los experimentos de Baldwin para ver el efecto del flujo sanguíneo en la temperatura corporal de los animales poiquilotermos. Para ello se sumergió a tortugas (no señalan las especies) en un baño de agua a temperatura constante. La temperatura del animal fue tomada con un termopar colocado en la cavidad abdominal, muy cerca del centro del cuerpo. El agua estuvo en constante circulación y el animal se mantuvo quieto. La tortuga pesó 278 gramos. El experimento consistió en poner a la tortuga en un baño de agua a una temperatura 10°C más alta que otro baño de agua donde después se

colocó a la tortuga para evaluar la tasa de transferencia del calor del animal al medio circundante. Las temperaturas absolutas se leyeron con un termómetro de mercurio calibrado una centésima de grado centígrado. Las diferencias de temperatura se determinaron con un termopar tipo T (cobre-constantán)²¹. El experimento se repitió con la misma tortuga, pero muerta para ver la diferencia en la transferencia de calor cuando ya no había flujo sanguíneo. Con estos experimentos se encontró que las tortugas vivas se enfrían más rápidamente que las muertas. De tal forma que no sólo la evaporación, también el flujo sanguíneo influía en la temperatura corporal de los reptiles.

En otro experimento Reese (1923) colocó a seis cocodrilos juveniles un espacio con tres recipientes poco profundos rodeados de una pared de madera para evitar que escaparan los animales. Cada recipiente contenía agua hasta alcanzar 5cm sobre la superficie del recipiente con temperaturas de: 10°C, 25°C y 40°C respetivamente. Realizó observaciones por intervalos de quince minutos cuidando no alterar a los animales para ver cuál era la temperatura del agua que preferían. Encontró que bajo estas condiciones los cocodrilos tenían una distintiva preferencia por la temperatura de 25°C, una menor preferencia por la de 40°C y aún menos por la de 10°C. Respecto de su trabajo, Reese mencionó que las condiciones bajo las cuales desarrolló las observaciones fueron *artificiales*, en el sentido de que no las realizó en los lugares donde habitaban los cocodrilos. Pero pensaba que esta artificialidad no era tan problemática porque estos animales son poco activos:

Se sabe que las condiciones bajo las cuales se realizaron las observaciones fueron *artificiales*, pero es posible que las condiciones de artificialidad hicieran menor diferencia con tal animal [el cocodrilo con movimiento lento] que con un animal más sensitivo y activo. (Reese, 1923, p. 51)

Reese consideró que los resultados de su experimento eran adecuados porque parecían reflejar las preferencias de los cocodrilos en su hábitat. Este problema con la artificialidad en las investigaciones sobre la biología térmica en los reptiles no fue

²¹ Es un tipo de termopar para temperaturas de -200 a 350 °C. Se utilizan para hacer mediciones diferenciales y son muy sensibles a los cambios térmicos.

exclusivo de Reese, más adelante se verá que otros investigadores tenían este mismo conflicto. Veremos que esto tiene que ver con la formación de los investigadores y con la forma en que se acercaban a su trabajo de investigación. Si bien, el trabajo de Reese puede considerarse como parte las prácticas de investigación que se realizaron en laboratorios, su formación, su conocimiento de los cocodrilos le generaban esta suspicacia respecto de la forma en que desarrolló estas observaciones. Reese fue profesor de zoología, en la University of West Virginia, sus investigaciones giraron en torno a la anatomía y embriología de cocodrilos. Además, pasó un tiempo importante en el campo en Florida aprendiendo sobre los cazadores y granjeros de cocodrilos (Grigg y Kirshner, 2015). Finalmente, Reese también fue un herpetólogo de campo, entendió que la mejor forma de estudiar la naturaleza y ecología de los organismos era dentro de su hábitat, no obstante, sabía que el trabajo en el laboratorio era la mejor forma de realizar las observaciones detalladas sobre el comportamiento. Reese es parte del grupo de investigadores que consideraban el trabajo de campo como la forma más adecuada de indagar fenómenos que ocurrían fuera de los laboratorios y que no se podían recrearse al cien por ciento por su propia naturaleza.

Para Cowles y Bogert (1944) los experimentos de Reese eran menos concluyentes, pero no por ello poco ilustrativos del punto óptimo de la temperatura preferido por los cocodrilos que podría oscilar entre los 25° y 40°C. En una exhaustiva serie de experimentos Benedict (1932) concluyó que la temperatura corporal de los pitones era afectada por influencias tan diversas como la temperatura del aire y del sustrato, la historia térmica previa del animal y su recinto, el flujo de aire, humedad relativa, el estado digestivo antes de la actividad locomotora, el estado emocional y/o postura de la serpiente y la cantidad y el tipo de manejo (la manipulación que se hacía del organismo en el momento de su captura).

Como lo muestran estos trabajos, las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles se encontraban configurando el *espacio experimental* donde el fenómeno térmico se iba produciendo y tomando forma. En estos arreglos se

construyeron aparatos para ver la relación entre la temperatura del animal y el medio que lo circunda, los contenedores de agua con lámparas o cualquier otro dispositivo que cambiara la temperatura del medio donde se mantiene a los animales fijos en ciertas posiciones, o los dispositivos que generaban gradientes. Además de estos dispositivos estaban los instrumentos de medición que producirían los datos sobre los cambios térmicos: los termómetros de mercurio, los termopares tipo T. Estos instrumentos eran las tecnologías producidas en sistemas experimentales anteriores, convertidos en ese momento en la maquinaria técnica para producir otros objetos epistémicos. El despliegue material-técnico se dio a través de la ejecución de diferentes tipos de técnicas: técnicas para la medición de los animales, del medio, técnicas de manipulación, de registro de la temperatura. De esta forma los objetos epistémicos se generaron en un ambiente de estándares y control a través de la maquinaria en acción de dispositivos, instrumentos y técnicas.

Las configuraciones de estos arreglos experimentales implicaron además el desarrollo de un nuevo vocabulario que definía y limitaba el universo de elementos en los arreglos. Se hablaba de medición de temperaturas, del medio, del animal, de aparatos experimentales, de instrumentos de medición, de gradientes térmicos, de registro de temperaturas, etc. Fue el recurso retórico a partir del cual se iba hilvanando un lenguaje que daba cuenta del trabajo experimental, la nomenclatura para hablar sobre el objeto que se estaba investigando y para generar comunicación entre una comunidad científica particular, la que estudiaba la biología térmica de los animales.

A la par de esta nomenclatura para hablar sobre el arreglo experimental, se generó otro tipo de estructura conceptual que nació durante el despliegue experimental para caracterizar los objetos que estaban surgiendo. En las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles se empezaron a utilizar nociones como: temperatura corporal, malestar agudo a temperaturas altas, temperatura letal, temperatura del entorno preferida por el animal o punto óptimo. Esta estructura conceptual se convirtió en el modo de representación de los fenómenos térmicos de los reptiles en términos de sus registros térmicos. Esta

estructura conceptual se coprodujo con los objetos que capturaba y evolucionaría junto con los objetos que ayudó a definir.

Los trabajos que he revisado además revelan algo central en la dinámica investigativa, el carácter reproductivo que tiene el arreglo experimental en conformación. Los experimentos de Sutherland, Balwin, Pearse y Hall, y Reese, reprodujeron técnicas, procedimientos de manipulación y control de los animales, dispositivos e instrumentos. Cabe señalar que no se habla de reproducción en sentido de replicación, es decir, que los experimentos fueron replicados para comprobar un hecho o teoría. Más bien se habla de esta reproducción diferencial propia del sistema experimental que lo hace productivo. Que un sistema experimental se mantenga trabajando depende de su reproducibilidad diferencial: “la coherencia en el tiempo de un sistema experimental es creada por la *reproducción*. Su desarrollo depende de generar *diferencias* sin destruir su coherencia reproductiva” (Rheinberger, 1992a, p. 322 *itálicas en el original*). En este sentido se señala que no hay una suerte de replicación, confirmación o refutación, sino un proceso de formación de un arreglo experimental que se va diversificándose en su reproducción.

1.3.- Los gradientes de Weese, el campo y el laboratorio

En el laboratorio de zoología de la Universidad de Illinois y bajo la dirección y supervisión del profesor Victor E. Shelford, el entonces estudiante de Doctorado Asa Orrin Weese fue uno de los primeros en hacer investigación sobre el efecto de la temperatura en los reptiles de las zonas áridas del suroeste de los Estados Unidos (entre 1916 y 1919). Weese centró su atención particularmente en las especies del género *Phrynosoma* (*P. modestum*; *P. dougrassii*; *P. cornutum*) habitantes conspicuos de las zonas áridas de Nuevo México y la región alta del desierto de Sonora en México (Weese, 1917, 1919). Weese se graduó en la Universidad de Minnesota en 1909 y en los veranos hacía estancias académicas en la Universidad de California, Chicago e Illinois. Fue miembro del departamento de biología en la

Universidad de New Mexico de 1911 a 1922. Se trasladó con Shelford a la Universidad de Illinois donde obtiene su Grado de Maestro y Doctor en 1917 y 1922 respectivamente. Seguramente por influencia de Shelford, Weese se interesó en la ecología de las comunidades y sucesión a lo largo de su carrera (Hoff, Sharp, y Moore, 1956; Richards, 1956).

Es importante resaltar el tipo de investigación que realizó Victor E. Shelford por la influencia que tendría en el trabajo de Weese. Shelford, formado en la Universidad de Chicago, fue considerado el fundador de la moderna ecología animal y una figura central en el desarrollo de esta área en los primeros 15 años del siglo veinte en la Universidad de Chicago. Shelford se adhirió a la aproximación fisiológica para el comportamiento y la morfología defendida por Loeb, Jennings y Child. Shelford se interesó en estudiar la dinámica de las comunidades animales y la respuesta funcional para arribar al entendimiento de la distribución de los organismos dentro de su ambiente. Para legitimar su campo, se apoyó en la fisiología experimental. Dirigió una serie de tesis doctorales que intentaron correlacionar la historia fisiológica de una especie con su distribución en la vida salvaje. Allen, uno de los estudiantes de Shelford hizo importantes contribuciones en este campo (Benson, Maienschein, & Rainger, 1991, pp. 168–169). Shelford siempre mantuvo un especial interés en el desarrollo de métodos y la fabricación de equipamientos para analizar las respuestas fisiológicas y de comportamiento de animales terrestres y acuáticos, realizó mediciones sobre el efecto de la temperatura, humedad relativa, pH, corriente eléctrica, oxígeno y contaminantes del agua (En el vivario de la Universidad de Illinois estaban sus cabinas de simulación climática). Sus ideas, equipamientos y métodos fueron publicados en el libro *Laboratory and Field Ecology* de 1929. La gran influencia que tuvo en el campo se refleja en muchos de los trabajos de sus estudiantes. Fue profesor en la Universidad de Illinois desde 1914 hasta su jubilación en 1946 (America, 1955; Kendeigh, 1968).

Siguiendo la tradición desarrollada por Shelford en Chicago, en su trabajo experimental con las especies de *Phrynosoma*, Weese examinó las distintas reacciones de estos reptiles a diferentes condiciones ambientales (alimento, agua,

luz, temperatura, etc.). Tuvo especial interés en entender cómo este conjunto de factores ambientales determina la distribución de los lagartos y su actividad diaria. De importancia para este trabajo son sus investigaciones sobre los efectos de altas temperaturas en las especies del género *phynosoma*. Weese dividió su trabajo experimental en dos partes: 1) realizó cuidadosas observaciones de los phynosomas en campo para describir su comportamiento respecto de los cambios térmicos y, 2) en condiciones controladas de laboratorio y con complejos equipamientos sometió a los phynosomas a distintas condiciones ambientales para analizar su efecto sobre los organismos. Se analizan por separado estos dos puntos.

Respecto del efecto térmico en la actividad diurna, Weese realizó una serie de observaciones sobre el comportamiento de *Phynosoma*: estos reptiles no eran, esencialmente, animales que soportaran el calor, aunque toleraban bien las condiciones del desierto. Eran más abundantes en los primeros meses del verano y durante la temporada de lluvias del otoño cuando la temperatura del aire no excedía los 32°C y la temperatura del sustrato no superaba los 38°C. Durante este periodo los animales se movían activamente a lo largo del día, pasando las noches en rincones protegidos dentro de la vegetación, en las madrigueras de otros animales o enterrados bajo la superficie del suelo. A medida que la temperatura máxima diaria aumentaba, se activaban más temprano por la mañana y en las tardes, cuando el calor era menos intenso. Durante la parte más caliente del día los lagartos estaban en reposo, enterrados bajo la capa superficial del suelo. Esta posición la lograban de una manera característica: dirigían el hocico hacia abajo y se movían rápidamente de un lado a otro, el cuerpo lo mantenían aplanado, mientras que las patas se movían rápidamente arañando horizontalmente. El resultado neto de esta serie de acciones era cubrir sus cuerpos con la tierra suelta. La profundidad variaba según la temperatura, la naturaleza del suelo, los individuos y otras condiciones externas. Cuando la temperatura era particularmente alta, los phrynosomas se escondían bajo la protección de una sombra de la vegetación circundante, debajo de una roca o definitivamente en alguna madriguera (Weese, 1917, p. 100, 1919, p. 36). Cabe resaltar que la descripción de la reacción de los

reptiles al cambio de temperatura se realizó por medio de observaciones de campo del organismo, dentro de su entorno. Weese realizó un registro de las temperaturas tanto en el aire como en el sustrato, aunque en su trabajo no menciona cómo las realizó.

Las observaciones sobre el comportamiento de los reptiles en su hábitat, respecto de las condiciones térmicas del ambiente, empezarían a tomar importancia para la investigación sobre la biología térmica en los reptiles. Observaciones como las de Weese en principio caracterizaban los efectos térmicos en el comportamiento y actividad de los reptiles. Esta caracterización se distinguió de las observaciones mencionadas antes (Gadow, 1909; Camp, 1916; o Buxton, 1923) en dos aspectos: 1) la descripción era amplia y rica en detalles, una observación *entrenada* por medio de la cual se podían diferenciar los comportamientos producidos por los efectos térmicos de otros relacionados con el forrajeo, la reproducción, la depredación, etc. Esta observación entrenada requería el desarrollo de cierta habilidad con base en la experiencia de ver-como, aprender a observar. Esta idea va de la mano con la noción de “being experienced” que retoma (Rheinberger, 1992a, p. 322) de Fleck. Este ‘being experienced’ significa apropiarse de una destreza en el desarrollo de una práctica, en el proceso de ejecutar un trabajo. La observación en este sentido se caracteriza como una habilidad que se adquiere en la práctica para señalar algo sobre un hecho que se observa. Es una destreza que sólo se adquiere por medio del constante entrenamiento; 2) la observación no era ingenua, no era un ver por ver, sino que se buscaba relacionar el comportamiento del animal con la diferencia de temperaturas del ambiente donde vivía. Pero esto no es la idea clásica de la carga teórica de la observación de la filosofía de la ciencia, aquí no hay una teoría que guíe la observación, lo que se pretendía era ver la relación entre dos variables: las variaciones de la temperatura y el efecto de dicha variación en el comportamiento de los reptiles en su hábitat. La observación estaba mediada por un instrumento de medición. Se medía la temperatura ambiental y se relacionaba con el comportamiento del animal, ya no era sólo ver al animal en su medio, fue verlo a través de un parámetro de comparación como elemento que guía la observación. Medir la temperatura del ambiente y señalar el comportamiento de un

animal respecto de esta temperatura era una observación dirigida y mediada por un instrumento.

Es importante mencionar que el hecho de que Weese hiciera estas observaciones en campo respondió a varios aspectos del entorno científico que lo envolvían. Lo influyó la relación con Shelford y su estancia en el laboratorio de fisiología ecológica de la Universidad de Illinois. A lo largo de su carrera Weese se interesó por dos grandes temas: la ecología de las comunidades y la sucesión. En la segunda década del siglo XX Shelford impulsó la construcción de un vivario en la Universidad de Illinois. Este espacio se caracterizaba por mantener a los animales vivos en condiciones lo más cercanas a su hábitat, pero con los elementos básicos para las prácticas experimentales²². En 1913 se construyó el vivario, sin embargo, no fue desarrollado por completo y muy pronto se transformó en el laboratorio de fisiología ecológica. Entre 1900 y 1913 algunas universidades²³ iniciaron un proceso de construcción de vivarios con el objetivo de generar un espacio donde se pudiera mantener a los animales vivos en condiciones naturales, con los elementos experimentales básicos (Kohler, 2002a, pp. 51, 158). Estos espacios tuvieron una vida corta, no obstante "...vívida y concretamente encarnaron la geografía cultural de la nueva historia natural... suavizaron la distinción entre la cultura del campo y del laboratorio" (Kohler, 2002a, p. 51). Esta tendencia de establecer sitios de investigación en los espacios naturales inició desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX. De Bont (2015) examina la historia temprana de las estaciones de campo que se establecieron en Europa como la estación zoológica Anton Dohrn en Nápoles, entre otras. Revisa cómo los grupos de zoólogos generaron nuevas formas de estudiar la naturaleza estableciendo sitios novedosos de investigación que pretendían acercar la parafernalia del laboratorio a los sitios naturales para estudiar en las condiciones más cercanas posibles a su entorno a los animales. Lo que sería denominado después como *place-based research*. El vivario de la Universidad de

²² El libro de De Bont, R. (2015). Realiza un análisis detallado de las estaciones de campo donde el trabajo de laboratorio se pretendió llevar al campo.

²³ Kohler (2002a, p. 48) señala que al menos hubo tres esfuerzos importantes por construir vivarios en las primeras décadas del siglo XX, en la Universidad de Pennsylvania (1900), Princeton (1910) e Illinois (1913). Otros más modestos en la Universidad de Wisconsin y Chicago.

Illinois es un proyecto de este tipo. Este impulso por establecer un vínculo entre el campo y el laboratorio se difundió en las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles, no sólo en el trabajo de Weese, sino además en los trabajos de sus colegas años después en UCLA.

A la par de estas observaciones de campo, Weese realizó distintas pruebas experimentales en el laboratorio. Le interesaba medir más finamente el efecto del cambio térmico en los reptiles. Para esto, utilizó el aparato creado por Shelford y Deere (1913). Estos investigadores construyeron un dispositivo experimental para ver el efecto de distintos niveles de evaporación en los animales²⁴. Pensaban que en los trabajos sobre fenómenos fisiológicos se había puesto poca atención al efecto de la pérdida de agua en los animales terrestres. “Dado que la evaporación se determina por el movimiento del aire, humedad, presión, temperatura e indirectamente por la iluminación, la mayor parte de los factores físicos se miden en combinación por instrumentos para medir la evaporación” (Shelford y Deere, 1913, p. 79). La importancia de hacer estudios acerca del efecto de la evaporación sobre los animales estaba en que:

...conocer la relación de los animales terrestres con su medio circundante es importante desde un punto de vista fisiológico y evolutivo. Además, los factores que controlan la distribución son eficaces en proporción a los efectos sobre los organismos en cuestión. (Shelford y Deere, 1913, p. 80)

Por ello, Shelford construyó un aparato para controlar las condiciones atmosféricas, pero especialmente para establecer gradientes experimentales y probar la reacción de los animales a variaciones en la velocidad de evaporación (**imagen 3**). Shelford y sus distintos colaboradores tanto en la Universidad de Chicago como en la de Illinois generaron un programa de investigación a partir de estos aparatos (Allee, 1912; Hamilton, 1917; Shelford, 1913, 1914; Shelford y Allee, 1913; Shelford y Deere, 1913; Weese, 1917, 1919). El trabajo encabezado por

²⁴ En estos años Shelford y Deere no fueron los únicos interesados en entender el efecto de la evaporación en los animales, Hamilton (1917), inspirado en los primeros, diseñó un aparato para ver el comportamiento de algunos insectos del suelo en gradientes de evaporación de distintos compuestos: aire, dióxido de carbono y amoníaco. De hecho, Weese utilizó las modificaciones que hace Hamilton al aparato de Shelford y Deere para la medición del flujo de aire.

Shelford es parte de otro arreglo experimental para conocer los efectos de las condiciones ambientales sobre los animales. En este periodo hay una diversificación y reproducción diferencial de estos escenarios experimentales.

Weese reprodujo este arreglo experimental haciendo algunas modificaciones: utilizó un compresor de aire de la Universidad de Illinois, la medición del flujo del aire fue más precisa por la inserción de una delicada línea de suministro en el medidor de corriente de aire señalado por Hamilton (1917); la caja de gradiente utilizada en esta serie de experimentos fue más larga (45x8x5cm) para dar cabida a animales de mayor talla y; los pisos de las cajas fueron cubiertos por una capa de arena de 1cm de espesor. El objetivo de los experimentos desarrollados por Weese fue observar el efecto de los cambios en la humedad y temperatura en los reptiles. Para esto generó diferentes gradientes de temperatura en el aire y sustrato, así como variaciones de humedad en las cajas experimentales.

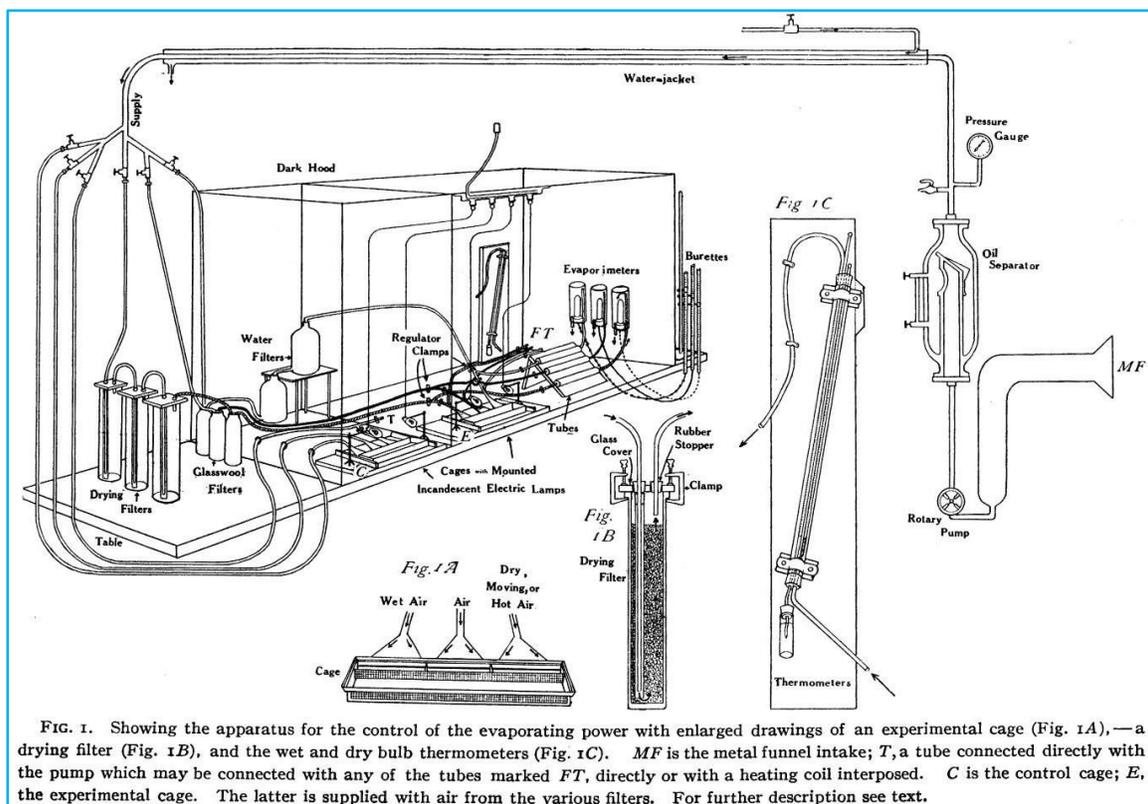


Imagen 3. Aparato para generar gradientes de evaporación, conectado con una caja experimental donde se introdujo a los animales. Este diseño fue utilizado por Weese con algunas modificaciones para usarlo con los reptiles (Shelford y Deere, 1913, p. 81).

Uno de los resultados más sobresalientes de los experimentos fue la descripción del efecto generado en los reptiles por el cambio en las condiciones de humedad y temperatura dentro de las cajas experimentales. Weese fue el primer investigador que describió con detalle los efectos en la actividad y el comportamiento de los reptiles sometidos a cambios térmicos que son inusuales en su ambiente o, a los que no se expondrían libremente. Señaló además que la temperatura afecta profundamente la vida diaria de los animales y delimita su actividad.

Por otra parte, determinó que hay un rango de temperaturas óptimas para la actividad de las especies del género *Phynosoma* (tanto del aire como del suelo). El rango óptimo de temperaturas del aire estaba entre los 33°C y 38°C cuando la temperatura del sustrato variaba aproximadamente igual que la del aire y la evaporación oscilaba entre los 10cc (Weese, 1917, p. 105). Mostró que el rango óptimo de temperatura del sustrato estaba entre los 35°C y 45°C sin que la temperatura del aire fuera tan importante (Weese, 1917, p. 107). En ambos casos Weese señaló que dentro de las cajas experimentales los animales siempre buscaban estar bajo estas condiciones. Si había alguna variación de temperatura (ya sea en la prueba del aire o del sustrato) los animales presentaban signos de disconformidad y se movían hacia los espacios donde la temperatura estuviera más cercana a este rango óptimo. Además, señaló que la temperatura del sustrato es más importante para los *Phynosomas* que la del aire. Avery señala que Weese realizó observaciones muy relevantes dando uno de los primeros indicios del control activo de la temperatura con sus investigaciones, sin embargo, Weese no vislumbró el importante significado de su trabajo además de que no midió la temperatura de las lagartijas que estudió (Avery, 1979, p. 3).

Como se ha señalado, en la producción sistemática de singularidades un sistema experimental va hilvanando los hechos que genera y las estructuras conceptuales que los caracterizan. Esto pasó con la idea de *rango de temperatura óptima*. Previo al trabajo de Weese no se había señalado un rango de temperatura que fuera óptimo para la vida de los reptiles. El aparato que generaba gradientes y donde los animales buscaban con regularidad ciertos rangos de temperaturas fue generando

datos, información. Estos datos mostraban un hecho: 'la preferencia de temperatura'. La mejor forma de capturar esta situación era proponer algo que lo pueda significar: la noción de 'rango temperatura óptima'. Esta noción capturaba un hecho que se presentó estadísticamente, no era una sola medición y una aseveración respecto a esta medición, fue un hecho determinado a partir de distintas mediciones. Esta noción es una definición basada en un hecho y a la vez un hecho encuadrado por dicha definición. Estos dos elementos se cogeneran, se constriñen y se estructuran para dar cuenta de algo que se produce en el arreglo experimental.

De hecho, Avery apunta que uno de los primeros términos en acuñarse fue el de PBT (*preferred body temperature*). Es la temperatura que una lagartija seleccionará si se pone dentro de una caja con diferentes regiones térmicas (un rango de temperaturas que van de frío a caliente). Sin embargo, esta noción es más pretenciosa: "La idea de una PBT está relacionada con el concepto fisiológico de homeostasis; con frecuencia se asume que el PBT es el punto óptimo de los procesos fisiológicos del animal" (Avery, 1979, p. 5). Una diferencia importante entre esta primera concepción de 'rango temperatura óptima' en contraste con PBT es que en la primera Weese vio esta búsqueda como un constreñimiento del ambiente a los organismos: los animales se tenían que adecuar al espectro térmico de su entorno, la PBT por el contrario hace referencia a un recurso que los animales pueden explotar. De esta forma, la noción de Weese en contraste con la de Avery apunta un fenómeno distinto. Avery (1979) señala que la PBT es uno de los primeros términos en los estudios sobre termorregulación, sin embargo, en los trabajos que analizan la temperatura óptima como el de Weese, Mosauer y Colbert, no se señala a la PBT concretamente o no se ha dilucidado de la forma como es concebida por Avery. El término de temperatura óptima propuesto por Weese sería utilizado más adelante por sus colegas en UCLA y se constituiría como un criterio central para la caracterización del fenómeno térmico, pero hasta el trabajo de Weese fue sólo un término para definir un evento.

A diferencia de las investigaciones en paralelo que se estaban desarrollando en los primeros años del siglo XX, el arreglo experimental de Weese reconfiguró el espacio experimental sobre la biología térmica de los reptiles. El entorno natural (donde habitan los animales) empezó a jugar un papel preponderante en el escenario epistémico. Se generó una investigación híbrida, el campo y en laboratorio se constituirían como dos espacios diferentes que, no obstante, se tocaban en una frontera cada vez más difusa. Se generó un área de contacto que podría denominar “Border” en el sentido de Kohler (2002)²⁵, “...esta zona de interacción e intercambio dentro de la geografía cultural del campo y laboratorio es como un ecotono biogeográfico” (Kohler, 2002a, p. 11). No obstante, a diferencia de Kohler, no sostengo que esta zona de contacto sea una búsqueda por parte de los habitantes del ecotono por arribar a los estándares de laboratorio para darle credibilidad a su trabajo, sino una búsqueda necesaria de los valores básicos del laboratorio. Los trabajos de investigación se realizaron en esta frontera difusa porque las características del objeto de estudio iban por dicho camino. El arreglo experimental se nutría de prácticas de diferentes sitios de investigación, no se limita a un espacio u otro, tiene la flexibilidad suficiente para mantener coherencia interna y moverse entorno a distintos ambientes de investigación.

El trabajo de Weese es el primer arreglo experimental que se constituyó en la interacción campo-laboratorio en los estudios sobre la biología térmica de los reptiles, el cual sería reproducido por sus colegas de UCLA.

1.4.- El trabajo en el desierto y el grupo de investigadores de UCLA

Como se ha revisado hasta este punto, las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles ocupaban la atención de diferentes investigadores en los primeros años del siglo XX. En diferentes espacios se hacían experimentos con

²⁵ Kohler prefiere el término ‘border’ más que ‘boundary’, señala que el primero implica una zona permeable de contacto permanente y de libre circulación. El otro hace más referencia a límites territoriales.

distintas especies y en diferentes condiciones. Se obtenían datos sobre la adecuación de los reptiles a su entorno térmico y su capacidad para soportar temperaturas muy bajas o altas.

En esta sección me abocaré al trabajo de un grupo de investigadores que confluyeron en la Universidad de California, Los Ángeles (UCLA) entre las décadas de 1930's a 1940's. Destacan figuras como Walter Mosauer, Laurence M. Klauber, Sarah Rogers Atsatt, Charles M. Bogert, y Raymond B. Cowles. Este grupo realizó importantes contribuciones al fenómeno térmico en los reptiles. Hoy en día se considera que su trabajo sentó las bases para el desarrollo de la investigación sobre la termorregulación en la segunda mitad del siglo XX. De hecho, a partir de estos trabajos la termorregulación se integra como un fenómeno central para entender muchos aspectos de la biología y ecología de los reptiles.

El análisis detallado de este grupo de investigadores muestra que a diferencia de otros grupos que trabajaron sobre la biología térmica de los reptiles, ellos tuvieron una relación más estrecha. Tuvieron varios aspectos en común que los relacionaban y nos permiten pensar en ellos como un grupo de investigación. 1) Todos estuvieron interesados en los reptiles de las zonas áridas, en particular de las zonas áridas del suroeste de Estados Unidos. Sus intereses no eran exactamente los mismos, pero se conectaron en distintos puntos; por ejemplo, Mosauer trabajó analizando la anatomía de los reptiles, Cowles sobre los efectos de la alta temperatura del desierto en la vida de los reptiles. 2) En los primeros años de los 1930's Mosauer, Cowles y Bogert trabajaron juntos en campo sobre la biología térmica de los reptiles. 3) Tenían relaciones académicas estrechas; pertenecían al departamento de zoología de la Universidad de California. Cowles, Mosauer, Atsatt fueron profesores de zoología en UCLA, Bogert fue profesor asistente por un corto tiempo. Particularmente Cowles fue director de tesis de Bogert durante sus estudios de grado y posgrado. 4) Citaban entre ellos sus trabajos de investigación y retomaban o cuestionaban los procedimientos experimentales: Cowles y Bogert recuperaron los elementos más importantes de los trabajos de Mosauer, Atsatt y Klauber. Estas relaciones dentro del grupo serían de suma importancia para entender la dinámica

propia de su trabajo y la emergencia de la termorregulación como un objeto de interés científico. Estos investigadores confluyeron en este espacio por dos motivos: en la Universidad de California en general desde de década de 1910 los biólogos tenían interés por combinar los estudios de campo y laboratorio (Kohler, 2002a, p. 141) y, la cercanía de la Universidad con el desierto les permitió establecer dicha combinación. Estos elementos nos permiten agrupar a estos investigadores y señalar que es a partir de su trabajo colaborativo que las investigaciones sobre la termorregulación se configuraron.

En esta sección revisaré el trabajo desarrollado por Mosauer y Klauber, en el siguiente capítulo abordaremos en trabajo de Bogert y Cowles.

1.4.1.- El trabajo experimental y el establecimiento de un nuevo fenómeno (1930-1945)

En 1931 Walter Mosauer obtuvo una plaza como profesor en el departamento de Zoología de la UCLA y dos años después publicó su primer trabajo sobre los efectos de la temperatura en reptiles. En este departamento conoció a Raymond B. Cowles quien ya formaba parte del personal académico en UCLA desde 1927. Mosauer se graduó como médico en Viena en 1929, sin embargo, su relación con Franz Warner²⁶ durante su juventud lo acercó a la herpetología. Mosauer se trasladó a Estados Unidos y obtuvo un doctorado en zoología en 1930 por la Universidad de Michigan (Smith y Smith, 1970; Turner, 1984). Por su parte, Cowles obtuvo en 1929 el doctorado en zoología en la Universidad de Cornell por su trabajo sobre la historia de vida del Varano del Nilo (Éste trabajo lo analizo con detalle en el siguiente capítulo) (Adler, 2007; Cowles y Bakker, 1977; Turner, 1984). Estos dos herpetólogos trabajaron sobre diferentes aspectos de la vida de los reptiles en UCLA y coincidieron en algunas investigaciones (aunque nunca publicaron juntos). El trabajo de Mosauer se concentró en hacer investigaciones sobre la anatomía del

²⁶ Uno de los zoólogos y herpetólogo más destacados a nivel mundial de la época. Trabajó en la Universidad de Viena.

aparato locomotor y la locomoción en sí misma de las serpientes, en ecología y en las adaptaciones de los reptiles al desierto. Su gusto por los desiertos lo llevó a trabajar por largo tiempo en las zonas desérticas de Los Ángeles sobre la locomoción de serpientes junto con sus colegas de UCLA Cowles y Bogert. Por su parte, Cowles se interesó en las adaptaciones de los reptiles a su ambiente caluroso, este interés se mantendría a lo largo de su vida y en el último lustro de los 1930's inició una importante investigación en el desierto de California sobre el efecto de la temperatura en los reptiles.

El interés de Mosauer por la temperatura se dio por una serie de observaciones que realizó sobre lo rápido que mueren las serpientes al ser obligadas a permanecer bajo el rayo directo del sol, un fenómeno que Cowles seguramente mostro a Mosauer²⁷. Cabe recordar que Grinnell ya había hecho observaciones de campo sobre esto en las montañas de San Bernardino en California en 1908. Sin embargo, Grinnell no hizo ninguna medición sólo observó el comportamiento de las serpientes al momento de morir presuntamente por insolación.

En este periodo, iniciando la década de 1930 (como ya se mencionó en la sección anterior) estaba una discusión importante sobre la tolerancia de los reptiles a las temperaturas extremas. De hecho, había dos situaciones contrastantes. Por un lado, se pensaba que los reptiles soportaban altas temperaturas y que no tenían mecanismos para regular su temperatura corporal, por el otro, observaciones mostraban que las serpientes no toleran una exposición prolongada a la luz directa del sol. En esta atmósfera (Mosauer y Lazier (1933) realizaron su primer trabajo sobre la tolerancia térmica de los reptiles del desierto en las dunas de arena en el Valle de Coachella, California. En un llano plano y arenoso expusieron a la luz directa del sol a 3 serpientes nocturnas capturadas en los alrededores (una diamond-back: *Crotalus atrox* y dos sidewinders: *C. cerastes*). Los especímenes estaban ilesos, con buena salud y activos en el momento de hacer las pruebas experimentales. Cada espécimen se puso por separado en diferentes horarios entre

²⁷ Esta afirmación de que Cowles llamo la atención de Mosauer sobre lo rápido que muere una serpiente al ser sometida a la radiación solar es parte de la conversación personal que tuvo Turner con Charles M. Bogert, (Turner, 1984, p. 425).

las 12:30hrs y la 13:30hrs el 2 de octubre de 1932. Se midió la temperatura de la superficie de la arena y del aire (fueron respectivamente: 55.5°C y 35.5°C). Cada serpiente se sometió a estas condiciones y se les mantuvo hasta que murieron por insolación, cuando esto sucedió se midió la temperatura corporal de los organismos introduciendo un termómetro en la cloaca empujándolo 6cm hasta el intestino. Los resultados fueron 47°C, 47°C y 46.5°C para cada serpiente. Estas temperaturas mostraron que las serpientes mueren posiblemente por insolación en un intervalo de 7-10min. Mientras que en los primeros minutos las serpientes no presentaron importantes cambios (sólo una búsqueda constante de sombra), los síntomas graves aparecieron en los últimos minutos: se estiraron ampliamente, respiraron agitadamente e intentaron la tracción tipo oruga. La boca se abrió y cerró en movimiento tipo bostezo y los colmillos fueron lanzados hacia adelante durante las últimas convulsiones poco antes de quedarse quietas. La dilatación de las pupilas se tomó como el criterio para definir la muerte de la serpiente. Se practicaron autopsias a los animales muertos y se observó que los órganos internos estaban sanos, sin alteración. El ventrículo del corazón estaba contraído y completamente vacío, las aurículas y venas estaban llenas de sangre y muy dilatadas y, los pulmones impregnados de mucha sangre (Mosauer & Lazier, 1933, p. 149).

Cabe destacar que en este mismo periodo se hicieron otras dos pruebas experimentales sobre la tolerancia de las serpientes a la radiación directa del sol. Swift (1933) expuso a la luz directa del sol a una serpiente de cascabel (*Crotalus c. oreganus*) de la costa del Pacífico en California. La serpiente murió a los 20 minutos con los mismos signos descritos por Mosauer y Lazier. Por otro lado, Blum y Spealman (1933) de la Universidad de California, Berkeley hicieron una serie de experimentos en el laboratorio y campo exponiendo a la misma especie (*Crotalus c. oreganus*) a distintas condiciones de radiación en el laboratorio (por medio de lámparas incandescentes cuya emisión principal era el espectro infrarrojo y una lámpara de vapor de mercurio cuyo espectro principal era el ultravioleta), la medición de la temperatura del sustrato se hizo con un termómetro de bulbo negro. Además, la serpiente se expuso a la radiación directa del sol, pero por la tarde, la temperatura del entorno (particularmente el sustrato) oscilo entre los 23° y 36°C. En

estos tres experimentos la serpiente no mostró ningún signo de malestar aparente por los distintos espectros de radiación, solo incrementó su actividad (movimientos cuando la temperatura aumentaba). En la última prueba experimental, se expuso a la serpiente en el laboratorio a una temperatura mayor (entre los 38° y 52°C) lo que provocó su muerte alrededor de los 40°C. Destacan que la serpiente presentó los mismos signos descritos por Grinnell (1908) al momento de morir. Los autores concluyeron que más que los distintos espectros luminosos, es el aumento de la temperatura lo que provocó la muerte de las serpientes en pocos minutos.

Los trabajos de Mosauer y Lazier, Swift y, Blum y Spealman se publicaron en las notas herpetológicas de Copeia en 1933. De acuerdo con estas publicaciones, Swift, Blum y Spealman realizaron sus pruebas experimentales en agosto y Mosauer y Lazier en octubre de 1932. Resulta muy interesante que esos tres trabajos desarrollaran pruebas experimentales sobre la tolerancia térmica en reptiles en el mismo año y que publicaran en el mismo número de Copeia. Es muy probable que entre estos investigadores hubiera algún tipo de comunicación o, al menos, conocían el trabajo que estaban desarrollando unos y otros. Este es el ambiente de los estudios sobre los aspectos térmicos de los reptiles, al menos en California en los primeros años de los 1930's. Estos experimentos serían la base para el arreglo experimental que conformarán Cowles y Bogert en UCLA.

Las observaciones de Mosauer en particular fueron importantes porque las realizó en el ambiente del animal, sometiéndolo a distintas condiciones, justo por esta manipulación, emergieron ciertos eventos que de otra forma no hubieran sucedido. Por otra parte, su formación como médico e interés en los aspectos anatómicos hicieron que el desarrollo de su investigación fuera distinto respecto al de sus colegas, es decir, contó con una experticia particular que dirigió su práctica. En este sentido dice Turner (1984) "el entrenamiento médico de Mosauer lo hizo uno de los pocos herpetólogos de la época con la experticia y la temeridad para intentar una explicación anatómica sobre cómo se mueven las serpientes" (p. 425). Pero su trabajo no se limitó sólo a la locomoción, también se abocó a los efectos de la temperatura en la anatomía de los reptiles. Cowles y Bogert señalaron que el

trabajo de Mosauer y Lazier fue el primer *informe técnico* conocido sobre la tolerancia de los reptiles al calor del desierto (Cowles y Bogert, 1944, p. 269). Previo al trabajo de Mosauer y Lazier hubo otras investigaciones respecto del efecto de la temperatura en los reptiles, lo distintivo de este *reporte técnico* fue que se hicieron observaciones detalladas del comportamiento, mediciones basadas en criterios establecidos para caracterizar el proceso de muerte de la serpiente, análisis anatómico del efecto en las estructuras internas por el sobrecalentamiento y cuantificaciones sobre la temperatura a la cual muere el organismo.

Los resultados de los experimentos de Mosauer mostraron que las especies nocturnas *C. atrox* y *C. cerastes* no podían sobrevivir a temperaturas corporales por arriba de los 46°C a diferencia de otros animales diurnos.

Es interesante notar la extrema sensibilidad a la luz del sol de estos reptiles nocturnos del desierto que contrasta claramente con la tolerancia de ciertos reptiles diurnos, como *Uma notata* la cual, en exactamente el mismo hábitat, juega y crece sobre la arena a 55°-60°C. (Mosauer & Lazier, 1933, p. 149)

Además, parecía que la temperatura corporal justo después de la muerte de los animales era idéntica entre ellos. Este trabajo generó más dudas que respuestas sobre la biología térmica de los reptiles. Por ejemplo, si efectivamente había una diferencia en la tolerancia a temperaturas altas de las especies diurnas respecto de las nocturnas, ¿cuál era la relación entre el ambiente térmico y la temperatura corporal de los animales? y ¿qué tan preciso fue el registro de la temperatura que señaló estas diferencias entre animales diurnos y nocturnos? Responder estas dudas sería parte del trabajo que más adelante tanto Mosauer como sus colegas intentaron resolver.

El trabajo de Mosauer será central para entender cómo se desarrolló la investigación sobre la temperatura en reptiles, particularmente por la influencia que tendría en sus colegas en UCLA. Su trabajo amplió la configuración a las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles. No sólo se trató de observar los efectos de la temperatura sobre los organismos y medir la diferencia o cercanía entre estos y su entorno. Se estructuró un espacio experimental donde los aspectos

materiales: los constreñimientos del ambiente, los organismos; los técnicos: dispositivos experimentales, instrumentos de mediciones, procedimientos experimentales, y la experticia de los investigadores, entre otras cosas, para distinguir el comportamiento de los animales, se constituyeron como el espacio de representación donde las inscripciones (el registro de la temperatura, las gráficas, entre otros.) dieron sentido y forma al fenómeno que se estaba investigando, lo constituirían como un objeto de interés científico.

El arreglo experimental entorno a la biología térmica de los reptiles se estaba reconfigurando. Como se ha revisado hasta este punto, no es un arreglo que nace de forma espontánea, se había estado configurando y estructurando desde los primeros años del siglo XX. El arreglo experimental se reproducía, el espacio de investigación se multiplicaba. No sólo era el campo o el laboratorio, era una amalgama entre los dos que, no obstante, estaba confeccionando su propio estilo, redefiniendo el espacio de investigación. Se empezaba a vislumbrar un fenómeno que aún no está del todo claro. El efecto de la temperatura en los reptiles aún era una pregunta abierta, el arreglo experimental en este otro giro continuaba generando interrogantes que trascenderían el trabajo de Mosauer y llegarían a otros arreglos experimentales.

A parte de estas mediciones en campo, Mosauer realizó otras pruebas experimentales para entender la supuesta tolerancia excesiva de los reptiles a las altas temperaturas como hasta entonces algunas observaciones lo habían señalado (Buxton, 1923; Camp, 1916; Thomas, 1932). Mosauer dividió su trabajo experimental en tres partes: 1) midió las condiciones microclimáticas del ambiente donde habitan los organismos; 2) realizó experimentos en campo en condiciones controladas e 3) hizo experimentos en el laboratorio en un dispositivo de gradientes térmicos. Como se puede ver, esta división en el trabajo experimental era parecida a la que había implementado Weese.

Mosauer examinó los microclimas del desierto en los hábitats donde usualmente estaban los reptiles: midió la temperatura del aire y la humedad muy cerca del suelo y registró la temperatura en la superficie del suelo. Para el registro de la humedad

y la temperatura del aire utilizó un psicrómetro de Assmann²⁸, para medir la temperatura del sustrato un termómetro de bulbo que movió entre la arena del suelo. El objetivo de estas técnicas era tener una imagen más *real* (según el propio Mosauer) de las condiciones térmicas del territorio donde habitan los organismos. Asimismo, implementó un dispositivo experimental en el laboratorio para conocer cuál era la temperatura letal de los reptiles. Básicamente el aparato consistía de una jaula donde se generaban gradientes de temperatura por medio de dos filamentos de calefacción eléctricos que se ubicaron a 10 pulgadas de distancia sobre la caja contenedora (en la **imagen 4** se muestra el diagrama hecho por Mosauer del dispositivo para generar gradientes térmicos). Los especímenes con los que trabajó fueron dos especies de lagartijas: *Uma notata*, *Dipsosaurus dorsalis* y una especie de serpiente: *Crotalus cerastes*.

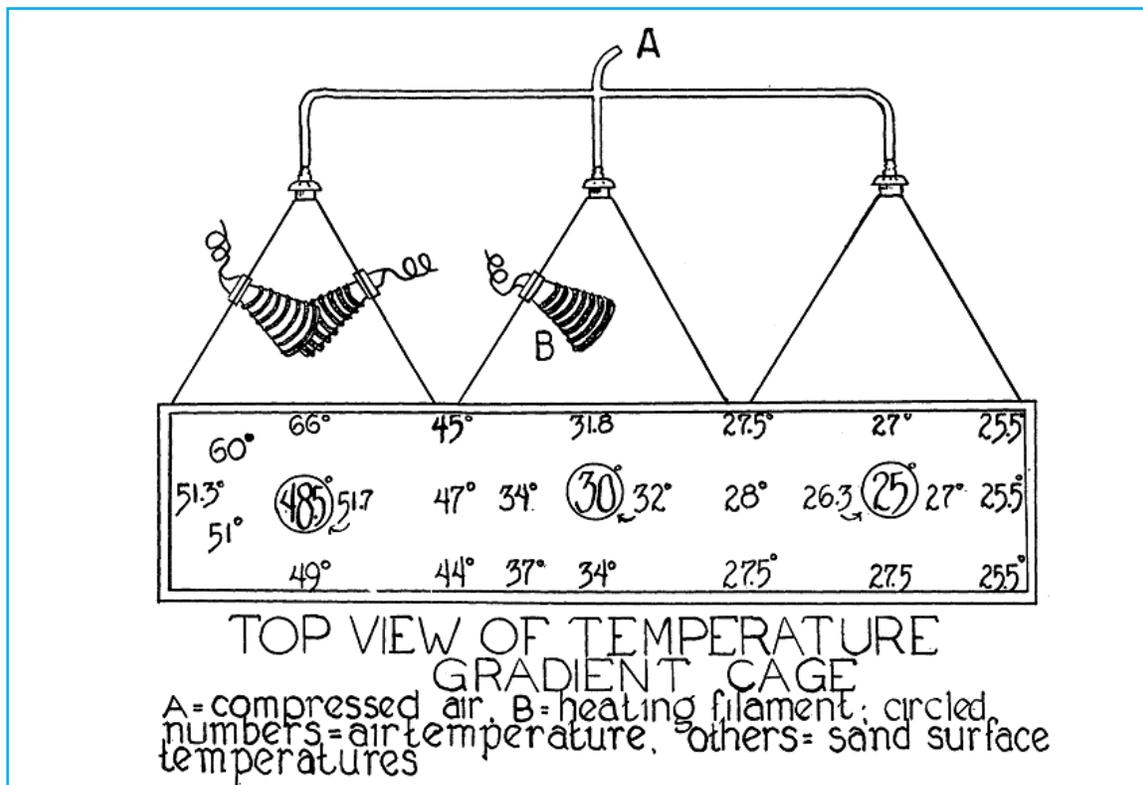


Imagen 4. Diagrama de la caja utilizada para determinar experimentalmente la temperatura preferida por los reptiles del desierto (Mosauer, 1936).

²⁸ Es un instrumento que sirve para determinar las características ambientales de un medio físico. Principalmente para medir las variables relativas de la humedad. El instrumento consta de dos termómetros. Un termómetro de bulbo seco que mide la temperatura ambiental y otro, el húmedo, que mide la temperatura una vez que se recubre su bulbo con una tela fina humedecida con agua que se deja evaporar (Martín y Pina, 2014).

El dispositivo de gradientes de Mosauer parece haber sido parte de la influencia no sólo de Weese, sino de los primeros trabajos sobre gradientes diseñados por Shelford, Deere y Hamilton y la tradición en fisiología experimental que se exportó de la Universidad de Chicago e Illinois a otras universidades. Si bien Mosauer no mencionó en sus trabajos los efectos térmicos, a Weese o algún otro trabajo previo, sí conocía sus investigaciones. En su artículo *Adaptive Convergence in the Sand Reptiles of the Sahara and of California: A Study in Structure and Behavior* de 1932, Mosauer estudió las adaptaciones de los reptiles a los desiertos. En este trabajo, recuperó la descripción que realizó Weese sobre el comportamiento de *Phrynosoma* al calor extremo en el desierto de California en su artículo de 1919. En ese trabajo y en el de 1917 Weese expuso la forma en que desarrolló sus investigaciones sobre los efectos de la temperatura en *Phrynosoma* y mencionó el uso de esta caja de gradientes térmicos. Mosauer reprodujo el trabajo de Weese, pero con algunas modificaciones que reconfigurarían el arreglo experimental y permitirían la emergencia de otras singularidades.

Además de medir las condiciones microclimáticas y la temperatura a la que morían los organismos, Mosauer elaboró otros dos experimentos uno en campo y otro en el laboratorio. Consideró que las condiciones *reales del hábitat* podrían dar una imagen distinta de la tolerancia de los reptiles a las altas temperaturas que no se presentan bajo las *condiciones artificiales del laboratorio* (Mosauer, 1936, p. 61).

Para entender la diferencia entre las mediciones hechas en el laboratorio y el campo, desarrolló un sencillo experimento que mostrara la respuesta de los reptiles cuando son sometidos con cierta libertad a la radiación directa del sol. El experimento consistió en amarrar con un hilo las patas traseras de la lagartija a un palo que enterró al suelo, dándole unas 10 pulgadas de extensión para que pudiera moverse. La ubicó en un área donde la incidencia de la radiación solar fuera directa y conservó las condiciones microclimáticas del área. El experimento se realizó los primeros días de mayo (en la temporada más calurosa). Se midió la temperatura del

aire y suelo; la temperatura a la que moría el organismo, el tiempo que permaneció vivo y se observó la conducta de los animales a lo largo del procedimiento.

Los resultados obtenidos en estos experimentos revelaron que en condiciones de laboratorio las lagartijas *Uma notata* y *Crotalus cerastes* morían a 45°C y que en condiciones de campo *Uma notata* y *Collisaurus ventralis gabpii* (= *Collisaurus draconoides gabpii*) sucumbían a 47°C y 47.5°C respectivamente. Cowles y Bogert, 1944 (p. 269) apuntaron que probablemente los altos registros de temperatura señalados por Mosauer pudieron deberse a criterios defectuosos para determinar la muerte de los animales.

El último experimento que realizó fue observar y medir cuál era la temperatura preferida por los organismos en la caja de gradientes térmicos (**imagen 4**). Para Mosauer este experimento podía ser indicativo de la temperatura óptima en el hábitat para las lagartijas a pesar de las *obvias condiciones de artificialidad* del dispositivo (Mosauer, 1936, p. 64). Gracias a este gradiente observó que los organismos prefieren un cierto rango de temperaturas, en particular encontró que *Uma notata* se distribuía entre 35°- 40°C con un promedio de 37°C. En sus observaciones de campo encontró un rango un poco más alto 37°- 43°C. Cabe señalar que para Cowles y Bogert:

... las diferencias entre los rangos encontrados en el campo y el laboratorio de Mosauer se debieron a la *insuficiencia de los aparatos*: al parecer la cámara de gradientes estaba muy empinada (lo cual parece influyó en la preferencia de los organismos). [En tanto que en] el campo la alta temperatura de 43°C pudo deberse a la persecución de los animales, al retraso en el registro de la temperatura de los reptiles al momento de su captura o cualquier otro tipo de dificultad inherente al trabajo térmico en campo (Cowles y Bogert, 1944, p. 270).

Esta parte del arreglo experimental de Mosauer fue muy importante porque centró su atención en algo que Weese había apuntado en su trabajo experimental pero que no había sido considerado en las observaciones anteriores: la importancia ecológica de la *temperatura preferida*: la temperatura en la que los organismos realizan su actividad. Mosauer sugirió que hay una relación entre la temperatura

ambiente (aire y suelo) y la actividad de los organismos. Este parece ser el primer indicio de esta “*preferred body temperature*” que ha señalado Avery.

El trabajo de Mosauer muestra varios aspectos importantes sobre la reconfiguración del espacio experimental: adquiere otro espesor, se construye a través de dos escenarios: el campo y el laboratorio. Estos espacios confluyen, en ambos se crea una situación experimental, hay instrumentos de medición, aparatos, técnicas y registros de temperatura, el campo adquiere una dimensión semejante al laboratorio, sin embargo, mantiene diferencias que son relevantes epistémicamente. El laboratorio es un espacio de producción artificial, donde el fenómeno construido no tiene relación con el fenómeno natural y, sin embargo, pretende decir algo sobre este último. El campo es el espacio donde habita el organismo y, aunque el fenómeno térmico es recreado por medio de instrumentos y mediciones, pretende ser más cercano a lo que de hecho sucede en dicho entorno, pretende no ser artificial. Para Mosauer hacer la distinción entre el laboratorio como un espacio *artificial* y el campo como *real* es central. El fenómeno se manifiesta en los dos escenarios, la medición de la temperatura letal u óptima se hace en ambos sitios, pero el laboratorio sólo reafirma lo que pasa en el campo, en el *lugar donde de hecho sí se produce el fenómeno*, de esta forma, el campo adquiere una dimensión de veracidad en contraste con el laboratorio que se convierte en el espacio de confirmación. Ambos espacios son necesarios para estudiar el fenómeno térmico de los reptiles, pero no son iguales y aunque parece haber una tensión entre estos dos, en la producción del objeto epistémico, que de hecho se está gestando, son parte de un mismo arreglo experimental. Esta tensión se mantendrá a lo largo de la configuración del arreglo teniendo diferentes balances.

De esta forma, en el campo se pretende estudiar en condiciones naturales los aspectos térmicos de los reptiles y en el laboratorio recrearlos, ambos están mediados por instrumentos de medición y aparatos, es decir, sólo se puede hablar de los efectos de la temperatura en los animales porque se manifiestan en estos arreglos a través de las mediciones e instrumentos. Cowles y Bogert (1944) señalan que:

... las temperaturas por arriba y por debajo del rango de actividad normal²⁹ de los reptiles sólo pueden ser evaluadas bajo condiciones controladas en un laboratorio, porque es la única manera en que *se pueden manifestar los efectos de estas temperaturas* que de otra forma no se presentan en los ambientes térmicos de los reptiles. (p. 271)

Esta idea, mejor que cualquier descripción, señala de forma muy clara la relación cercana que hay entre los objetos técnicos y los objetos epistémicos y la dinámica del arreglo experimental sobre el fenómeno térmico. La emergencia de los hechos científicos *sólo es posible a través de la ejecución de una estructura material y técnica*, el fenómeno térmico sólo se manifiesta de esta forma y no de otra.

El trabajo de Mosauer además muestra esta estructuración conceptual y discursiva que se estaba generando en la conformación del fenómeno térmico y que no es propia sólo de Mosauer, sino que se iba conformando dentro de la dinámica de la investigación. En su trabajo utilizó diferentes términos para cada una de las reacciones que observó en sus arreglos experimentales (tanto en campo como en laboratorio): “temperatura letal”, aquella en que mueren los organismos después de ser sometidos a permanecer dentro de un área con temperaturas muy altas y “temperatura preferida”: aquella que prefiere el organismo en un gradiente térmico. Como se puede ver en estas definiciones de Mosauer, los términos están definidos con base en el arreglo experimental, decir que una *Uma notata* se distribuye entre 35°- 40°C con un promedio de 37°C y que este es su rango de temperatura preferida es conceptualizar un hecho a partir de un arreglo técnico, a partir de un gradiente térmico.

Esta idea sobre la preferencia de temperatura para la actividad de los animales no era nueva. Ya se había observado que la temperatura del ambiente de alguna manera restringe la actividad de los reptiles. Distintos autores habían señalado que la temperatura limita la distribución latitudinal de los reptiles (Hesse, 1937, p. 14; Pearse, 1931) y de los animales en general, por ejemplo, (Chapman, 1931) señaló:

²⁹ Este ‘rango de actividad normal’ más adelante veremos que está incluido dentro de este robusto criterio que Mosauer llama, ‘temperatura preferida’

Los animales son afectados profundamente por la temperatura en muchas formas. Probablemente ningún otro factor tiene un efecto tan amplio sobre su distribución geográfica en la tierra, o sobre sus periodos de actividad durante los ciclos anuales (p. 42).

Pero no se conocía con detalle de qué forma eran afectados, las investigaciones en campo habían revelado poco sobre el efecto en general de la temperatura sobre los animales dentro de su hábitat.

A este respecto, Laurence M. Klauber en su trabajo de campo dio cuenta del efecto del ambiente térmico en la distribución de los reptiles dentro de su entorno. Klauber es conocido por su obra sobre las serpientes de cascabel: "*Rattlesnakes, their habits, life histories, and influence on mankind*" publicada en 1956 por la Universidad de California.

Klauber reunió una importante cantidad de información sobre los rendimientos de las recolectas nocturnas y la temperatura. Se percató que al conducir en las tardes por los caminos pavimentados siempre era posible recolectar una rica variedad de reptiles³⁰. Al tratar de determinar cuál era el momento más adecuado para realizar sus recolectas, Klauber notó que la abundancia de los reptiles en los caminos depende en gran medida de la temperatura del aire. Curiosamente, las especies de reptiles no eran igualmente abundantes a una temperatura dada; algunas especies aparecieron con más frecuencia en las noches más frescas que otras. El trabajo de Klauber se limitó a especies nocturnas de ofidios que se encuentran comúnmente en los caminos pavimentados. Aunque sus datos fueron principalmente de temperatura del aire, hizo hincapié en la importancia de la temperatura del suelo.

De acuerdo con sus registros Klauber parecía mostrar que la mayoría de los reptiles de los desiertos locales (hablando de los desiertos de California) no están activos a temperaturas menores a los 15°C. Los más tolerantes al frío eran *Crotalus cerastes* y *Rhinocheilus* en contraste con otros reptiles. Asimismo, el mejor rango de temperatura del aire en la cual se recolectaban organismos estaba entre 26.6°-

³⁰ La información sobre el trabajo de Klauber fue obtenida de: (Klauber, 1939).

31.65°C. En contraste con esto, los experimentos de Cole (1943:100) habían reportado que la temperatura de un lagarto es casi independiente de la del aire circundante, observó que, en ausencia de fuentes de energía radiante, el sustrato es el factor determinante más importante, como ya lo había apuntado Weese en 1917.

Klauber también señaló otra evidencia indirecta de la relación entre la temperatura de los reptiles y su actividad. En sus muestreos nocturnos registró que hay una variación estacional en la frecuencia de recolección de ofidios. Del 20 de mayo al 10 de junio era el periodo con mayor frecuencia de muestreo, la cantidad de recolecta también presenta variaciones, resultado de diferencias estacionales y altitudinales. De finales de junio a principios de primavera los reptiles eran escasos, sólo había un aparente resurgimiento de actividad a finales de agosto, septiembre y principios octubre. Klauber atribuyó este incremento a la gran cantidad de reptiles jóvenes inexpertos y su falta de precaución. En virtud de estas observaciones a Klauber le interesó conocer ¿qué factores determinan la abundancia de los organismos? Consideró que la temperatura es uno de los principales factores que determinan la abundancia, pero no creyó que fuera el único. Intentó correlacionar la actividad de los reptiles con la velocidad del viento, la humedad relativa; la ausencia o presencia de la luz lunar, la época de reproducción y el forrajeo³¹. Particularmente dio cuenta de que la temperatura puede constreñir la actividad de forma importante, a temperaturas superiores a 32.2°C y por debajo de 15.5°C hay una disminución de la actividad que pensó era producto de un tipo de hibernación térmica en lo particular. En el fondo, lo que señalaron estas observaciones es que las diferencias en actividad de estas especies correspondían a diferencias en la temperatura del aire que fueron mucho más pequeñas que las que limitan la distribución latitudinal.

El trabajo de Klauber sobre la distribución de las diferentes especies de reptiles con respecto a la temperatura, apunta una hipótesis que tuvo consecuencias

³¹ Cowles y Bogert dicen que Klauber no tuvo mucho éxito buscando una correlación entre estos elementos y la actividad de los reptiles. Donde vio una relación más directa fue entre la actividad y la variación de la temperatura del aire. (Cowles y Bogert, 1944, p. 27).

respecto a cómo se veía la ecología de la temperatura³². Distintas especies tienen ligeras diferencias en la “*preferencia*” de su temperatura corporal para su actividad. Generalmente se pensaba que la temperatura sólo ponía límites físicos a lo que los organismos podían hacer, las observaciones de Klauber daban indicios de que la temperatura podría ser un recurso dividido, explotado y competido entre los organismos. No sólo constreñir la actividad de los reptiles, sino convertirse en un espacio de actividad y posibilidad.

Sumario

En este capítulo exploré las investigaciones que se realizaron sobre la biología térmica de los reptiles, principalmente en Estados Unidos, desde los primeros años del siglo XX hasta centrar mi atención en un grupo de investigación de la UCLA en la década de los 1930.

Mostré cómo distintos científicos se cuestionaron sobre la aparente adecuación que tenían los reptiles para vivir en entornos tan hostiles como las zonas desérticas. Desde finales del siglo XIX se llevaron a cabo observaciones y mediciones para saber qué tan tolerantes eran los reptiles al calor. Las investigaciones se realizaron en dos sitios: el campo y el laboratorio. Las primeras observaciones en campo describieron la aparente adecuación de los reptiles a su entorno, pero trabajos más detallados mostraron que los reptiles no son tan tolerantes, tienen mecanismos para protegerse del calor extremo del desierto. En el laboratorio se construyeron dispositivos experimentales para medir la diferencia de temperatura entre el entorno y los animales. Los resultados arrojaron que no eran tan tolerantes como se había pensado. Los reptiles, como otros grupos de animales, no soportaban temperaturas extremas.

Se generó un programa de investigación sobre la biología térmica de los reptiles. En distintas instituciones diferentes investigadores realizaron observaciones en

³² Cabe recordar que Weese (1917, 1919) había señalado en sus experimentos con gradientes que los reptiles podían conductualmente buscar entornos a ciertas temperaturas. Lo que después se consideraría las PBT ‘preferred body temperature’ de cada especie.

campo, trabajos experimentales en laboratorios con diferentes organismos, y desarrollaron distintas técnicas de registro, medición y manipulación. Se generó un arreglo experimental sobre el fenómeno térmico. Surgieron prácticas científicas técnicamente mediadas por instrumentos y dispositivos en conjunto con conceptos que fueron emergiendo a la par del trabajo experimental y permitieron caracterizar la propia investigación y describir el fenómeno que se estaba dilucidando. El arreglo experimental fue reproduciéndose y reconfigurándose cada vez más en función del camino que iba siguiendo el objeto epistémico. Ambos, objetos técnicos y objetos epistémicos fueron co-conformándose mutuamente.

Rheinberger señala que, para ser productivos, los sistemas experimentales tienen que generar más preguntas que repuestas. El arreglo experimental sobre la biología térmica no fue la excepción. Desde que se empezaron a manipular los organismos, a medir sus temperaturas, surgieron cada vez más interrogantes. Por ejemplo, el trabajo de Mosauer generó preguntas como: ¿hay diferencias en la tolerancia al calor entre las especies diurnas y nocturnas?, ¿cuál es la relación entre la temperatura del cuerpo del animal y su entorno?, ¿son adecuadas las técnicas de registro de temperatura? Aquí hay preguntas que alcanzan incluso al propio diseño experimental, qué tan precisa o efectiva es una técnica, un procedimiento. El arreglo experimental sobre la biología térmica de los reptiles se diversificó, se reprodujo. Se convirtió en la forma de indagar sobre este fenómeno térmico.

Las investigaciones se centraron en analizar la relación entre la temperatura del ambiente y la temperatura del cuerpo de los animales. Las mediciones revelaban que los reptiles mantienen una temperatura muy cercana a la de su entorno y fluctúa con el mismo. Los resultados apoyaban la idea de que los reptiles no tienen mecanismos de regulación térmica, son pasivos captadores del calor de su entorno.

Los arreglos experimentales, las prácticas de investigación y el sitio se integraron para generar lo que he denominado el *escenario epistémico*. Para conocer fenómenos que están fuera del alcance de la manipulación de los investigadores, las prácticas de investigación se tienen que realizar en los lugares donde el fenómeno adquiere posibilidad. Así fue con las investigaciones sobre la biología

térmica de los reptiles. Las primeras investigaciones se realizaron en el campo o en el laboratorio. Conforme se conocía más sobre la naturaleza del fenómeno, investigadores como Weese y Mosauer (así como Cowles y Bogert que reviso en el siguiente capítulo) fueron desdibujando esta aparente separación entre los dos espacios de trabajo, produjeron arreglos experimentales en sitios de campo, en los entornos donde los animales experimentales habitaban. La idea de “*escenario epistémico*” recupera la esencia de una puesta en escena, donde los participantes ejecutan un acto: el sitio juega un papel central en la trama al ser y definir el espacio de posibilidades del trabajo investigativo, constriñendo, pero al mismo tiempo señalando los posibles caminos de la práctica científica. Las posibilidades de conocimiento están íntimamente ligadas al sitio de investigación. El sitio se convierte en un actor activo. El arreglo experimental no sólo se construye y ejecuta dentro del sitio, sino que el sitio forma parte del arreglo. En el despliegue de la investigación el sitio como escenario se convierte también en parte del objeto de estudio directa o indirectamente. De esta forma el escenario epistémico es una ejecución única, irrepetible, dependiente de las circunstancias del momento, de cómo se constituya el arreglo experimental, de cómo actúe el sitio en dicha ejecución y del camino que quiera seguir el investigador en esta gran puesta en escena, pero no por ello sin posibilidad de reproducción en contextos similares.

La investigación sobre la biología térmica fue posible gracias al empleo de instrumentos de medición como termómetros y termopares; por el desarrollo de dispositivos experimentales como las cajas de gradientes térmicos o los dispositivos donde se medía la diferencia de temperatura entre el animal y su entorno. Sin estos instrumentos y dispositivos no hubieran sido posible estas investigaciones. Las condiciones técnicas y materiales son básicas para el desarrollo de la ciencia y la tecnología. El advenimiento del microscopio durante el siglo XVII fue central para el establecimiento de disciplinas como la microbiología. Así, el desarrollo de instrumentos de medición de la temperatura durante los siglos XVIII y XIX son la base a partir de la cual pudieron realizarse las investigaciones sobre la biología

térmica de los reptiles³³. Los dispositivos diseñados en esta investigación serían un legado más al trabajo arduo sobre formas de estudiar la temperatura. Por lo tanto, el establecimiento de investigaciones como el problema de la biología térmica de los reptiles fueron posible por los desarrollos tecnológicos previos.

La investigación fuera de los espacios controlados del laboratorio también requiere del uso de instrumentos y tecnologías. Esto no mella la supuesta neutralidad de los sitios de campo, más bien brinda herramientas de trabajo para dilucidar fenómenos que de otra forma sería imposible estudiar.

Las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles hasta este punto fueron diversas, se diseñaron formas de acercarse al problema, definirlo y estructurar prácticas científicas en torno a dos espacios de trabajo que luego generaron un estilo de investigación propio. El fenómeno aún planteaba retos y preguntas que otros investigadores recuperarían en el segundo lustro de la década de 1930 y desarrollarían un arreglo experimental mucho más estructurado para dar cuenta de la naturaleza térmica de los reptiles.

³³ Chang (2004) realiza un análisis muy detallado del establecimiento de la termometría en los siglos XVIII y XIX. Muestra con gran detalle como los instrumentos de medición de la temperatura son el resultado de una gran cantidad de pensamientos innovadores, experimentos minuciosos, conjeturas audaces y serías controversias.

Capítulo 2

2. El trabajo de Raymond B. Cowles, la termorregulación en reptiles

Through his imaginative work on the thermal biology of reptiles, Raymond B. Cowles fomented a revolution in thought on the biology of temperature. (Turner, 1984, p. 421)

2.1.- Cowles, su trabajo en Sudáfrica

Como se ha revisado hasta este punto, las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles se desarrollaron en dos espacios distintos, aunque estrechamente conectados: el campo y el laboratorio. Esta separación en la investigación no es trivial, o al menos no lo es para los investigadores. En esta sección analizaré la importancia del sitio como centro de producción de conocimiento³⁴, particularmente el contraste entre el campo y el laboratorio como una parte medular en el desarrollo de la investigación sobre la biología térmica de los reptiles. El punto principal del argumento no es establecer una distinción clara y tajante entre el laboratorio y el campo, porque en realidad ambos espacios tienen importantes puntos de encuentro y una frontera muy difusa. Se trata, en cambio, de ahondar en la relevancia del campo como espacio distintivo de investigación; entender su producción y adecuación como un lugar generador de conocimiento en contrapunto, pero también en relación con el laboratorio. En este sentido, el campo no se convierte en una extensión del laboratorio o en un laboratorio exterior por utilizar los instrumentos, técnicas y metodologías como éste, más bien se transforma en un espacio singular y único al recuperar las prácticas y herramientas

³⁴ El análisis sobre la importancia de los espacios o sitios de investigación distintos al laboratorio se han realizado desde las últimas décadas del siglo XX. Este trabajo se inserta dentro de estos esfuerzos por indagar otras formas de investigación distintas al laboratorio en biología. El volumen 11 de Osiris 1996 es uno de los primeros números que agrupan investigaciones sobre las ciencias del campo entorno a tres ejes: apropiación cultural, conocimiento y poder e, identidad y género. Para una introducción de este análisis ver: (Kuklick y Kohler, 1996) "Introducción" Osiris 11, Science in the field, p. 1-14

del laboratorio, pero al mismo tiempo, mantener su propia particularidad, su complejidad, su irrepetibilidad y su autenticidad.

Como revisé en el capítulo anterior, Weese y sobre todo Mosauer trabajaron en ambos espacios para dar cuenta de los fenómenos térmicos. El campo adquirió cada vez más relevancia como espacio para la investigación, pues implicaba algo más que trasladar los elementos del laboratorio hacia el campo. Es más, para Mosauer el lugar donde de hecho suceden los fenómenos térmicos en los reptiles no es el laboratorio, por tratarse de un sitio en el que los fenómenos se generan de forma “artificial”. Esto lo mencionó en su trabajo al señalar que las lagartijas diurnas del desierto no tienen una mayor tolerancia al calor que las especies nocturnas. Mosauer sostenía que este hecho se observaba en condiciones de laboratorio, pero se podría tener “... una imagen distinta de esto en condiciones naturales diferentes a las *condiciones artificiales del laboratorio*” (Mosauer, 1936, p. 61). En otro momento señaló: “Se pensó que la preferencia de temperatura mostrada por las lagartijas en las cajas experimentales podría ser indicativo de la temperatura óptima en su hábitat a pesar de las *obvias condiciones de artificialidad*” (Mosauer, 1936, p. 64).

Para Mosauer hay una importante diferencia epistémica en cuanto a la observación de los fenómenos térmicos en los reptiles. Cuando se observan en el laboratorio sólo son aproximaciones al medio donde habita el animal, por eso el campo es el lugar donde se tiene que estudiar el fenómeno térmico; es ahí donde se manifiesta. En el campo el fenómeno no es artificial.

Esta idea de la importancia del campo como el sitio ideal para observar y analizar la biología térmica de los reptiles no fue exclusiva de estos Weese y Morauer. Sus colegas en UCLA, Cowles y Bogert, también consideraron al campo como el sitio más importante para estudiar los fenómenos que no se pueden recrear completamente en un laboratorio. Particularmente para Cowles el campo es un lugar fundamental e idóneo para estudiar este fenómeno. A lo largo de su carrera pasó un tiempo considerable analizando la biología térmica de los reptiles en el desierto de California. Para entender al campo como un lugar de investigación es necesario

analizar con detalle el trabajo de estos herpetólogos y cómo su experiencia en este lugar influyó en el desarrollo de su trabajo de investigación.

Raymond B. Cowles nació en Natal, Sudáfrica, el 1 de diciembre de 1896, en una estación de misioneros. Durante su niñez y adolescencia estuvo en contacto con los habitantes de la tribu zulú. De hecho, su abuelo Bridgman, originario de Massachusetts, fue el primer misionero cristiano en el Valle de Umzumbi (Adler, 2007, p. 116). Durante su niñez Cowles fue educado por sus padres en la estación, por una institutriz y durante un año en la escuela pública en Hill Crest, Natal Sudáfrica (Cowles, 2008 box 1, folder 1). En 1916 fue enviado por sus padres a Estados Unidos para cursar el resto de su educación antes de que “los cambios endocrinos lo hicieran susceptible de los halagos de las aventureras doncellas nativas” (Cowles, 1959).

A lo largo de sus años de juventud Cowles se fascinó con la vida de los animales salvajes. De hecho, fue durante este periodo de su vida en el campo africano que puso atención en la forma de anidación del *Varanus niloticus* (Varano del Nilo), que años después sería el tema de su tesis doctoral (Cowles y Bakker, 1977; Turner, 1984, p. 425). El Varano del Nilo es un reptil de la familia Varanidae que se distribuye en gran parte de África y es el lagarto más grande del continente.

Para comprender cómo es que Cowles adquirió y desarrolló su experticia sobre el campo es importante analizar el desarrollo de su investigación sobre el Varano del Nilo. Una de las prácticas frecuentes alrededor de 1910 en Sudáfrica era alimentar a las aves de corral con termitas como suplemento proteínico. Dice Amy Bridgman Cowles (madre de Raymond Cowles), que cuando Raymond tenía 12 años, una de sus tareas frecuentes era excavar, con ayuda de la cocinera de la familia, los montículos de las termitas y extraerlas para alimentar a las aves. Bridgman relata:

...un día Raymond estaba muy emocionado, entró apresurado a la casa, hablando fuerte –¡madre, madre, ven y ve! Encontramos muchos huevos, tan grandes como los de las gallinas, dentro de los termiteros. Pensamos que son huevos de serpiente porque estaban cubiertos de escamas...– Un breve momento

de silencio, Raymond entró corriendo de nuevo –¡Madre, madre, no son serpientes, es un bebe Xamu! –. (Bridgman, 1944, p. 130)

Años más adelante Cowles publicaría que este descubrimiento fue algo puramente accidental. En el año de 1912, después de meses excavando y destruyendo los montículos de las termitas, encontró los huevos de embriones que fueron identificados como pertenecientes al Varano del Nilo. Esto lo estimularía años después para hacer la historia de vida de este lagarto (Cowles, 1930, p. 4). *Qamu* es el nombre común que los pobladores zulús le daban al Varano del Nilo, de hecho, no es claro cómo se redacta esta palabra. Bridgman usa Xamu, sin embargo, Cowles en un artículo de 1930 se refiere a este lagarto por su nombre común, tal como era usado por los zulús: *Qamu*. Al parecer ambos términos Xamu y *Qamu* hacen referencia al Varano del Nilo. El mismo Cowles señala que era un “nombre casi imposible de pronunciar” (Cowles, 1930, p. 4), probablemente porque se practicaban formas diferentes de escribirlo. El nombre científico de la especie es *Varanus niloticus*, en inglés es llamado Nile Monitor y en español Varano del Nilo. En el presente trabajo nos referiremos a este reptil como *Qamu* ya que Cowles prefería este nombre.

Bridgman menciona que Raymond y sus otros hijos dejaron la estación de misioneros en Sudáfrica, Raymond Cowles fue a Estados Unidos a la Universidad de Cornell, catorce años después de haber encontrado aquellos huevos en los termiteros, Bridgman cometa:

[Raymond] Nos escribió una carta comentando que regresaba a Natal Sudáfrica: ‘Terminaré el curso en junio –escribe Raymond– Pero no puedo recibir el grado de doctor hasta que haya entregado dos tesis menores y una principal. La mayor debe ser sobre algún descubrimiento nuevo, algo aún desconocido. He decidido, por tanto, escribir para la principal la historia de vida de Xamu³⁵. Desde el descubrimiento de los huevos de Xamu en el termitero, cuando era muchacho, he estado seguro de que la madre lagarto utiliza los termiteros como incubadoras. Quiero regresar a casa por un año para hacer un estudio de la historia de vida de

³⁵ Si bien señalé arriba que Cowles prefería el término *Qamu*, cuando recupero citas textuales de Bridgman se redacta como está en la cita, la mamá de Cowles lo redactó como: Xamu.

Xamu y probar mi teoría de la incubadora. Por otra parte, para ayudarme a pagar este viaje debo recolectar pieles de aves y especímenes de reptiles ¿Podrías prestarme para mi pasaje? Estoy seguro de que podré reembolsártelo con el dinero que obtenga de la colección de pieles de ave. (Bridgman, 1944, p. 132)

Cowles llegó a la estación de misioneros el 20 de agosto de 1925 y permaneció ahí por dos años haciendo trabajo de campo que le serviría para describir la historia de vida del Varano del Nilo. Al llegar a la estación de misioneros, preguntó a las personas de la comunidad (los zulús) si sabían dónde Qamu ponía sus huevos. La respuesta fue que como los cocodrilos: los ponían en la orilla de los ríos. En su trabajo de 1930 Cowles menciona que le pareció extraño que los nativos zulús fueran completamente ignorantes del hábito de Qamu de poner sus huevos en los termiteros, considerando que ellos ven a los lagartos excavando los montículos de termitas, y los embriones después de siete meses de incubación son fácilmente reconocibles como pertenecientes a este reptil. Cowles pensó que quizá no estaban al tanto porque se trataba de un hábito raro del lagarto.

A su llegada a la estación de misioneros, Cowles propuso a las personas de la comunidad pagarle cinco chelines a quien le dijera dónde estaba un nido del lagarto; la instrucción fue: no extraer los huevos, solo llevarlo al nido. Bridgman narra que pasaron varias semanas y ninguno de los nativos traía noticias sobre los nidos del Varano. Fue entonces cuando Cowles tomó la decisión de ir él mismo a buscar los nidos.

Narra Bridgman:

Finalmente, desesperado –dijo un día– “¡Madre, las semanas están volando! Debo regresar a tiempo para mi nombramiento como profesor en la Universidad de California, pero aún no he encontrado esos huevos en los termiteros, ningún nativo ha respondido a mis ofertas,” –agregó–, “sin embargo, sé que los huevos están ahí en los hormigueros” Hijo –repliqué, “¿Cómo puedes estar tan seguro? Sólo porque una vez encontraste esos huevos en un montículo de termitas, ¿Cómo puedes concluir que los Xamus siempre ponen sus huevos ahí?” –Raymond respondió– “Estoy seguro que lo hacen, y ¡ahora voy a encontrarlos!” Muy pronto vi a Raymond desaparecer en el camino con Manzini, nuestro ayudante, quien llevaba un cubo,

una pala y un azadón. Cowles continuó saliendo los días siguientes en busca de los huevos. “Fue una tarde cuando escuchamos un alboroto en la terraza trasera. Ahí estaba parado Raymond con orgullo, apuntando hacia un cubo con cascarones de huevos blancos”. (Bridgman, 1944, p. 132)

Cowles resolvió el problema de encontrar los nidos cambiando la técnica de sólo excavar en los montículos de forma azarosa, a enterrar una barra larga de metal en el centro del termitero, si ésta salía húmeda, era indicación de que había huevos dentro; cuando no salía húmeda, dejaba de excavar. De esta forma localizó varios nidos del varano (**foto 1**).



Foto 1. Nido de termita abierto que muestra un huevo localizado en su interior. (Cowles, 1930)

Las observaciones tanto del estado del nido como de los huevos dentro de éste generarían en Cowles una serie de preguntas sobre el proceso de anidación en estos lagartos. ¿Cómo es que Qamu excavaba un hoyo en el centro del montículo de este duro termitero curtido por el sol? Luego ¿Cómo es que la hembra consiguió poner los huevos hacía ‘el interior del nido’?, ¿En cuánto tiempo se incubaron los huevos?, Además, cuando las crías nacían en el centro del montículo, ¿cómo lograban emerger de la tierra? (Bridgman, 1944, p. 132). Estas preguntas surgieron

de los hallazgos que iba realizando al momento de inspeccionar los nidos. Es importante resaltar que la información sobre la anidación y en general sobre distribución, hábitat, hábitos alimenticios y otros elementos de la historia de vida de Qamu fue producto de observaciones y mediciones de campo realizadas a los largos de los dos años que trabajó con esta especie.

A partir de esta nueva forma de encontrar los nidos en los montículos, Cowles siguió buscando, poco a poco fue entendiendo el proceso de puesta, anidación y eclosión de los huevos. Su primer interés era determinar qué proporción de termiteros tenían huevos en su interior. El tamaño del embrión dentro del huevo le indicó aproximadamente cuánto tiempo tenía la puesta y el momento probable de eclosión. Al parecer, las hembras de Qamu ponían sus huevos durante las lluvias de primavera, cuando el termitero está más suave y húmedo por el agua, de esta forma es más fácil hacer un hueco dentro del mismo y poner los huevos. Las termitas pronto restauraban el montículo y los huevos quedaban protegidos. De esta forma, abordando el fenómeno en el campo, buscando nidos, sacando los huevos, revisando el estado de los embriones, etc., Cowles empezó a entender el proceso de anidación del varano. Por ejemplo, le interesaba comprender cómo es que las crías, cuando eclosionaban, podían emerger a la superficie. Esto pronto lo resolvió cuando cortó por la mitad un montículo desde la parte superior hasta la base. Encontró que los termiteros estaban formados por surcos cristalinos que llamó “chimeneas”. Notó que los surcos habían sido desgastados por las crías cuando ascienden y salen del montículo (**foto 2**) (Bridgman, 1944, p. 132). También le interesó conocer el momento de la eclosión de los huevos de Qamu. Tuvo una primera señal cuando estaba estudiando los nidos de las aves hammer-kops (*Scopus umbretta*, o el ave martillo)³⁶. Estas aves construyen grandes nidos entre las ramas de los árboles cerca de los ríos. Cowles midió el tamaño del nido y su composición (formado por ramas, pasto y pedazos de madera). Cuando observó la entrada del nido vio remanentes de los animales con los que se alimenta el ave, ratones, ranas, serpientes, etc., Dice Bridgman:

³⁶ Es un ave de la familia Scopidae que habita en los humedales del África subsariana y Yemen.

Concentrado en tomar nota del contenido del nido, un ave arribó con un bebé Xamu para alimentar a sus crías... Esto anunciaba que la eclosión de los Xamus había iniciado. En la sabana africana la ornitología y la herpetología se han unido ayudándose mutuamente. (Bridgman, 1944, p. 132)



Foto 2. Un nido de termitas cortado transversalmente. La flecha indica el punto donde están los huevos. (Cowles, 1930)

A lo largo de su trabajo Cowles entendió distintos aspectos sobre la historia de vida del Varano del Nilo. Esto fue resultado de distintos procesos, de buscar en el campo animales, de ver la forma en que anidan, de analizar lo que iba encontrando, de intervenir en los objetos, en este caso los nidos, literalmente desmenuzarlos y ver qué hay en sus entrañas para dar respuesta a preguntas que iban surgiendo al mismo tiempo en que se encontraban objetos. Es decir, las preguntas sobre el tiempo de incubación, el momento de eclosión, la forma en que las crías salen de los montículos de las termitas, etc., sólo surgen porque el investigador va escudriñando el fenómeno. Cowles primero advirtió que efectivamente el Varano del Nilo pone sus huevos en estos montículos, luego, al extraer huevos de diferentes nidos y analizarlos comprendió el proceso de incubación y los tiempos de eclosión.

Fue hasta el momento en que cortó un montículo y analizó su estructura que entendió cómo las crías pueden salir de los nidos.

De esta forma, la investigación de campo se conformó como un tipo de investigación que requería la manipulación constante de objetos en los sitios donde ocurren los fenómenos, sólo a través de la intervención, la manipulación de los objetos es que el investigador puede indagar a fondo el fenómeno. El objeto de investigación se va hilvanando en el mismo proceso de investigarlo, va tomando forma, se vuelve posibilidad. Las preguntas sobre él van naciendo a la par de la manipulación, son dos procesos paralelos. Al mismo tiempo, el sitio como parte del objeto epistémico va conduciendo la investigación, dando pistas al observador atento, señalando posibles caminos. El investigador por su cuenta va *aprehendiendo* las singularidades del sitio con todos sus sentidos, pero también con sus aparatos, con sus metodologías de investigación que se van entretejiendo con el sitio y el objeto de estudio. El escenario epistémico está dispuesto, sus actores representando el espacio de conocimiento en el que se ha convertido el campo, con su singular forma de generar conocimiento.

La historia de vida de Qamu no se reduce sólo al análisis de la puesta, anidación y eclosión de los huevos. Pero en ese momento era lo que se desconocía de este reptil y fue por ello que Cowles centró su esfuerzo en esto.

El trabajo de campo no sólo se hizo observando o excavando montículos, también se realizaron mediciones. Por ejemplo, el 21 de agosto de 1926 realizó una serie de mediciones del tamaño de los huevos de distintas muestras. Estos tenían en promedio 61.5mm de largo, 34.5 de diámetro y un peso de 41.5gr. Cowles pensó que las características de los huevos estaban determinadas por las condiciones de anidación. Después de exponerlos a las condiciones ambientales por 4 horas pesó los huevos y observó que en promedio habían perdido un 0.096% de su peso original. Esto podría significar que las condiciones internas del nido los mantienen con un cierto nivel de humedad (Cowles, 1930, p. 14).

Además de cuantificar características de los huevos, Cowles realizó registros de la temperatura fuera y dentro del nido. Para tomar la temperatura dentro del nido

ató un termómetro de alto grado a una cadena que introdujo dentro del hueco hecho con la barra de hierro en el centro del nido. Al introducir el termómetro tapó el orificio para que no se generara una variación en la temperatura interna. Además, mantuvo el termómetro dentro del nido por más de 5 minutos para registrar la temperatura. La temperatura en el exterior la tomó sólo exponiendo el termómetro en la superficie del nido (Cowles, 1930, p. 18). Es importante señalar que Cowles realizó el registro de la temperatura durante 3 meses, es decir, generó suficientes datos que le dieron una muestra representativa de las condiciones térmicas dentro y fuera del nido.

Cowles describió con detalle las condiciones de los huevos dentro y fuera del nido; las implicaciones que tienen estas condiciones para su desarrollo y el proceso de puesta de huevos durante la época de lluvia. Estas descripciones fueron apoyadas en la evidencia que iba encontrando durante las excavaciones de los nidos. Desafortunadamente no pudo hacer observaciones en campo de Qamu poniendo sus huevos (a pesar de haber ofrecido a los nativos aproximadamente \$250 dólares si le enseñaban a un varano escarbando un montículo de termitas). Cowles señala que “en este sitio sólo las termitas construyen largos montículos de barro en lugares expuestos al sol y con un amplio número de pequeñas cámaras compuestas de celdas con paredes delgadas” (Cowles, 1930, p. 16). Cowles señaló cómo estos nidos proveían las mejores condiciones como incubadoras para los huevos. Al parecer, la temperatura y humedad dentro de los nidos de las termitas eran las mejores para el desarrollo de los huevos. Dentro del nido el rango de variación de la temperatura es mucho menor que afuera, mantiene los huevos siempre en un rango de temperatura apropiado. Generalmente el nido está seco, pero si afuera estuviera lloviendo o se humedeciera en las mañanas, las cámaras que los forman los hacen poroso, esto permite la circulación de aire, mantener ventilado el nido y una temperatura uniforme. Además, el movimiento de las termitas y/o la oxidación de residuos vegetales también mantienen una temperatura estable dentro del nido (Cowles, 1928, 1930). Al parecer la condición más importante para el desarrollo completo de los huevos de Qamu es que la temperatura de su medio se mantenga en un rango relativamente constante y con pocas variaciones. El

varano utiliza las condiciones que las termitas generan en su hogar para utilizarlo como incubadora de sus huevos.

Este recuento del trabajo de Cowles sobre el varano del Nilo muestra el trabajo de campo en pleno desarrollo. El trabajo que va más allá de observar y recolectar es un análisis cuidadoso de las condiciones que dan cabida a fenómenos que no se explican más que manipulándolos. El investigador va adquiriendo experiencia y conocimiento sobre los fenómenos que investiga porque los interviene, corta nidos, analiza los embriones, da seguimiento al proceso de incubación, describe y analiza las características de los huevos, los mide; hace registros de las condiciones térmicas de los nidos. Esto es un trabajo de investigación en el que van emergiendo los hechos, pero estos no se revelan, digamos, a simple vista sino, utilizando una metáfora que va muy bien con el trabajo de campo de Cowles, *escarbando y profundizando en ellos para develarlos*. De esta forma los fenómenos de investigación no están dados, se van confeccionando en un proceso que implica observarlos, analizarlos, darles seguimiento, medirlos, compararlos utilizando instrumentos para cuantificar distintos parámetros. Pero esto sólo es posible, al menos para este tipo de objetos de investigación, en los sitios donde de hecho suceden los fenómenos, esto es, el campo. Para analizar el ciclo de vida de Qamu, Cowles sabía que tenía que salir ahí afuera encontrar el sitio donde el animal deposita sus huevos y seguir el proceso de incubación, es *ahí y sólo ahí* donde el fenómeno adquiere significado porque es ahí donde ocurre, porque sólo se constituye como un objeto de investigación en ese sitio. Su potencialidad como objeto científico no sólo está dada por el objeto en sí mismo, sino por el lugar donde se encuentra. De esta forma el espacio físico donde el fenómeno se acontece adquiere relevancia epistémica. El lugar no es sólo el sitio de trabajo, es el objeto de investigación.

En un solo movimiento, dos procesos están ocurriendo, el objeto de investigación se está constituyendo y al mismo tiempo distintas preguntas emerger porque se observan nuevas situaciones que no se habían presentado antes. La pregunta inicial sobre el sitio donde pone Qamu sus huevos se multiplica después en muchas otras

mostrando que el fenómeno tiene distintos elementos, es complejo. A la par de las preguntas nuevos objetos emergen. El termitero ya no sólo es un montículo de tierra donde el reptil deposita sus huevos, adquiere otras capas, su ontología se engrosa, es un sitio con características particulares que lo hacen el lugar idóneo para el desarrollo de los huevos, es una incubadora con las condiciones idóneas para la circulación de aire, temperatura y humedad, tiene una arquitectura particular que le da estas características (las chimeneas), es un sitio que protege los huevos de la depredación. El montículo de las termitas se convierte de esta forma en otro objeto de investigación central para entender la historia de vida del varano del Nilo.

Aunque el interés principal del Cowles fue trabajar sobre la historia de vida de Qamu, durante su estancia en Sudáfrica también hizo observaciones y anotaciones sobre diferentes grupos: aves, reptiles, anfibios, mamíferos. Sobre distintos aspectos de estos grupos: hábitos de crianza del sapo del género *Scaphiopus*; formas de anidación del toco coronado (*Lophoceros melanoleucus* L); notas sobre los hábitats y hábitos de animales vertebrados poiquilotermos; notas sobre la fauna de mamíferos; observaciones sobre los hábitats de las aves de los matorrales espinosos (Cowles, 1926, 1936a, 1936b, 1937, 2008 overzise box 1, folder 4, 5, 9, 10, 12). La mayoría de estos trabajos son el resultado de largos periodos de observación en campo, registrando información, adquiriendo experiencia sobre el comportamiento de los animales en su hábitat. En la mayoría de los casos su análisis se basa en observaciones sin hacer algún tipo arreglo experimental. Realizó un trabajo en el sentido del historiador natural clásico, observar, registrar, sin manipulación. Este trabajo, de su época de investigación doctoral, es una muestra de la combinación de distintas prácticas científicas, de formas diferentes de acercarse a los fenómenos de estudio, estas formas incluyen a los escenarios epistémicos que sólo se presentan cuando la intervención está mediada por un arreglo experimental.

Cabe destacar de estos trabajos el analizar de la historia de vida de una especie de rana que es común en la región de Sudáfrica *Breviceps mossambicu*. Igual que para Qamu, Cowles realizó algunos experimentos sencillos para analizar el

desarrollo embrionario de esta especie. De este trabajo, se recupera esta cita donde se muestra cómo el investigador hace una distinción entre el trabajo que genera en un espacio artificial y ese que espera sea más cercano al hábitat del animal.

Se hicieron varios intentos para descubrir la historia de vida de *Breviceps mossambicu*, pero los especímenes mantenidos en *condiciones artificiales* no se desarrollaron, y los que se mantuvieron en lo que se esperaba fueran *condiciones naturales* fueron invariablemente destruidos por las hordas de pequeñas hormigas rojas. En un caso, incluso el padre fue aniquilado por estas hormigas. (Cowles, 1936a, p. 6)

Cabe destacar de esto, una distinción central en el trabajo de este investigador, y quizá del grupo de herpetólogos con el que estamos trabajando, entre lo artificial y lo natural. Igual que Mosauer, Cowles consideraba que esos lugares donde se recreaban las condiciones del campo (como el laboratorio) no alcanzaban el estatus epistémico básico que parece sólo ocurrir en los sitios donde el fenómeno es observado, donde el control del humano es mínimo. Para estos investigadores el campo fue el lugar donde efectivamente ocurrían los fenómenos y, por tanto, su valor epistémico estaba por encima de otros lugares, en particular el laboratorio. Sin embargo, aquí cabría al menos una pregunta: este campo, el lugar donde el fenómeno térmico se investigaba ¿fue en verdad un lugar inmaculado donde ocurrían los fenómenos sin la intervención del ser humano?, ¿en realidad el investigador fue sólo un testigo pasivo? En lo que he revisado esto no parece ser así, el investigador intervenía de forma importante el lugar donde observaba estos fenómenos, para indagar sobre ellos. El campo no parecía ser este lugar sin intervención, por el contrario, se generaba un espacio de investigación porque era manipulado, adecuado a las necesidades del investigador. En lo que sigue analizaré como el *sitio* jugó un papel fundamental en el trabajo de Cowles y el desarrollo de su investigación sobre la termorregulación.

2.2.- Por encima del borde del mundo: el desierto de California

Hasta este punto se ha abordado el trabajo de Cowles durante los años de estancia en Sudáfrica para su investigación doctoral. Sin embargo, desde 1916 había tenido contacto con el desierto de California antes de terminar sus estudios superiores. De hecho, el primer acercamiento que tuvo Cowles con este desierto fue en su juventud cuando trabajó en la región de irrigación del Valle Imperial alrededor de 1917 patrullando el área de las granjas. Cowles menciona: “fue mi primera experiencia con el desierto, sus plantas y animales residentes, sus tormentas, y su elevada y prolongada temperaturas en verano...” (Cowles y Bakker, 1977, p. 11). A partir de este momento y a lo largo de toda su carrera Cowles tendría una relación especial con el desierto de California. Este sitio se convertiría en el lugar central de su investigación por muchos años, fue el sitio que dio forma y sentido a su investigación sobre los reptiles y su teoría de la extinción de los dinosaurios. Es el lugar que dio legitimidad al conocimiento que generó y, por tanto, explorar la relevancia epistémica de espacios distintos al laboratorio se vuelve fundamental para este análisis.

Cowles estuvo en la academia de Oberlin preparándose para ingresar a la preparatoria Campbell (en California). Después realizó sus estudios superiores en la Universidad de Pomona donde se graduó en 1921 (Cowles, 2008 box 1, folder 1), de hecho, en 1973 recibió de esta universidad el doctorado en ciencias honorífico. El primer acercamiento al estudio de los reptiles de Cowles se debió a su interés por el efecto del veneno de las serpientes en los seres humanos (Turner, 1984). Dice Huey:

Cowles tuvo un breve flirteo con la inmunología esperando desarrollar un antiveneno. Afortunadamente para la herpetología, cuando descubrió que el antídoto ya había sido inventado, dejó esto y se interesó en la historia natural de las aves y reptiles de su tierra natal. (R.B. Huey, pers. comm. Recuperadas por Turner, 1984, p. 425)

Sin embargo, este interés se mantuvo en algunas de sus investigaciones, en un artículo publicado en 1935 muestra algunos experimentos que realizó sobre el efecto del veneno de la serpiente de lira o *Trimorphodon biscutatus* (antes *Trimorphodon lyrophanes* Klauber, 1924) en otros reptiles y mamíferos. No

obstante, su trabajo principal giró en torno a la temperatura y ecología de los reptiles. Su primera publicación en 1920 fue sobre la distribución de las serpientes y lagartijas de desierto de la región suerte de California, particularmente del área de Claremont, haciendo énfasis en algunos aspectos de su hábitat. Para este trabajo se basó en la lista de especímenes recolectados que tenía el museo de la Universidad de Pomona (Cowles, 2008 box 1 folder oversize 1). Después de estar en Pomona realizó sus estudios de posgrado en la Universidad de Cornell donde fue estudiante de Albert Hazen Wright. Este último era uno de los principales herpetólogos de Cornell durante en ese momento. Wright destacó como herpetólogo por hacer estudios en campo de anfibios y reptiles de Estados Unidos. Su trabajo sobre anuros fue el resultado de 8 años de estudio y el primero en Norte América sobre especies individuales (W. R. Hamilton, 1971)³⁷. Es muy probable que Cowles compaginara muy bien con Wright ya que ambos compartían el interés por estudiar a los animales en su hábitat.

Desde que Cowles llegó a California a los 19 años estuvo en contacto permanente con el desierto, trabajó *en él y sobre él*, se interesó por los animales que lo habitaban, se convirtió en su espacio de investigación para entender de forma vivida el esplendor de la naturaleza, su pureza y grandeza. Dio cuenta de fenómenos que sólo ocurren en este lugar por su extraordinaria particularidad. Cowles escribió:

...cuando comencé a dar clases como profesor de biología en UCLA me re-familiaricé con el desierto. Su gran extensión – su silencio, excepto por el canto del viento en los arbustos dispersos – donde habitan toda clase de creaturas, muchas de las cuales ya habían estimulado mi curiosidad. (Cowles y Bakker, 1977, p. 14).

Esto lo mencionó, porque su primera experiencia en el campo había sido cuando tuvo que trabajar durante sus estudios de licenciatura, es decir, Cowles no llega al desierto como investigador, su acercamiento a este sitio por su trabajo le hizo tener

³⁷ Wright además publicó dos importantes manuales, uno sobre ranas y sapos y otro sobre serpientes en coautoría con Anna Allen Wright: Handbook of frogs and toad of the United States and Canada de 1933 y Handbook of Snakes of the United States and Canada de 1957, publicados por Cornell University Press.

un especial aprecio por un espacio que no conocía pero que lo maravillaba. En su autobiografía hace una caracterización poética, reverencial y magnificente del estado de California de su potencialidad.

...es un estado complejo en cuanto a su medio natural, es una tierra de cambios y contraste entre las diferentes zonas que la componen. Considerando su diversidad climática este se puede dividir en al menos cuatro regiones de vida silvestre: arboledas, pastizales, bosques de coníferas y matorral desértico. (Cowles y Bakker, 1977, p. 26)

A través de un análisis cuidadoso de cada una de estas regiones Cowles dio cuenta de un territorio complejo, con una riqueza natural única, un sitio diverso en formas y con una gran potencialidad para estudiar. Además, Cowles se refirió de forma especial al desierto californiano³⁸:

Mi campamento, donde realicé investigaciones sobre el control de la temperatura animal, estaba localizado cerca de los matorrales de mezquite, con frecuencia en el sotavento de un montículo que desplazaba el viento, con la arena compactada (Cowles y Bakker, 1977, p. 48).

El desierto es especial porque justo ahí el científico de campo se cruza con las particularidades del lugar, con esas singularidades que lo hacen extraordinario, es justo el espacio no adulterado, la ventana única a ese universo, que sólo puede ser descubierto estando ahí y aprendiendo a revelarlo³⁹.

Para quienes aman el desierto, la noche es un momento para un profundo disfrute... no es para sentir miedo, sino para explorar. Las estrellas brillan y la débil luz trémula del cielo nocturno iluminó mi campamento y sus alrededores. Estirado en mi bolsa de dormir y relajado después de una buena comida y un vigoroso día de ejercicio y trabajo, mirando los meteoritos ocasionales y escuchando el confortable sonido de la noche – el distante aullido de un coyote, cuyos ladridos de

³⁸ Cowles no es el único científico o persona que escribe sobre la belleza, grandeza y esplendor del desierto de California. Hay una copiosa literatura en distintos géneros que recupera las vivencias de muchas personas en este desierto, revisar Nolan (2009).

³⁹ Esta forma de referirse a los espacios naturales no es exclusiva de Cowles, el biólogo de campo siempre ha considerado a los espacios en la naturaleza o “salvajes” como sitios especiales por su riqueza natural, por su belleza, por su particular complejidad única respecto de otros sitios, otro ejemplo de una visión poética y magnificente del desierto ver: Pianka (1994).

lamento pertenecen al desierto, y lo melodioso, de una doble entonación ulular de una pareja de búhos cornudos al pasar en la noche defendiendo y recorriendo su territorio, a la caza de incautos roedores. (Cowles y Bakker, 1977, p. 49)

El desierto es experimentado por Cowles de muchas formas. A lo largo de esta autobiografía señala esas pequeñas singularidades que lo envolvieron. Esos instantes que vivió en su campamento y los momentos de aprendizaje. Esta rica experiencia con las criaturas del desierto le da al investigador la autoridad epistémica para contarnos lo que pasa ahí, él es el hombre que nos lo puede decir porque no sólo vive el sitio, sino que lo define al interactuar con él. Pero al mismo tiempo, el lugar delimita las posibilidades del investigador, él sólo puede estudiar los objetos de investigación en función de las restricciones que el lugar también le imponga. Es una combinación entre la experiencia que va adquiriendo el investigador en su relación constante con el sitio, la forma en que lo va definiendo y constituyendo en un espacio especial generador de conocimiento y, los constreñimientos propios de los objetos de investigación ahí en el espacio experimental.

En verano, especialmente, el trabajo inició mucho antes de que amaneciera. Desperté al inicio del oscurecimiento de las montañas contra el cielo del este. Entonces la luz se extiende sobre esas sombras violetas de norte a sur. Finalmente, el horizonte brillaba como si se incendiara justo antes de **la explosión del sol por encima del borde del mundo**. (Cowles y Bakker, 1977, p. 50).

En la caracterización que hace el investigador del lugar hay dos elementos importantes, por un lado, la experiencia que va adquiriendo en su trabajo constante en el sitio, hay un proceso de entrenamiento, de aprendizaje. Por el otro, la forma en que se conciben estos espacios. Para Cowles el desierto californiano (al menos en estos primeros años de trabajo) es un lugar que no está adulterado, que aún conserva su estado puro. En el desierto se puede conocer lo que sucede porque no ha sido manipulado por el ser humano. El espacio natural sorprende a quien se permite vivirlo con toda su belleza oculta, con la magia de fenómenos únicos, extraordinarios que sólo el ojo que ha aprehendido a capturarlos, a través de la experiencia de estar ahí, pueden sentirlos en toda su magnificencia y esplendor.

En mis días de campamento el desierto fue prístino, bordeando las exuberantes tierras bajas en el Valle Imperial. Aparte del calor, o aún a pesar de este, la vida fue rica para un joven ya infectado con la entusiasta curiosidad de un naturalista. No faltaron curiosidades para el descubrimiento diario de hechos biológicos, belleza, y apreciación del valor propio y muy especial encanto del desierto (Cowles y Bakker, 1977, p. 67).

Turner (1984, p. 425) afirma que “Cowles fue un naturalista *par excellence*... seguramente obtuvo esta apreciación temprana de la historia natural por su madre, una ornitóloga amateur”. Como se ha venido señalando en este capítulo, a lo largo de su vida Cowles estuvo en contacto no sólo con el campo, sino con la práctica ornitológica, con la observación de los animales en su hábitat. En sus años de educación superior supo combinar muy bien su experiencia en el campo con la formación científica, una forma de trabajo que desarrollo a lo largo de su vida como investigador. Finalmente, Cowles el hombre que trabajó por 40 años en el desierto de California nos dice:

Lo que queda del espacio inmaculado del desierto son los últimos fragmentos de naturaleza virgen restante en muchas partes del Sureste (de California). Estos son hospitalarios a quienes les otorguen el debido respeto y a quienes tienen el conocimiento necesario para disfrutar sus cañones pequeños e íntimos, sus amplias llanuras bañadas de sol, las plantas y animales que viven ahí. El desierto tiene satisfacciones únicas, la *estética* y la *científica*. Tenemos un número de razones para estar agradecidos de esos páramos al este de las montañas. (Cowles y Bakker, 1977, p. 50)

Esta visión romántica de Cowles sobre California y en particular del desierto muestra al menos dos cosas acerca del lugar donde el investigador desarrolla su trabajo: 1) cómo el sitio forma parte central en la generación de conocimiento. El campo se estructura en dos dimensiones, se constituye como el referente empírico de trabajo, pero al mismo tiempo es el sitio físico donde la investigación toma lugar y 2) el lugar se convierte en un *sitio generador de verdad* (o truth-spot) esto es, en una locación geográfica delimitada que da credibilidad a las afirmaciones de los científicos. Los sitios generadores de verdad son *lugares* que no solo ocupan un

espacio en el universo, además son irreducibles a: 1) las cosas materiales aglomeradas ahí, ambas, naturales o edificaciones humanas; y 2) las interpretaciones culturales y narraciones (más o menos explícitas) que dan significado a los sitios (Gieryn, 2006, p. 29). De esta forma, el campo adquiere un espesor como actor importante e irreducible en la producción de conocimiento. No es un lugar indefinido y sin importancia donde están los objetos de interés científico, donde se puede recolectar, manipular o realizar experimentos, es el espacio de trabajo, donde las representaciones de los objetos de investigación toman forma y significado porque se realizan justo en ese sitio. Los objetos de investigación adquieren sentido porque son constituidos en este espacio, porque el campo en contraste con otros sitios tiene un valor epistémico para estos fenómenos o, mejor dicho, los objetos de investigación adquieren un valor epistémico porque emergen en este sitio y el lugar es constitutivo del fenómeno, no es sólo el espacio donde está el objeto de investigación, el espacio mismo es parte de la representación del objeto epistémico. Esto lo veremos mejor cuando analicemos con detalle la investigación de Cowles y Bogert sobre la termorregulación. De esta forma, el desierto de California y en particular el sitio donde trabaja Cowles no es cualquier punto en el universo ni la suma de cosas que están ahí, es el conjunto de las prácticas de investigación, de la experiencia adquirida justo en ese lugar, de los objetos de investigación y de las particularidades de este espacio que constituyen al desierto de California como *el lugar* generador de conocimiento.

Parte importante de la reflexión que se ha desarrollado muestra que *dar cuenta del lugar, del sitio de trabajo del investigador es central para entender cómo se genera el conocimiento*, el 'espacio físico' es relevante para darle credibilidad y autoridad a las prácticas científicas. Si miramos en la práctica de la investigación en la biología desde el siglo XIX podemos ver que han existido diferentes tipos de lugares donde se han realizado investigación en distintas disciplinas: museos, herbarios, vivarios, invernaderos, jardines botánicos, estaciones experimentales, el campo y el laboratorio (Forgan, 1994; Livingstone, 2003; Outram, 1996; Secord,

1994b)⁴⁰. Sin embargo, es posible que a finales del siglo XIX el laboratorio como *el lugar* dónde se hace la ciencia moderna haya ganado prominencia por encima de los otros. De acuerdo con Kohler (2002a) a finales del siglo XIX el laboratorio se convirtió en el espacio privilegiado para la investigación, alcanzó una importante hegemonía, se transformó en el punto de referencia de la ciencia moderna y en el marco de evaluación para otras prácticas que pretendieran hacer investigación. Además, como el laboratorio se convirtió en el lugar donde “*se hace ciencia*”, otras prácticas de investigación (como el trabajo de campo) pretendían llevar a su terreno los estándares del laboratorio para darle credibilidad a su trabajo.

A todo esto, cabría al menos una pregunta, ¿qué clase de lugar es el laboratorio para constituirse como el referente principal de la ciencia moderna? Kohler (2002a) hace una caracterización del laboratorio, pero dice: “...no de cualquier laboratorio en cualquier periodo histórico, sino el laboratorio moderno de finales del siglo XIX” (p. 6). El laboratorio es un espacio neutral, con elementos pasivos, manipulables, donde el lugar no forma parte de lo que se hace ahí, los investigadores en el laboratorio eliminan los elementos del lugar de sus experimentos. El laboratorio es un entorno controlado, invariable y genérico. Un lugar donde sólo entran personas calificadas, con las credenciales suficientes para estar ahí, es un mundo aparte del mundo (Kohler, 2002a).

Es precisamente la sencillez y la invariabilidad reducida de los laboratorios – *placelessness* (carencia de lugar o no-lugaridad) – lo que les da su credibilidad. Lugares genéricos mantienen la ilusión de que las creencias y prácticas de sus habitantes son las creencias y prácticas de todos. Damos crédito a los conocimientos y prácticas que son universales y desconfiamos de lo que es meramente local y particular. Los laboratorios están destinados a parecer universales, iguales en todas partes. La variabilidad de la inesperada naturaleza no tiene cabida en los laboratorios. Tales cosas socavarían la razón por la que confiamos en los experimentos. (Kohler, 2002a, p. 7)

⁴⁰Ya se había mencionado el volume 11 de *Osiris* 1996 donde se analizan las ciencias del campo entorno a tres ejes: apropiación cultural, conocimiento y poder e, identidad y género. Para una introducción de este análisis ver: Kuklick H. y R. E. Kohler (1996) “Introducción” *Osiris* 11, *Science in the field*, p. 1-14

Si bien como lo menciona Kohler el laboratorio se constituyó como el lugar más importante para la investigación desde el siglo XIX y durante todo el siglo XX, esto no significa que otras prácticas de investigación, como el trabajo de campo, buscaran afanosamente emular o alcanzar los estándares del laboratorio. Según esta visión, la credibilidad y confianza en el laboratorio ideal están basadas en valores clásicos que se han pensado como virtudes esenciales de la ciencia: la universalidad, la neutralidad, la manipulabilidad, la sencillez, la invariabilidad, y, sobre todo, su *placelessness* (carencia-de lugar), es decir, esta suerte de ser un lugar, el laboratorio, pero que no se identifica con un laboratorio en particular. El carácter de carencia-de lugar señala justamente que lo que se hace en un sitio en particular adquiere su valor no porque se hizo ahí en ese lugar en específico, sino porque puede hacerse en cualquier sitio idéntico al primero. De tal forma que el conocimiento hecho en un laboratorio adquiere una suerte de universalidad y, por tanto, credibilidad y confianza.

Esta noción de carencia-de lugar tiene que ver con los valores que se han acuñado, de acuerdo con Kohler, durante la revolución social e industrial del siglo XIX.

...hemos vivido en una cultura que valora lo universal sobre lo local, en tal cultura la *placelessness* es una razón de confianza... Damos crédito a creencias y prácticas que viajan rápido y se asimilan en cualquier lugar, ya que parecen no ser locales, sino universales. (Kohler, 2002a, p. 8)

Que el laboratorio sea caracterizado como un *placelessness* parece darle el sentido de veracidad, confianza y universalidad los que parecen ser valores centrales de la ciencia, o al menos de una imagen ideal de la ciencia. Sin embargo, es posible que esta caracterización del laboratorio como un lugar sin lugar, un *placelessness*, sea una atribución impuesta para darle credibilidad y preeminencia a este sitio, para pensarlo como el espacio por excelencia para la producción de conocimiento. Donde la localidad es desdibujada por la pretensión de universalidad.

La invención moderna del laboratorio se puede interpretar como un esfuerzo consciente de crear un “sin lugar” [*placeless*] lugar para hacer ciencia, un sitio en el

universo donde la influencia de lo local es eliminada. Asegurar credibilidad y lograr objetividad requiere un “*placelessness*” y el triunfo del laboratorio como el sitio *per excellence* de la ciencia plausible desde mediados del siglo XIX da testimonio de esta convicción imperante. (Livingstone, 2003, p. 3)

Por otra parte, la noción de *placelessness* recupera una noción industrialista y mecanicista de lo moderno. Donde el lugar de fabricación, en este caso producción de conocimiento, no tiene distintivos, es un sitio igual a otros donde se maquila el conocimiento. El carácter universal y reproducible del lugar está dado por su falta de identidad, por una idea monolítica del laboratorio y de la práctica científica.

Sin embargo, la noción de *placelessness* deja de lado el importante rol que tiene el lugar para la experiencia humana (Relph, 1976). Si en el trabajo de laboratorio poner al lugar al margen de la práctica científica puede ser una de sus características más relevantes, esto no es necesariamente así en otros espacios de investigación, como la investigación de campo. En el trabajo de campo la forma en que nos relacionamos con el lugar es fundamental para conocerlo y para la emergencia de los objetos de investigación. Como lo señala en su libro *place and placelessness* el geógrafo Edward Relph (1976) un auténtico sentido del *lugar*:

...es una experiencia directa y genuina de todo el complejo de la identidad de los lugares – no mediada o distorsionada a través de una serie de modas sociales e intelectuales bastante arbitrarias acerca de cómo esa experiencia debe ser, ni siguiendo las convenciones estereotipadas. (p. 64)

Así, el lugar tiene que ser vivido para conocerse, la experiencia de habitarlo le da sentido y forma. Para Ralph en esta modernidad, este sentido auténtico del lugar está siendo eclipsado gradualmente por una actitud menos auténtica que llama *placelessness*: “la erradicación casual de los lugares distintivos y la realización de paisajes estandarizados que resulta de una falta de sensibilidad a la importancia de lugar” (Relph, 1976 prefacio). Relph sugiere que, en general, la carencia de lugar surge de una aceptación acrítica de los valores de masa y técnica, de la imperiosa preocupación con la eficiencia como un fin en sí mismo. Cuando se apela a la *placelessness* como un elemento distintivo del laboratorio también se está refiriendo

a esta universalidad de masas, a la producción de conocimiento manufacturado que puede hacerse en cualquier laboratorio porque no hay nada distintivo entre estos, porque el lugar no es parte importante para la generación del conocimiento.

En contraste con esta idea, aquí se sostiene que la variabilidad, irrepitibilidad, mutabilidad, etc., no tienen por qué ser elementos que constriñan las posibilidades de generar conocimiento veraz y fiable, por el contrario, este dinamismo de los espacios es justamente lo que les confiere su riqueza, su potencialidad como lugares para conocerse. Si bien, el campo no es un escenario construido al cien por ciento por el hombre y, por tanto, con menor posibilidad de manipulación, es un lugar cuya particularidad y poca posibilidad de control lo hacen rico en sus posibilidades como entidad, como espacio productor de conocimiento. La diferencia entre estos dos lugares está en la forma en que se conduce la investigación, pero esto no significa que el laboratorio sea un mejor lugar generador de conocimiento y el campo peor, son formas distintas, que pueden compartir elementos de diferentes índoles. El campo puede convertirse en un lugar experimental, pero esto no necesariamente significa que busque emular al laboratorio, solo recupera elementos de éste y al hacerlo los transforma para generar otras formas investigación.

Una manera de caracterizar mejor qué son los lugares y cómo estos tienen importancia epistémica, sería pensarlos como sitios generadores de credibilidad, donde las afirmaciones de conocimiento sobre el mismo sitio o sobre los fenómenos que son estudiados ahí adquieren valor en parte porque tienen su origen en dicho lugar. En lo que sigue se revisará cómo se da la conformación del campo como lugar para generar conocimiento y cómo sus características permiten dar credibilidad al conocimiento que ahí se genera. En este sentido, para el caso que analizo, el desierto de California se convirtió en el sitio donde el fenómeno térmico se puede estudiar y Cowles en el investigador con el conocimiento de este lugar que tiene la experiencia y posibilidad de revelarlo porque lo ha vivido.

El conocimiento generado en campo puede adquirir credibilidad de forma distinta al laboratorio Gieryn (2006) realiza una caracterización de cómo se da esta

credibilidad y será importante recuperarla para luego mostrar como de hecho Cowles tiene una relación de este tipo con el campo:

...las observaciones de campo permiten a los investigadores examinar la realidad antes de que ésta haya sido transformada en artefacto vía las intervenciones del laboratorio. El campo lleva consigo una idea de realidad no adulterada, descubierta en el momento. Ciertos sitios del campo se transforman en ventanas únicas sobre el universo, revelando sólo en este lugar algo que no puede ser movido o replicado en el laboratorio. En tal instancia, 'estar allí' se transforma en un parte esencial de afirmaciones de autoridad para una observación o descubrimiento. En el campo, una inevitable falta de control se convierte en su propia virtud. Los científicos *en plein air* son probablemente más abiertos a las sorpresas que podrían interrumpir las expectativas de investigación en formas prometedoras, esto sólo porque es más difícil para los sitios de campo cerrarse a las intrusiones humanas y naturales. Los científicos de campo frecuentemente inmersos en un sitio por un largo periodo de tiempo, desarrollan encarnadas formas de sentir, ver y entender – lo que se transforma análogo a los fríos y precisos instrumentos del laboratorio. (Gieryn, 2006, p. 6)

La caracterización que hace Gieryn sobre la forma en que el campo adquiere autoridad epistémica es muy cercana a lo que he revisado. El desierto de California, donde realizaron sus investigaciones Cowles, Mosauer, Bogert se convirtió en esa ventana del universo única para estudiar los fenómenos térmicos, no es que el fenómeno fuera exclusivo de los reptiles que viven en este desierto, más bien, fue el espacio que los investigadores eligieron para estudiarlo. Esta imagen de espacio no adulterado es parte del valor epistémico que le dan los que trabajan en estos sitios. Es un requisito necesario para indagar sobre fenómeno con esta naturaleza situada. Como lo afirma Gieryn, "estar allí", desarrollar esta forma encarnada de sentir, de ver, de entender y aprehender con todos los sentidos. Con esto se desarrollan habilidades y sensaciones fundamentales para indagar los fenómenos que sólo se presentan en dichos espacios. La autoridad epistémica se conforma con la experticia adquirida por el investigador que vive estos espacios con plenitud.

Si bien comparto esta idea de Gieryn, que puede aplicarse muy bien al trabajo del historiador natural, difiero respecto de prácticas que implican una mayor intervención de los sitios de campo, como las que estoy revisando. En el estudio de la biología térmica fue necesario intervenir los sitios de investigación. Esto no menoscaba su autenticidad o realidad convirtiéndolos en artefactos, más bien, a partir de los arreglos experimentales se pueden analizar más a fondo o de una forma diferente los fenómenos en el campo. Los instrumentos y dispositivos que se utilizan permiten a los investigadores ahondar en los objetos epistémicos, son herramientas de trabajo que transforman al sitio y lo convierten en objeto de investigación. Es importante recordar que aún con los arreglos experimentales, los sitios se mantienen fuera del control humano, por ello forman parte importante del trabajo experimental como actores activos. Con los arreglos experimentales sólo se consiguen controlar algunas variables. Por ellos es central la experiencia sobre el comportamiento de los sitios y de los objetos que se están estudiando por parte de los investigadores.

Los sitios de investigación en el campo son lugares que no son la naturaleza pura, sino que se intervienen para generar algún tipo de respuesta, para producir algún efecto que se está buscando. Finalmente, en el sitio de campo también se hacen experimentos. Los escenarios epistémicos justamente son la conjunción armónica entre el sitio, la experticia del investigador, la estructura experimental y la intrincada relación entre estos tres actores en un momento particular.

2.3.- El arreglo experimental de Raymond B. Cowles

Como se mencionó en el apartado anterior, el lugar donde se desarrolla la investigación sobre los fenómenos térmicos en reptiles tiene un papel preponderante para la investigación. Dice Kohler (2002a, p. 136): "... en el campo, decidir qué hacer es a menudo lo mismo que decidir dónde hacerlo". Por esto, en su trabajo principal y como parte de sus materiales y métodos, Cowles y Bogert describen la región donde trabajaron, la elección de los sitios de muestreo,

recolección, observación y experimentación sería fundamental para entender la dinámica de la investigación de campo y sus resultados.

Durante el último lustro de la década de 1930 Raymond Cowles tuvo un interés particular por estudiar las adaptaciones de los reptiles a su ambiente térmico en las zonas áridas. Fue en este sitio donde inició su primer estudio detallado sobre la biología térmica de los reptiles (Adler, 2007, p. 116; Cowles y Bakker, 1977, p. 90). Estableció una estación de campo cerca de la localidad Indian Wells, en el Condado de Riverside, California (**foto 3**). Esta zona se encuentra en el Valle de Coachella a pocos metros sobre el nivel del mar. Pertenece a la subdivisión Colorado del Desierto Sonorense que corresponde a la parte baja de la cuenca del Río Colorado. Es la subdivisión más grande de este desierto, la más árida y cálida. Por sus características ambientales, su topografía y su clima, el Valle de Coachella es un espacio adecuado para estudiar la regulación térmica de los reptiles. Conformado por un grupo de pequeñas montañas con elevación máxima de 10,805 pies (monte San Jacinto 3293 metros) con un radio de pocos kilómetros. Ahí se pueden obtener diferentes especies de reptiles, arenícolas y subterráneas en el fondo del valle; rupícolas en las colinas y cañones de las montañas adyacentes. En la zona más alta se encuentran especies de climas más fríos y húmedos característicos del sur de California.



Foto 3. Vista aérea del escarpado monte San Jacinto, al noreste del condado de Riverside, California. La ciudad de Palm Springs se encuentra al pie de la montaña, a una altura de apenas 500 metros. La cumbre de San Jacinto Peak está a 3293 metros sobre el nivel del mar. (Cowles y Bogert, 1944)

El Valle de Coachella es una región de vegetación xerófila, es un desierto de calor extremo y aridez que se caracteriza por presentar de forma esporádica vegetación anual abundante y escasa vegetación perenne. Esta última crece tan sólo unos metros como máximo. Son pocas las plantas robustas que crecen, por ejemplo, el sauce del desierto *Chilopsis linearis*; el palo verde *Cercidium floridum*; el árbol de humo *Dalea spinosa* y el ocotillo *Fouquieria splendens*. Estas especies son abundantes localmente, pero a nivel individual están dispersas. La única especie nativa que vive en pequeños grupos es *Prosopis chilensis* el mezquite (**fotos 4 y 5**). Los microhábitats en los matorrales de mezquite tienen las mejores condiciones ecológicas para los reptiles, así como las plantas pequeñas y

compactas, pero abundantes como *Franseria dumosa*, *Salsola hymenodea* y *Krameria grayi*. Otro de los elementos abundantes y omnipresentes en hábitats desérticos son las madrigueras (que se pueden hacer rápidamente con la abundante grava y arena), grietas y agujeros hacia donde pueden retirarse del fuerte calor con facilidad los reptiles, ya que les quedan a pocos metros de su actividad. Durante la primavera las efímeras plantas anuales proporcionan abundante sombra, pero su valor principal parece residir en el forrajeo que proporciona por los insectos y la misma vegetación a las pocas especies herbívoras.



Foto 4. La escasa vegetación perenne en los desiertos proporciona sombra limitada e interrumpida. Primer plano a la derecha, *Encelia farinosa*. Los tallos del ocotillo, *Fouquieria splendens*, se muestran al fondo de colinas. (Cowles y Bogert, 1944)

La estación de campo de Cowles estaba inmersa en una zona de matorral de mezquite “Establecí lo que fue un equipo de campamento estándar en ese momento – una casa de campamento, una bolsa de agua “rata del desierto”, una estufa Coleman y una silla de campamento” (**foto 6 y 7**), (Cowles y Bakker, 1977, p. 90). En este sitio de campo Cowles construyó una serie de dispositivos con características muy específicas para mantener a los animales en observación y realizar mediciones.



Foto 5. Vegetación anual de algunas especies que proporciona una fuente efímera de sombra. (Cowles y Bogert, 1944)

...con el fin de mantener el ambiente *lo más cercano posible* al que ocupan los animales en la naturaleza, se construyeron cajas de alambre tejido en un gran claro en la espesura de los árboles de mezquite (**foto 8 y 9**). (Cowles y Bogert, 1944, p. 274)

Es justo en este lugar dentro del desierto donde el investigador irrumpe el entorno, el sitio es utilizado y ajustado. Por sus características particulares, esta zona se convirtió en un espacio representativo del desierto, como espacio potencial para generar conocimiento. El lugar adquirió valor epistémico por distintas razones: tenía valor en tanto que fue elegido por ser representativo del entorno: “Mi matorral del mezquite estuvo aislado y lleno de la vida salvaje del desierto” (Cowles y Bogert, 1944, p. 90), fue caracterizado como: el lugar *más cercano posible* al que ocupan los animales en su ambiente. Porque era el sitio que el investigador eligió según su experiencia (el conocimiento que tenía del desierto) y lo que necesitaba para el arreglo experimental.

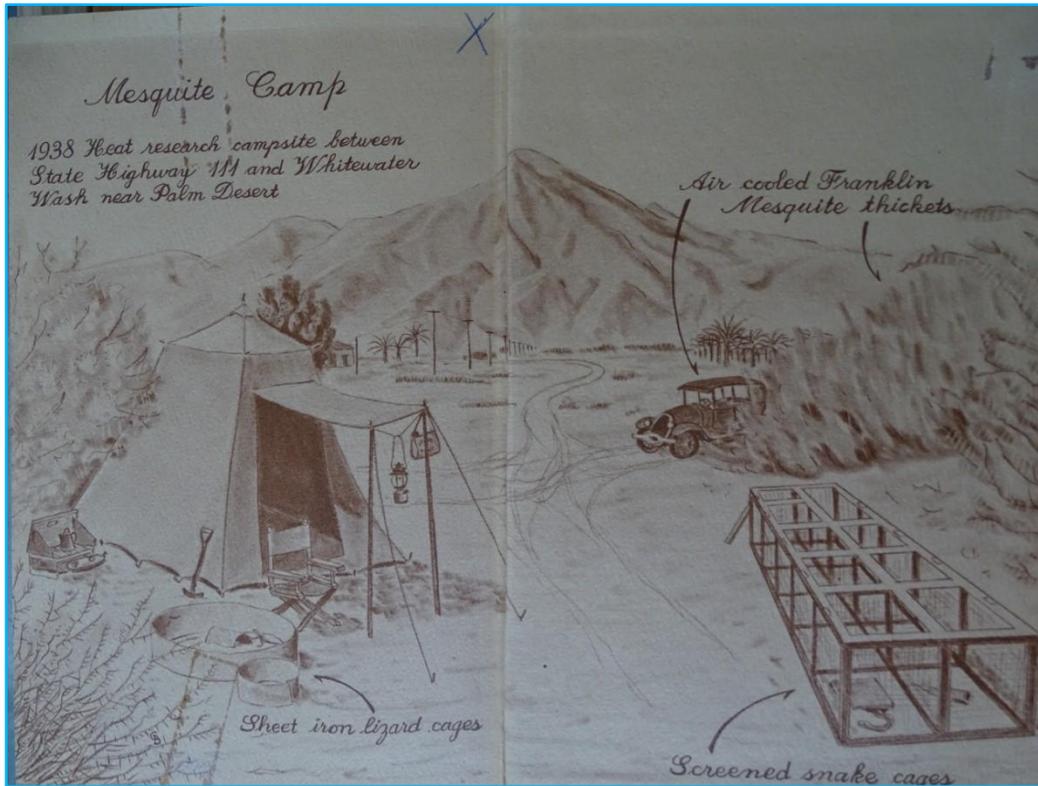


Foto 6. Estación de campo de Cowles durante el segundo lustro de la década de 1930 en el Valle de Coachella, muestra la disposición de las cajas experimentales y de su tienda de campo. (Cowles y Bakker, 1977)



Foto 7. Foto de la zona donde estaba la estación de campo de Cowles. Se observa su camioneta y al parecer de fondo el monte San Jacinto. (Bogert, 1939)

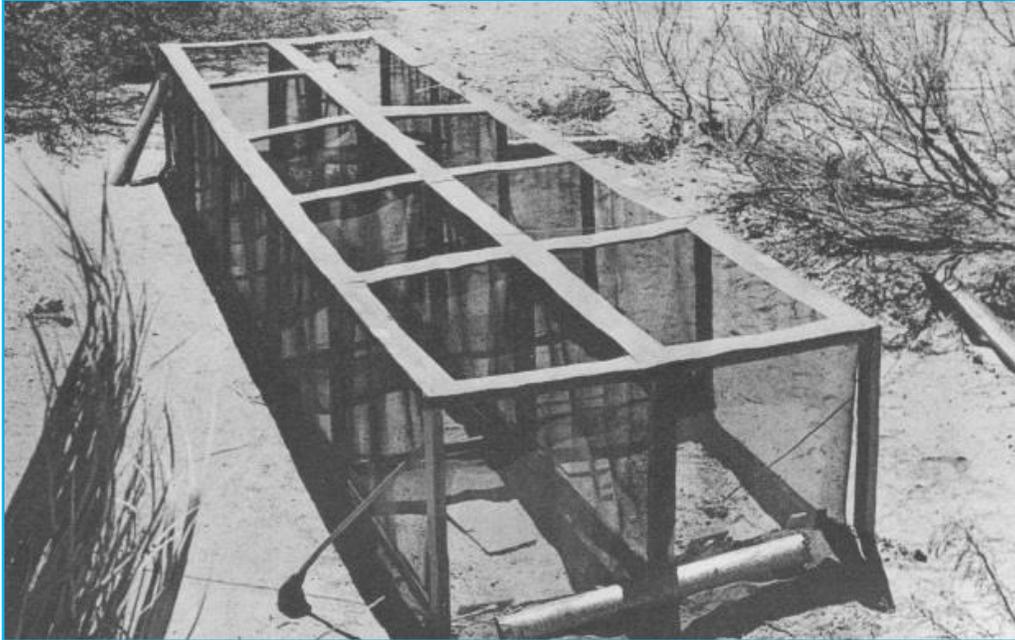


Foto 8. Jaula de tela metálica instalada en el campo, utilizada para mantener a los reptiles bajo observación. Con tiras colgantes en la parte superior para evitar que escaparan los animales experimentales. (Cowles y Bogert, 1944)



Foto 9. Collares de hierro galvanizados usados para confinar reptiles pequeños, como los lagartos cornudos que no pueden saltar. (Cowles y Bogert, 1944)

Cowles eligió un espacio en la zona del matorral de mezquite, que es la vegetación más representativa de esta zona del desierto de Mojave, pero no cualquier sitio, sino uno que tuviera claros. Esto pudo ser por dos razones, por cuestiones pragmáticas, zonas de claro son espacios adecuados para establecer una estación de campo, tanto para el proceso de investigación como para entrar y salir de la zona. De hecho, su estación de campo estaba cercana al camino que conectaba los condados de Palm Desert en el oeste e Indio en el este. Por otro lado, la posibilidad de recolectar animales en claros era mayor que en zonas con mucha vegetación, además los reptiles suelen salir a estas zonas. Bogert (1939) describió este sitio de investigación.

El campamento se estableció cerca de Indian Wells en el extremo oeste del desierto en la sombra proporcionada por un denso grupo de mezquites. En este sitio teníamos a la mano tanto el monte San Jacinto como una gran extensión de dunas de arena. En las inmediaciones cercanas fue posible obtener reptiles de varios tipos: especies que habitan en las rocas en las estribaciones⁴¹ o cañones, formas que aman la arena de las dunas, así como aquellas que prefieren vivir en campo abierto donde hectáreas de arbustos de creosota⁴² les proporciona escasa sombra. (Bogert, 1939, p. 28)

Bogert (1939) llama al arreglo de instrumentos y dispositivos que montó Cowles en el campo: “nuestro *laboratorio del desierto*” (p. 28) describe cómo funcionaban estas cajas experimentales para simular las condiciones de vida de las serpientes.

El doctor Cowles había construido varias cajas en un claro a un lado del campamento. Las cajas fueron provistas con “madrigueras” artificiales que consistían de secciones de tubería de arcilla enterradas en el suelo donde los reptiles capturados podrían buscar refugio voluntario. Como estas tuberías se inclinaban hacia abajo, el aire en la parte inferior era mucho más frío que el aire de la superficie. (Bogert, 1939, p. 28)

⁴¹ Una estribación es un grupo pequeño de montañas que derivan de un sistema orográfico mayor.

⁴² Es una especie de plantas (*Larrea tridentata*) comunes en el desierto de Estados Unidos y hasta el desierto de Chihuahua.

Las cajas, los componentes y la forma en que estaban dispuestos eran parte del diseño experimental, pero Bogert también resaltaba el uso de instrumentos precisos de medición como elementos sustantivos para conformar este “laboratorio de campo”.

Además de los termómetros ordinarios del laboratorio, teníamos un dispositivo conocido como termopar, que registraba temperaturas casi al instante. En este instrumento, los registros son el resultado de la electricidad producida por la acción directa del calor aplicada a dos alambres de metal diferentes unidos en sus extremos. El termopar proporciona lecturas más precisas que el termómetro, el cual requiere varios segundos para registrar cualquier cambio considerable. (Bogert, 1939, p. 28).

Este lugar en el desierto era el espacio representativo del ambiente donde habitan los organismos, pero al mismo tiempo, fue el espacio experimental que estaba intervenido y era ajustado a las necesidades de la investigación, los instrumentos de medición, la simulación de madrigueras, las técnicas y métodos que se desarrollarían generarían un espacio de investigación material y técnicamente mediado. Así el sitio jugaba dos papeles en un mismo momento, como lugar de investigación y objeto de investigación, convirtiéndose en un *escenario epistémico* situado para estudiar el fenómeno térmico de los reptiles del desierto.

Pero además del sitio, hubo otros criterios importantes para que Cowles y Bogert desarrollaran su trabajo en el desierto. De acuerdo con Bogert, ellos ya sabían, por las investigaciones previas tanto de Cowles (1936a, 1939) y Mosauer (1935, 1936) que las condiciones térmicas de los microclimas donde habitaban los organismos no eran homogéneas. Según Bogert, sabían que los reptiles en su hábitat nativo pueden atravesar por diferentes zonas térmicas, que cada dimensión material del espacio tenía sus propias características térmicas. El aire generalmente presentaba una temperatura y variación menor a la del suelo, además los reptiles no necesariamente tenían la temperatura de alguno de estos dos medios. Por lo que “no era práctico correlacionar la temperatura corporal de un reptil con la composición de temperaturas que existen en varios elementos de su entorno” (Bogert, 1949b, p. 196).

Bogert además señala que ésta fue una de las razones que dificultó simular las condiciones de estos sitios en el laboratorio. “Después de experimentar con varios tipos de aparatos consideramos conveniente la instalación de cajas abiertas en el campo donde los animales pudieran ser confinados y observados en una aproximación cercana de su ambiente nativo” (Bogert, 1949b, p. 196).

Por lo tanto, el campo no sólo era el sitio ideal. Además, por su naturaleza, el fenómeno no podía recrearse en el laboratorio. El fenómeno térmico en los reptiles del desierto se configura justo en ese espacio y cualquier intento de recreación en un laboratorio fallaría porque no podrían imitarse las condiciones del complejo ambiente térmico donde el fenómeno térmico de los reptiles se manifiesta. Bogert al igual que Mosauer y Cowles consideran que el sitio idóneo para investigar un fenómeno de esta naturaleza era el campo. Por la naturaleza espacial que tiene el fenómeno requería los elementos originales que lo componen los microclimas, los volúmenes térmicos en el hábitat del animal son tan intrincados y complejos que pretender simularlos en un laboratorio, por medio de algún dispositivo era una tarea infructuosa. Por su particularidad e imposible reproducibilidad, los sitios de campo mantienen un valor epistémico por encima de otros espacios donde se pretenda recrear sus condiciones.

2.3.1.- Desarrollo experimental⁴³

Cowles señala que pasó un tiempo importante en su campamento probando la temperatura límite más alta que soportaban las lagartijas y serpientes nativas de la zona exponiéndolas al sol, atándolas para permitirles correr sin que pudieran llegar a espacios con sombra. Cowles se sorprendió por lo rápido que mueren estos animales en su hábitat natural al exponerse por minutos al sol (Cowles y Bakker, 1977, p. 91). Bogert describió estas primeras observaciones que los sorprendieron:

En nuestro laboratorio del desierto, una vez que reunimos los suficientes lagartos... Elegimos un día que tuviera temperatura a la sombra cercana a 37°C, y

⁴³ La narración de los procedimientos experimentales en este apartado es recuperada principalmente de Cowles y Bogert, 1944. Si no es el caso, lo señalo.

la temperatura de la arena en el sol superior a los 57°C. Primero seleccionamos una lagartija Nocturna del Granito (*Xantusia henshawi*), una especie que tiene un cuerpo aplanado que le permite buscar refugio en pequeñas grietas desde las cuales se aventura sólo después del anochecer. La lagartija fue liberada a la sombra. Instantáneamente huyó de nosotros, se escabulló hacia el sol donde se detuvo abruptamente, abrió la boca y sucumbió casi de inmediato... Luego utilizamos algunas lagartijas que habitan en el cañón. Especímenes que habíamos recolectado un día antes en las rocas y los árboles de las cálidas estribaciones. Al exponerlos al sol con sus vientres sobre la arena caliente vimos pasar los segundos. En menos de dos minutos, una uta⁴⁴ de las rocas respiraba rápidamente: abrió la boca, intentó moverse, pero debido a la discapacidad en su sistema nervioso fue imposible. En menos de dos minutos estaba paralizada. A toda prisa la quitamos del sol y descubrimos que su temperatura, registrada por el termopar, estaba por arriba de los 37°C. La lagartija Nocturna del Granito parecía absorber el calor aún más rápido y mostrar una inconformidad extrema, finalmente se paralizó aún en menor tiempo. (Bogert, 1939, p. 29)

Estas pruebas son semejantes a las que había hecho Mosauer con las serpientes *C. atrox* y *C. cerastes* en la misma área. Además, notó cómo los animales poco antes de morir son incapaces de un movimiento adecuado. Hasta aquí, Cowles reproduce las pruebas que ya había hecho Mosauer. Pero después hace una ligera modificación, “si enfriaba a la víctima casi inmediatamente después de la exposición, la movilidad del animal se restauraba completamente, y regresa a su actividad previa” (Cowles y Bakker, 1977, p. 91). Este tipo de pruebas experimentales que narra Cowles sobre sus primeros trabajos en campo son la evidencia de cómo el investigador tiene que entrenarse a sí mismo y con la práctica constante reconocer situaciones que sólo el ojo adiestrado puede ver.

El trabajo de campo y el arreglo experimental que producirá Cowles durante este periodo nace de cuestionar los resultados de sus contemporáneos en UCLA Mosauer y Klauber. En este sentido Huey señala:

⁴⁴ Es un género de lagartija de la familia Phrynosomatidae. Soy muy abundantes en el desierto oeste de América del Norte.

...es difícil separar las relaciones científicas de los investigadores, ver quién estimuló qué ideas, pero una cosa es clara en los recuerdos de Cowles, la investigación que fue más estimulante para él fueron los experimentos de Mosauer sobre la tolerancia de los reptiles a las altas temperaturas corporales. (R. B. Huey, pers. comm. Recuperadas por Turner, 1984, p. 426)

Con sus observaciones y mediciones en campo Cowles mostró que los reptiles de las zonas áridas soportan temperaturas ambientales altas, de lo que no estaba convencido es que no hubiera una diferencia de la tolerancia a la temperatura alta entre las serpientes de cascabel nocturnas y los lagartos diurnos, como lo afirmó Mosauer (Cowles y Bogert, 1944). Por otra parte, las observaciones de Klauber (1939) habían sugerido a Cowles que incluso distintas especies de reptiles nocturnos tenían diferencias sutiles en la forma en que la temperatura del ambiente afectaba sus actividades. Además, Cowles tenía dudas sobre el diseño de las cámaras experimentales de Mosauer y la aplicabilidad de los datos obtenidos en ellas a los reptiles que viven en medios naturales (Turner, 1984). Sobre esto trabajó en sus primeras investigaciones. Lo primero que hizo Cowles fue reproducir los experimentos que había realizado Mosauer, pero de una forma que consideró mejor, *bajo condiciones relativamente naturales en el campo* (Turner, 1984, p. 426). Dentro de sus jaulas experimentales en su estación de investigación del desierto.

En el desarrollo de su investigación Cowles fue definiendo una forma de trabajo: los animales experimentales se colocaron dentro del aparato y se registró su temperatura con base en estímulos térmicos. Cuando se presentaba algún cambio de comportamiento producto del estímulo, el animal se capturaba (lazándolo por el cuello) y se registraba su temperatura con un termopar cuidadosamente calibrado. Esto implicaba que el investigador tenía que identificar el comportamiento relacionado con el estímulo térmico. El registro de las temperaturas se iniciaba en el momento en que los animales presentaran comportamiento regular, es decir, el comportamiento que normalmente se observaba en ellos y que no fuera afectado por factores externos, por ejemplo, la presencia del investigador. De acuerdo con las observaciones hechas en los experimentos, los investigadores llegaron a la conclusión de que los organismos en cautiverio se comportaban de forma más

normal en presencia del observador respecto a su estado de libertad. Por lo tanto, los datos se registraban sólo cuando los estímulos y las respuestas se ajustaban a un patrón de comportamiento aparentemente normal.

No queda claro a qué se refiere Cowles con comportamiento normal, ¿cómo definir un comportamiento normal en contraste con otro que no lo sea? Parece que el criterio para definir esta normalidad se basa sólo y exclusivamente en la experiencia producto del entrenamiento que tiene el investigador en la práctica para reconocer estos comportamientos. Según Cowles y Bogert, con la práctica se pudieron familiarizar cada vez más y de mejor forma con el comportamiento normal de los animales, lo que le permite al observador experimentado (entrenado en la práctica de observar tal o cual fenómeno) prácticamente predecir la reacción que tendrá el individuo a ciertos estímulos unos segundos antes de que esto suceda. Pero aun así queda la interrogante abierta sobre la posibilidad de definir que algo, en este caso un comportamiento, es más normal de otro. Al parecer el sentido de normalidad que tienen los investigadores está basado en definir un criterio. Este criterio es: *cuando un animal experimental se comporte de tal o cual manera entonces se considera que tiene un comportamiento normal* (idealmente su comportamiento es cercano al que tiene sin la intervención del humano). El comportamiento normal se define en comparación con un comportamiento producto de alguna intervención que genere un cambio en dicho comportamiento.

Por otra parte, en el desarrollo del procedimiento experimental se definieron criterios que fueron cambiando según las necesidades propias del experimento, por ejemplo: “el criterio para medir la temperatura corporal”.

Al iniciar la investigación se registraron las temperaturas del esófago profundo y de la cloaca, pero se encontró que los registros de la primera tenían importantes variaciones por el procedimiento para el registro de la temperatura, los registros eran menos confiable. Esto lo indican de la siguiente forma:

1. La temperatura considerablemente menor en la proximidad de la superficie húmeda de las vías respiratorias es indicativa (así se arguye) de la importante disipación de calor resultado de la evaporación. De 26 lecturas realizadas se

observó que las temperaturas cloacales de las serpientes y lagartijas estaban entre 3°C y 2.8°C respectivamente por arriba de las tomadas en la región del esófago. 2. Un problema técnico que repercute en el registro de los datos y, por tanto, en los resultados es tomar la temperatura esofágica, pues es siempre un procedimiento complicado: sujetar al individuo, amordazarlo y tomar la temperatura bucal resultó poco práctico. El retraso inevitable del procedimiento y la necesidad de medidas violentas para mantener la boca de los organismos abierta, hacen de la técnica un procedimiento indeseable. (Cowles y Bogert, 1944, p. 274)

Que los investigadores hayan decidido eliminar los registros de las temperaturas esofágicas responde a ciertos criterios epistémicos. La confiabilidad del registro por el retraso en su toma y por las condiciones propias del animal que hacen fluctuar la temperatura. La practicidad: un registro esofágico es menos práctico y requiere mayor manipulación lo que afecta el resultado. La convención: aunque esto no es resaltado, el criterio normalmente utilizado para este registro es la temperatura cloacal. Con esta temperatura se puede hacer comparación entre registros, de otra forma esta posibilidad se pierde. Así, los investigadores desecharon los registros de temperatura esofágica ya que representaban una aproximación dudosa de la temperatura actual del organismo, es decir, la temperatura que de hecho tiene el cuerpo del animal en el momento de la medición.

Otro criterio que se cambió durante el procedimiento experimental fue la forma en que el investigador tomaba la temperatura. Un elemento importante en el registro de la temperatura es que el investigador no alterara con su calor corporal (al momento de manipular) la temperatura de los organismos. Según Cowles y Bogert, esto no lo consideraron en la etapa previa a estos experimentos. Tomando en cuenta este factor se implementó algún tipo de material aislante entre la mano del operador y el cuerpo del animal, principalmente cuando la diferencia de temperatura era alta. Además, el registro de la temperatura se realizó lo más rápido posible para evitar cambios en la temperatura corporal de los animales.

Algo que no se ha tomado en cuenta hasta el momento y que forma parte de la configuración experimental son los constreñimientos de los objetos de investigación, esto es, los animales utilizados. Los constreñimientos de las entidades naturales se

manifiestan justo en su manipulación. La capacidad de los reptiles para absorber o perder calor generó complicaciones importantes. Un pequeño lagarto puede ganar 2°C o 3°C mientras se manipula esperando a que se registre la temperatura, aún un lagarto grande como *Sceloporus m. magister* puede aumentar su temperatura hasta 0.5°-1°C por minuto. De acuerdo con Cowles y Bogert, este factor parece haber sido pasado por alto en experimentos previos (particularmente se refieren los experimentos de Mosauer), señalan:

Incluso bajo las circunstancias más favorables y con los mejores instrumentos, hay cambios tan rápidos en las temperaturas corporales de los reptiles más pequeños que el retraso debido a que los instrumentos producen resultados con un rango de precisión de +/- 1°C. (Cowles y Bogert, 1944, p. 275)

De esta forma, los procedimientos experimentales (los criterios para el registro de la temperatura, para la manipulación de los organismos) están definidos en gran medida por los constreñimientos de las entidades materiales (animales) estudiadas. El objeto en investigación forma parte importante en la configuración del arreglo experimental porque pone limitaciones a lo que los investigadores pueden hacer.

A la par de estas mediciones sobre los efectos de la temperatura en las cajas experimentales, Cowles realizó un registro del ambiente térmico de los reptiles como ya lo había hecho Mosauer, pero generó un procedimiento experimental en campo más intrincado. Cowles conocía las mediciones sobre los ambientes térmicos de los reptiles que Mosauer había estudiado, analizó las condiciones micro-térmicas (distribución de las temperaturas) del entorno donde habitaban sus animales de estudio, pero a diferencia de Mosauer no sólo midió con un termómetro la temperatura del sustrato y el aire, sino que además utilizó objetos inanimados que simularían la temperatura de animales que no presentan ningún tipo de control térmico. Para esto empleó un termómetro estándar de bulbo negro. Este termómetro se adaptó para medir la temperatura por medio de un dispositivo lo más cercano posible a indicios representativos de las condiciones de máximo calor encontradas en luz directa del sol. Para ello se utilizaron bombillas de vidrio transparente, un termómetro de mercurio con el bulbo de carbón ennegrecido y cerrado

herméticamente en un tubo de ensaye. De acuerdo con los investigadores, la capacidad de absorción de este instrumento fue muy cercana a la de los reptiles de piel oscura. Sin embargo, el cambio de albedo⁴⁵ de muchos reptiles impidió el desarrollo de un termómetro completamente satisfactorio.

Las temperaturas de la superficie del suelo se registraron a plena luz del sol en un punto apenas por debajo de una fina capa de arena aproximadamente a una profundidad de 2mm. Se consideró pertinente hacer los registros con una capa de arena para evitar que la luz llegara de forma directa al bulbo del termómetro, aunque este método no dio la temperatura máxima absoluta de la superficie, fue el único procedimiento práctico disponible. Además, hay que tener en cuenta que los organismos generalmente desplazan con su movimiento la capa superficial de donde se posan y, por tanto, se consideró que el registro de estas temperaturas fue adecuado.

Las temperaturas de la sombra se registraron en un refugio construido con hojas de palma a 3 pies del suelo con circulación libre de aire. Este sitio proporcionó registros aproximadamente iguales a los obtenidos en un weather-bureau tipo Shelter. Los datos registrados se acumularon para compararlos con el reporte del tiempo sobre las temperaturas y para determinar la diferencia térmica actual que existe entre las temperaturas observadas en condiciones convencionales y aquellas que existen en el nivel cercano a la tierra donde los lagartos son comúnmente encontrados.

Se evaluó la importancia relativa de las temperaturas del aire versus las del sustrato, sin embargo, se vio que la diversidad en la conductividad y la textura de piedras, arena, suciedad y polvo es tan grande que impidió una medida exacta de su respectiva eficiencia en la transferencia de calor. Para el experimento se seleccionó una losa de pizarra de 4mm de espesor con un índice de conductividad térmica de 0,0045, en comparación con el granito que tiene 0,0047, la piedra

⁴⁵ Es la cantidad de radiación que cualquier superficie refleja respecto de cualquier radiación que incida sobre ellas. La particular pigmentación y cambio en la coloración de la piel de algunos reptiles hace que haya un cambio en su capacidad para absorber calor de la fuente radiante.

arenisca de 0,0055 y la arena seca de 0,0033. El animal utilizado para la prueba experimental fue un adulto macho de *Sceloporus m. magister*, el cual se mantuvo en el lugar sujetado por una cinta adhesiva transparente de celulosa. Todas las temperaturas se registraron con un termopar.

En esta caracterización que se ha hecho se puede ver un complejo arreglo experimental en el momento de su ejecución, como los instrumentos, técnicas y procedimientos van definiendo el espacio de posibilidades de los objetos de investigación. En este sitio especial, en la estación de investigación en el campo, el arreglo experimental se configura a partir de diferentes objetos de investigación: los animales dentro de las jaulas experimentales, los materiales que ahí se utilizan para mantener a estos dentro de las condiciones más cercanas posibles a como de hecho viven en ese entorno. Las condiciones propias del ambiente donde se desarrollan los procedimientos experimentales, el claro dentro del matorral de mezquite. Los dispositivos (las jaulas experimentales, los collares de hierro). Los instrumentos de medición (termómetros, termopares, entre otros). Las distintas técnicas para el registro de la temperatura, para evaluar el momento más adecuado para el registro. Ésta es la conformación de una estructura experimental que genera el espacio de posibles representaciones de los objetos de investigación que ahí se están conformando en un espacio en el campo mediado por un procedimiento experimental. Es esta amalgama entre el campo y el laboratorio donde no importa tanto hacer la distinción. Si es el laboratorio dentro del campo o el campo con elementos del laboratorio, no es el punto central, al menos para los investigadores. Lo relevante es que de ambos espacios se recuperan elementos que dan forma y estructura a esta investigación y a través de la cual emerge un objeto de investigación, en este sitio particular del desierto de California: el fenómeno de la regulación térmica en los reptiles.

Cabe destacar además que se puede rastrear la construcción histórica de un hecho científico. Esta construcción se manifiesta en la reproducción diferencial que se ha venido revisado. Para ilustrar de mejor forma esto, la **tabla 2** muestra los elementos que comparten estos arreglos experimentales entre Mosauer y Cowles.

El arreglo experimental con sus elementos materiales (aparatos, dispositivos, instrumentos de medición), los conjuntos de técnicas con criterios muy concretos, las habilidades adquiridas para distinguir tipos de comportamiento relacionados con los cambios de temperatura y los constreñimientos propios de las entidades materiales manipuladas, constituyen los elementos que producirán los rastros, las inscripciones que se traducirán en la forma material de los fenómenos ahí producidos y de la estructura conceptual que los defina. Parafraseando a Rheinberger, un nuevo objeto epistémico se estaba configurando por medio de los termómetros, los termopares, los aparatos experimentales y la representación grafemática en los registros térmicos. A partir de esta serie de mediciones se ensanchan los criterios para definir en función del efecto térmico a los reptiles.

	Técnica		Aparato/dispositivo		Instrumento de medición		Criterios y observaciones	
Procedimiento experimental	Mosauer	Cowles	Mosauer	Cowles	Mosauer	Cowles	Mosauer	Cowles
Medición de la temperatura letal	Colocar al rayo directo del sol al animal amarrándolo sin permitirle escapar.	Primera ejecución: Colocar al rayo directo del sol al animal amarrándolo sin permitirle escapar. Segunda ejecución en las jaulas experimentales		Jaulas experimentales (Campo)	Termómetro de bulbo	Termopar, termómetro.	La temperatura se registra justo después de la muerte de la serpiente cuando la pupila se dilata. Temperatura cloacal	La temperatura se registra cuando la serpiente pierde los movimientos coordinados, justo antes de la muerte. Primero temperatura del esófago y cloacal. Se desestima la primera y sólo se toma la segunda
Gradientes térmicos	Genera gradientes en el laboratorio para ver la temperatura preferida por el animal	Gradientes en campo. Con base en los cambios graduales de la temperatura en el entorno natural del animal se mide la temperatura relacionada con cambios de comportamiento	Caja de gradientes (Laboratorio)	Jaulas experimentales (Campo)	Termómetro de bulbo	Termopar	Temperatura cloacal	Temperatura Cloacal; Aislante en las manos del investigador; registros rápidos;
Condiciones térmicas del medio	Mide la temperatura del aire y la humedad muy cerca del suelo; registra la temperatura en la superficie del suelo con un termómetro: moviendo sobre la arena del suelo o rodándolo en la superficie.	Registro de la temperatura del suelo enterrando el termómetro 2mm en el suelo; temperatura del suelo con hojas de palma que lo cubrían a 3 pies de altura; registro de la temperatura del objeto inanimado que hacia la función sujeto control.	En campo	Bombilla de vidrio transparente adaptada con el termómetro. En campo	Psicómetro de Assmann y termómetro de bulbo	Termómetro de bulbo negro; termopar	Dejar el termómetro en el suelo por un tiempo	Se considera que la temperatura del objeto inanimado es cercana a la de los reptiles de cuerpo negro; en el registro de la temperatura del sustrato se evita que el bulbo esté expuesto directamente al sol; en el registro del sustrato en la sombra se simulan las condiciones para tener un registro parecido al de un "weather-bureau tipo Shelter".

Contraste entre temperatura del aire vs sustrato		En una losa de pizarra de 4mm se sujetó a un adulto macho de <i>Sceloporus m. magister</i> , con cinta adhesiva transparente de celulosa.		En campo		Termopar		Se midió la conductividad de la pieza de losa
--	--	---	--	----------	--	----------	--	---

Tabla 2. Comparación entre arreglo experimental de Cowles y Mosauer

2.4.- La termorregulación y su estructura conceptual

En el análisis sobre el desarrollo histórico de esta investigación, he dado cuenta de la conformación de un arreglo experimental y los objetos que ahí se produjeron, estas singularidades del fenómeno que emergieron del arreglo. El advenimiento de nuevos objetos estuvo acompañado del acaecimiento de una red de términos y nociones que iban dando cuenta de estos nuevos objetos. En lo que sigue revisaré cómo fue el proceso de producción de una red conceptual que fue creciendo y cambiando a la par de las investigaciones.

Como ya he señalado, dos de los primeros términos que fueron puestos en duda por su capacidad para caracterizar la forma en que los reptiles se relacionan con su entorno térmico fueron los de “sangre fría” y “sangre caliente”. En las primeras décadas del siglo veinte, las observaciones de campo y los experimentos en los laboratorios, particularmente las mediciones de la temperatura corporal dejaron claro que los animales llamados de “sangre fría” generalmente tenían temperaturas cercanas a la de su entorno. En el **capítulo 1** mostré cómo algunos investigadores optaron por cambiar esta nomenclatura, utilizando los términos poiquilotermino y homeotermino respectivamente. Estos cambios en la terminología no se presentaron de forma previa o posterior al desarrollo de la investigación, sino que fueron parte de esta.

Como mostré en la discusión de las primeras investigaciones (**capítulo 1**), la configuración de cada arreglo experimental venía entrelazada con un vocabulario

que podríamos dividir en dos conjuntos. Primero un vocabulario operacional, se hablaba sobre medición de temperaturas, del medio, del animal, de aparatos experimentales, de instrumentos de medición, de gradientes térmicos y de registros de temperaturas. No había nociones específicas para definir exactamente un evento, una situación, porque aún no era claro lo que estaba pasando, sin embargo, se podía hacer una caracterización a partir de estas primeras nociones. Son términos más de tipo operativo, relativos al arreglo experimental⁴⁶. A la par de estas nociones operativas se produjeron otras, que intentaron capturar el objeto que se estaba manifestando; los científicos empezaron a hablar de temperatura corporal, malestar agudo a temperaturas altas, temperatura letal, temperatura del entorno preferida por el animal o punto óptimo. Esta estructura conceptual se empezó a convertir en la forma de representación de la temperatura corporal de los reptiles en términos de sus registros térmicos. Estos términos operativos y los que empezaron a denotar a los objetos de investigación se produjeron simultáneamente dentro del arreglo experimental.

En el desarrollo de los trabajos que señalamos en el capítulo anterior, se encontró que había al menos dos nociones básicas para denotar la relación entre la temperatura de los animales y su entorno, esto es, un término para señalar la temperatura a la que mueren los organismos y otro para aquella temperatura que parecen preferir dentro de un gradiente térmico. En 1931 Chapman señaló que, hasta ese momento, respecto de los animales poiquiloterms, ya se estaban discutiendo una serie de términos en vista de los efectos de la temperatura en su actividad. Para este rango donde los animales eran activos se proponía utilizar “la temperatura mínima efectiva” y “temperatura máxima efectiva” para describir las temperaturas mínima y máxima donde el animal era activo. Shelford (1927, citado por Chapman, 1931) proponía el término “Temperatura umbral” para este rango. Según Chapman el término que mejor describía la temperatura del rango de

⁴⁶ En otro ejemplo, Rheinberger (1992a, p. 314) describe como en los primeros 5 años de trabajo en el programa de investigación biomédica, en el primer sistema de síntesis de proteínas *in vitro*. En el artículo en 1952 se “...describe la estandarización técnica del sistema y *proporciona la definición operacional* de una primera generación de fracciones de células de hígado de rata” P. Siekevitz (Uptake of Radioactive Alanine In vitro into the Proteins of Rat Liver Fractions, Journal of Biological Chemistry 195, 549-565). Aquí también vemos la emergencia de estas nociones operacionales.

actividad es “temperatura óptima” la cual definió (aunque con reserva) como “la temperatura en la cual *hay la más baja resistencia ambiental al potencial biótico del organismo*” (Chapman, 1931, pp. 43–44). Por su parte Hesse (1937) sostuvo que el rango de temperaturas para diferentes especies puede variar, pero hay al menos tres temperaturas cardinales: la máxima, la mínima y la óptima (p.14). Por su parte, Mosauer habló de “temperatura letal”: aquella en que mueren los organismos después de ser sometidos a permanecer dentro de un área con temperaturas muy altas y de “temperatura preferida”: aquella que prefiere el organismo en un gradiente térmico. Esto muestra cómo se había dado el desarrollo de las nociones que intentan capturar el fenómeno térmico en los reptiles. Pero estas nociones no estaban separadas de los arreglos experimentales, nacieron dentro de ellos e iban cambiando según se modificaban estos últimos. Un buen ejemplo de esto es que la idea de una temperatura óptima emergió junto con las pruebas con gradientes. Cuando los investigadores ejecutaron un arreglo experimental con gradientes térmicos sucedió algo, un hecho científico, este hecho fue capturado con la noción de temperatura óptima. Es en este sentido como lo señala Rheinberger (1992a) los “objetos técnicos determinan los modos de representación de los objetos epistémicos” (p. 310-311). Aquí el objeto técnico fue la caja de gradientes. El objeto científico la reacción del animal a dichos gradientes y una noción que captura el hecho: *temperatura óptima*. El objeto científico sólo es representado material y conceptualmente en función del arreglo experimental en el cual surge y no de otra manera. Esta es la gruesa red de conceptos que se fue construyendo a la par de las investigaciones en las primeras 3 décadas del siglo XX. Para Cowles esta red sería la base de sus propias nociones.

Cuando Cowles desarrolló las primeras pruebas experimentales en su campamento del Valle de Coachella, estuvo probando en sus jaulas experimentales la tolerancia de los reptiles a las altas temperaturas. El mismo Cowles señaló que el animal previo a su muerte fue incapaz de mantener un movimiento adecuado, “esta condición que impide su escape a un refugio la llamé *potencial letal*, un término útil en mis primeros estudios” (Cowles y Bakker, 1977, p. 91). Esta cita destaca de forma interesante cómo se fueron acuñando los términos que denotaban lo que el

fenómeno iba revelando, el “potencial letal” estaba definido como ese conjunto de condiciones que impiden al animal llegar a un refugio, es decir, el término no fue dado antes o después de las pruebas experimentales, sino que surge por lo que se estaba observando. Así como este término, apoyado en el arreglo experimental, Cowles también propuso una serie de criterios que consideró como los más adecuados para capturar los efectos de la temperatura en los reptiles del desierto de California (**tabla 3**).

Tabla 3. Criterios usados en el registro de la temperatura	
De acuerdo con Cowles durante este trabajo se hizo evidente que las relaciones térmicas ecológicamente importantes para los reptiles del desierto se podían dividir en los siguientes criterios generales ⁴⁷ :	
1. El mínimo letal ⁴⁸ :	Esto puede ser descrito como la temperatura mínima que causa la muerte en exposiciones cortas donde el factor de agotamiento no influye en el resultado.
2. El mínimo crítico:	Desde el punto de vista ecológico esto es equivalente a la temperatura letal bajo ciertas condiciones, ya que es la temperatura que causa una narcosis por frío e impide eficazmente la locomoción. A esta temperatura, los animales son incapaces de escapar del peligro de depredación o remediar su impasse térmico si aún no encuentran refugio.
3. El mínimo voluntario:	La temperatura baja que causará fotofobia a los animales diurnos, o que se retiren a sus refugios subterráneos. En el caso de los animales nocturnos es la temperatura que los conducirá a sus guaridas subterráneas, aunque esto pueda llevarlos a temperaturas aún más bajas.
4. El rango basking (o tomando el sol):	Esta es una categoría difícil de delimitar, ya sea a través de la observación o por pruebas experimentales, ya que no está claramente establecida la escala inmediata superior. Se extiende hasta el punto térmico en el cual el deseo de asolearse produce el estímulo que conduce a la actividad de rutina de forma ordinaria.

⁴⁷ Estos criterios son recuperados de Cowles y Bogert, (1944).

⁴⁸ Los autores señalaron que de estos ocho niveles térmicos los primeros dos fueron inadecuados para estudios de campo (mínimo letal y mínimo crítico) por lo que fue necesario realizar experimentos en el laboratorio. El resto se pudieron hacer sin problemas en el campo y en la jaula experimental.

Tabla 3. Criterios usados en el registro de la temperatura	
5. El rango de actividad normal:	Este es el rango térmico que se extiende desde la reanudación de la rutina normal (después de que el animal ha dejado de tomar el sol, en el caso de formas diurnas) y termina en un punto justo por debajo del nivel en el que las altas temperaturas conducen al animal a su refugio. El rango completo, expresado como la media de esta cantidad, puede ser considerado como un óptimo ecológico que se distingue del concepto fisiológico de la temperatura más favorable como una entidad distinta. La defecación está estrechamente asociada con la obtención de temperaturas de funcionamiento normales, y esto puede significar la reanudación de la peristalsis activa.
6. La máxima tolerancia voluntaria:	La temperatura en la cual el animal se retira a la sombra o al refugio subterráneo. Es precedida por una reacción de fotofobia cada vez más perceptible por parte de las especies diurnas.
7. El máximo crítico:	Este apropiadamente puede denominarse el potencial letal y se define como el punto térmico en el cual la actividad de locomoción se desorganiza y el animal pierde su capacidad para escapar de condiciones que conduzcan rápidamente a su muerte. La recuperación de esta incapacitación es el criterio para determinar si o no el animal ha estado expuesto a temperaturas innecesariamente altas. Desde el punto de vista ecológico es la temperatura letal.
8. Letal:	La temperatura alta que produce daño físico irreversible y fatal. Debido al rápido aumento de la temperatura del cuerpo cuando la eficacia de la respiración se ve seriamente afectada, y dado que los signos de vida permanecen incluso después de que ha ocurrido un daño fatal, es extremadamente difícil determinar el punto térmico exacto responsable de la muerte. Además de esta dificultad, una temperatura un poco más baja puede causar la muerte si la exposición es lo suficientemente prolongada.

Estos son los principales criterios que definieron los autores para analizar la respuesta térmica de los reptiles, no obstante, pensaban que no eran los únicos. Estas divisiones fueron las más evidentes, pero consideraban que probablemente había otras más sutiles que sólo se podían conocer mediante otro tipo de experimentos. Señalaron, por ejemplo: era posible que los animales pudieran

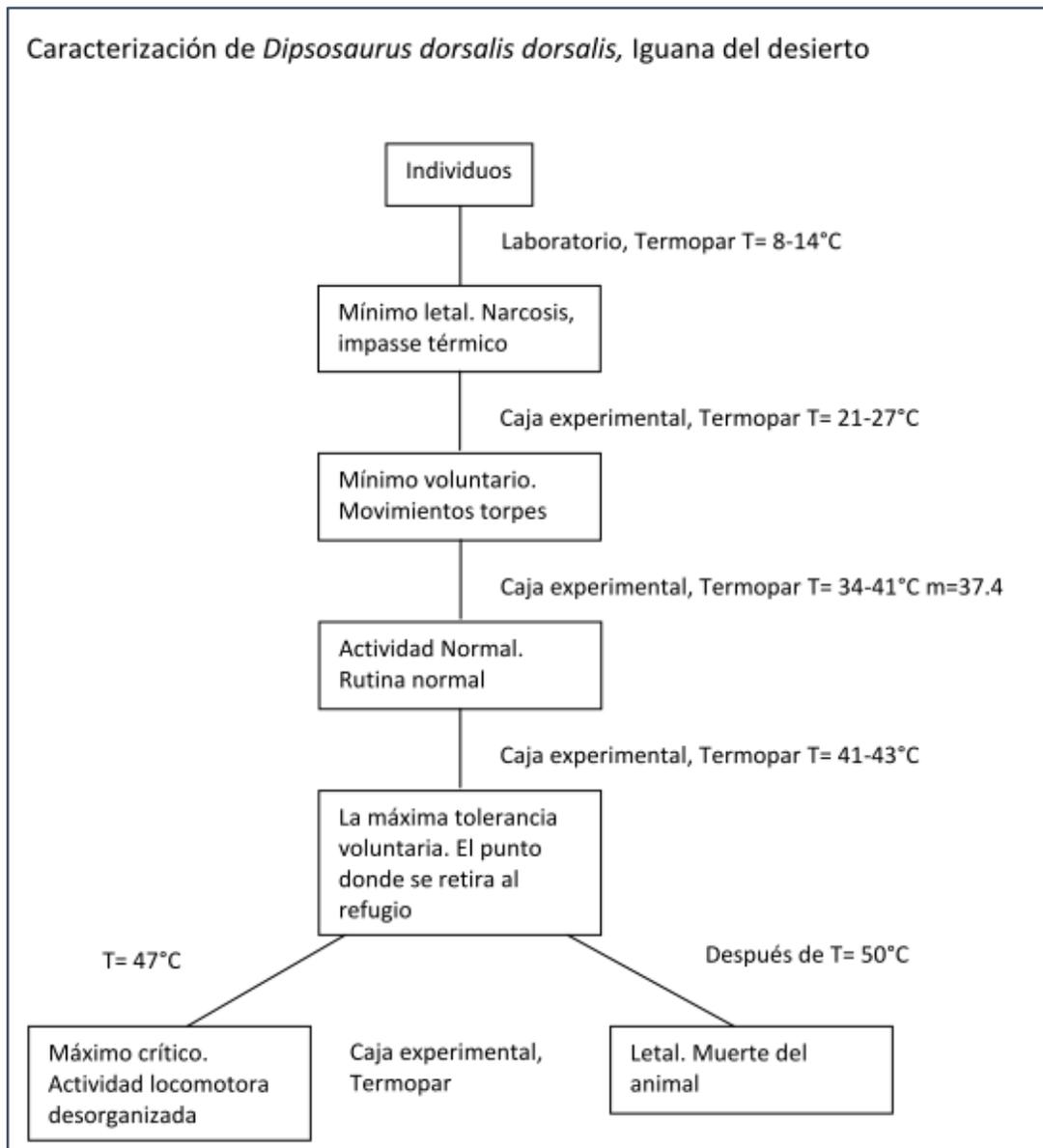
emerger parcialmente hacia espacios abiertos para tomar el sol antes de que sus requerimientos musculares y neuronales hubieran alcanzado el punto térmico donde la máxima celeridad de su respuesta fue suficiente para protegerlos del peligro de depredación. Parece ser que bajo estas condiciones los individuos permanecían a poca distancia de su guarida.

Algunas de las temperaturas se obtuvieron mediante pruebas experimentales que requirieron un mayor nivel de manipulación. Para obtener los datos del “máximo crítico” o la temperatura “potencial letal”, se liberaron a los animales experimentales en las jaulas retirando todas las posibles sombras y refugios o, fueron atados con el fin de permitirles movimientos libres sin que se escaparan. La sombra fue siempre visible a una distancia corta, y a los animales se les permitió esforzarse por alcanzar este objetivo hasta que efectivamente los movimientos coordinados habían cesado. Justo en este punto se pusieron bajo la sombra para evitar que absorbieran cualquier cantidad de calor adicional y su temperatura se midió lo más rápido posible. Los datos obtenidos de estos procedimientos se consideraron válidos sólo si los organismos se recuperaban. De esta forma se pretendió disminuir los errores en los registros de las temperaturas producto del deterioro de la respiración.

Para el caso de la temperatura letal se siguió en general el mismo procedimiento que en la temperatura máxima, excepto que el colapso por el sobrecalentamiento se permitió que continuara hasta que el animal se relajó. Fueron pocos los registros de temperaturas letales obtenidos ya que se considera que el importante aumento de la temperatura en el punto justo del colapso oscurece la temperatura que es en realidad responsable de la muerte.

Esta es la forma en que los objetos técnicos-materiales y los objetos de interés científico están íntimamente relacionados. El **esquema 1** muestra la relación entre objetos técnicos y epistémicos. *La estructura experimental conformada por aparatos, instrumentos, técnicas, el sitio mismo de trabajo, un conjunto de criterios que se van definiendo y las limitaciones propias de las entidades naturales, dan forma al escenario epistémico.* A partir de este arreglo se produce información que va constituyendo un hecho: las características térmicas de un animal. Este hecho

es asimismo caracterizado por una estructura conceptual que se produce dentro del mismo arreglo. En suma, el objeto científico adquiere una representación material y conceptual que lo definen. Esta representación es posible sólo a través de este arreglo y no de otra forma, la naturaleza térmica de los reptiles se manifiesta en la maquinaria de este arreglo experimental.



Esquema 1. Representación de la relación entre objetos técnicos y objetos epistémicos.

Los objetos epistémicos son una representación material-conceptual que se genera dentro de los arreglos experimentales, fuera de estos espacios de trabajo

de investigación no podemos hablar de un objeto epistémico. La naturaleza de estos objetos está íntimamente relacionada con las condiciones de su producción.

Con su trabajo en campo Cowles vio que la tolerancia de los lagartos del desierto a altas temperaturas corporales de ninguna manera era excepcional. No obstante, en sus resultados encontró que los lagartos eran más tolerantes a las altas temperaturas corporales que las serpientes (Cowles, 1939, 1940) a diferencia de lo que había señalado Mosauer. Sin embargo, "...el resultado más importante de sus experimentos concierne a la gama de temperaturas corporales toleradas tanto por arriba como por debajo de la temperatura corporal "voluntaria" o "preferente" (Turner, 1984, p. 426). Si la temperatura corporal se incrementa tan solo 2°C o 3°C por arriba de la temperatura preferida, los animales quedan incapacitados y mueren rápidamente en un corto tiempo. En contraste, las temperaturas por debajo de la temperatura preferente son bien soportadas por largo tiempo (de hasta 10-15°C por debajo) sin que causen algún tipo de daño aparente o riesgo de muerte (Cowles, 1939, 1940; Cowles y Bogert, 1944).

A la luz de las observaciones y experimentos realizados sobre los reptiles del desierto, Cowles argumentó que era necesario utilizar términos más descriptivos y precisos para clarificar la naturaleza de los poiquiloterms como grupo. Ellos naturalmente entran dentro de dos categorías como métodos para arribar a sus temperaturas óptimas. La categoría más conveniente y descriptiva serían *helioterms* y *tigmoterms*; la primera recibe su calor principalmente de asolearse, la segunda a través del contacto directo con sustancias del ambiente – aire, suelo o agua–. Dice Cowles que después de años de investigación ideó un nuevo término para esos animales que dependen del calor exterior (Cowles y Bakker, 1977, p. 85). Considerando estas dos categorías llegó al nombre colectivo de "*ectotermo*" como complemento o sustituto para la inadecuada caracterización provista por la palabra poiquilotermo. "La falibilidad del término es obvia desde que es bien conocido que muchos peces, y probablemente reptiles también, viven con una temperatura más constante que muchos de los llamados homeoterms" (Cowles, 1940, p. 549). Asimismo, considera que el término homeotermo no describe adecuadamente al

grupo de los así llamados “animales de sangre caliente” como las aves y mamíferos. “La implicación del nombre ‘homeotermo’, el cual sugiere la inmutabilidad de la temperatura normal, es desmentido por muchas aves y mamíferos, además, un adecuado y lógico contraste para los ectotermos, sería ‘*endotermos*” (Cowles, 1940, p. 550). Este cambio en los términos para denominar el origen del calor en los cuerpos de los animales proviene de los arreglos experimentales que llevan décadas de trabajo, se ha constatado que los reptiles obtienen el calor necesario para su actividad de fuentes externas. En este sentido los términos ‘sangre fría’ o ‘poiquilotermo’ no reflejan lo que se está manifestando en el arreglo experimental. Lo más importante de estos cambios en la terminología es que señala algo distinto respecto de la anterior. Con el término ectotermo el origen del calor corporal en los reptiles ya no se considera como dependiente de las variaciones de su entorno. Ya no se ve a los reptiles como captadores pasivos de calor externo, con el término ectotermo sólo se señala que los organismos adquieren el calor necesario para su metabolismo del exterior, lo cual no significa que no termorregulan, sólo que quizá lo hacen de forma distinta. En su trabajo de 1944 en colaboración con Bogert, Cowles llegará a la conclusión de que el mecanismo por el cual los reptiles del desierto regulan su temperatura corporal es a través de su comportamiento. Es justo en este punto que nace la termorregulación de los reptiles como un fenómeno fundamental en la biología de este grupo (y en la de los animales ectotermos en general).

Sumario

A lo largo de este capítulo se ha revisado cómo el fenómeno térmico en reptiles fue tomando forma a través de una serie de prácticas experimentales. El arreglo experimental que llevó a Cowles y Bogert a proponer que los reptiles podrían tener mecanismos de regulación térmica distintos a los animales homeotermos se desarrolló en el campo. Aquí es donde esta distinción entre el campo y el laboratorio que se ha trabajado desde el capítulo anterior toma una nueva forma. Si bien Mosauer y Cowles hacen una distinción entre el trabajo de investigación en el

laboratorio y el campo, en la práctica combinan estos dos lugares para generar una práctica de investigación híbrida. Pero particularmente en el trabajo de Cowles vemos no sólo una práctica de investigación fuera del laboratorio, sino una caracterización del campo como un espacio generador de conocimiento. En este sentido, el campo adquiere relevancia epistemológica porque se constituye como el sitio por excelencia para conocer el fenómeno térmico. Este lugar, el campo, no es cualquier espacio sólo fuera del laboratorio, es un sitio en particular que, según el investigador, es un espacio representativo del ambiente de los animales. Este espacio está enclavado en los matorrales de mezquite en el Desierto de Mojave en el Valle de Coachella.

Realizar las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles en el campo no es una cuestión trivial. Responde a necesidades epistémicas específicas. Para entender cuál es la relación entre los animales y su entorno térmico es necesario analizarlo justo en el espacio donde habitan. Como dijo Mosauer: en el laboratorio (respecto de las observaciones de las preferencias de gradientes térmicos) hay *obvias condiciones de artificialidad*. Que el trabajo de investigación se desarrolle en el campo responde principalmente a esto, a buscar analizar el fenómeno en un espacio lo más cercano a como de hecho vive el animal. Sin embargo, el sitio donde se desarrolló el arreglo experimental no es un lugar prístino e inmaculado de la naturaleza. Es un lugar técnica y materialmente construido. El campamento de Cowles en el campo es un sitio elegido por sus características particulares, representativas del medio, pero al mismo tiempo con facilidades para el trabajo de campo. En este sitio desarrolló el arreglo experimental con cajas y cilindros experimentales, utilizó instrumentos de medición, generó una serie de técnicas de medición y manipulación y, determinó parámetros para cuantificar la información de los registros térmicos. El campo ya no sólo fue un lugar para observar y recolectar, sobre todo fue un espacio para realizar experimentos. A través de este arreglo experimental y en conjunto con el sitio generador de conocimiento se generó lo que he venido denominando un *escenario epistémico*, es decir, esta amalgama entre el sitio particular donde se realiza la investigación, el arreglo experimental, y el trabajo de los investigadores. Es este espacio de representaciones donde el arreglo y el

sitio experimentales son las dos caras de una misma moneda. A diferencia de la idea de 'placelessness' donde el lugar, lo local, lo particular es eliminado en la producción del conocimiento para alcanzar una supuesta universalidad y objetividad, se ha visto que el sitio donde se desarrolla el experimento, las particularidades de lo local son centrales para entender la producción de conocimiento. Este sitio es un espacio generador de conocimiento en función de su interacción con un arreglo experimental y las prácticas científicas, el escenario epistémico así adquiere volumen con estos tres elementos, el arreglo experimental que está íntimamente conectado con el lugar donde se desarrollan los experimentos y con la experticia de los investigadores imbuidos en el sitio, dándole credibilidad a partir de su práctica, convirtiéndose su vivencia en un elemento central de la investigación.

En su trabajo Cowles llegó a una de las partes más importantes en cuanto a las investigaciones sobre los aspectos térmicos de los reptiles. Su trabajo de 1944 fue un parteaguas para entender mejor la relación de los animales poiquiloterms con su entorno térmico. Antes del trabajo de Cowles se consideraba que los reptiles (y todos los animales distintos a las aves y mamíferos) no tenían mecanismos de control térmico. Con su trabajo, Cowles dio indicios de que esto no es necesariamente el caso. Señaló algo que cambiaría la visión que se tenía de la ecología de los reptiles, que el mecanismo de control térmico en este grupo (y quizá en los demás poiquiloterms) existe, pero es distinto al de los homeoterms, es un control basado en el comportamiento.

Esto modificó la forma en que se entendía la relación entre los reptiles y su entorno. A partir del trabajo de Cowles se empezó a considerar que los reptiles no eran animales captadores pasivos de calor, sino activos en un rico entorno de posibilidades térmicas, que sería necesario estudiar la termorregulación para explicar fenómenos relacionados con su ecología, evolución y distribución. En este capítulo revisé el proceso histórico de la emergencia de la termorregulación en reptiles como un objeto de interés científico. Fue a partir del trabajo experimental que desde los primeros años del siglo XX evolucionó en diferentes espacios, con

diferentes investigadores y diferentes prácticas. Fue a través de la reproducción diferencial de los arreglos experimentales que el fenómeno de la termorregulación emergió, fue *en* los arreglos experimentales y sólo *dentro* de éstos que el fenómeno adquirió significado, se conformó como un elemento importante en la biología de este grupo. Es decir, sólo a través de este arreglo experimental y las condiciones de su ejecución (ya sea en el campo o laboratorio o en este espacio híbrido entre campo laboratorio) que el fenómeno térmico surge. La termorregulación es un objeto epistémico porque nació dentro de un arreglo experimental que se fue construyendo a lo largo de varias décadas hasta los trabajos del grupo de investigadores de UCLA.

Capítulo 3

El legado de Cowles: la extinción de los dinosaurios

Most of Cowles original ideas on temperature derived from an inspired idea on the extinction of the dinosaurs, which dominated his thinking in one form or another from 1938 until the end of his life

(Turner, 1984, p. 421)

3.1.- La hipótesis sobre la extinción de los dinosaurios.

El resultado del trabajo de Cowles en el desierto durante la segunda mitad de la década de 1930 no se restringió sólo a explicar el mecanismo sobre la forma en que los reptiles modernos regulan su temperatura corporal. Además, desarrolló una hipótesis, basado en sus observaciones, sobre la extinción de los dinosaurios y en general el impacto que ha tenido el calor en la evolución de los animales. En este último capítulo exploraré cómo Cowles llegó a esta hipótesis.

Por otra parte, se analizará la reproducción del arreglo experimental sobre la termorregulación. Se revisará el trabajo de Charles M. Bogert, el desarrollo de sus investigaciones sobre la termorregulación y cómo este trabajo de Cowles y Bogert influyó en las investigaciones de las futuras generaciones de herpetólogos en Estados Unidos.

Como lo revisé en el capítulo anterior, el primer interés de Cowles sobre el efecto de la temperatura en los reptiles del desierto fue determinar dos cosas: 1) cuál era la temperatura máxima tolerada por los reptiles en su ambiente y 2) si hay o no diferencia en la temperatura soportada por los lagartos diurnos y las serpientes nocturnas (cabe recordar que Mosauer había señalado que no había diferencia significativa en la temperatura letal de estos dos grupos). Cuando estableció su estación de campo en "Indian Wells" (entre 1935 y 1936), estos fueron los primeros trabajos de investigación que realizó y fue a partir de este momento que surgió en sus reflexiones el problema de la extinción de los dinosaurios.

Años después Cowles recordaba que observó algo inesperado en los primeros días de trabajo en el desierto, cuando capturó algunos reptiles residentes de la zona donde estaba su campamento:

Un resultado *totalmente inesperado* llegó en mi investigación. Pasé algunos días probando los límites superiores de temperatura de lagartijas y serpientes exponiéndolos al sol en su hábitat nativo. Extrañamente, [estos animales] no parecen ser capaces de soportar el calor de su propio hogar... Observar a esos animales supuestamente demandantes de calor morir rápidamente debido a la elevada temperatura de su hábitat fue una experiencia estimulante. (Cowles y Bakker, 1977, p. 91)

Esta experiencia lo sorprendió tanto que expresó: “aquí estaba yo, un animal generador de calor con una piel desnuda, sin protección, sobreviviendo a una mayor exposición mientras que docenas de reptiles murieron en minutos por sobrecalentamiento” (Cowles y Bakker, 1977, p. 91).

Señaló que incluso los reptiles más pequeños murieron aproximadamente en 6 segundos después de ser expuestos al sol abrasador sin permitirles buscar refugio. Si bien Cowles pensaba que efectivamente los reptiles no podían soportar el calor extremo, no imaginó que el efecto sobre los animales fuera tan inmediato y que murieran al pasar un breve tiempo expuestos al sol.

Durante estas pruebas en el campo, Cowles observó varios puntos importantes. Notó que los reptiles eran incapaces de moverse adecuadamente al ser expuestos a la radiación poco antes de su muerte. Sin embargo, si los enfriaba casi inmediatamente después de haberlos expuesto, su movilidad se restauraba por completo y podían regresar a su actividad normal, después de salir del espasmo por el enfriamiento. Las mediciones corporales que obtuvo en estos experimentos mostraron una diferencia importante en cuanto al afecto que tenían las temperaturas por debajo y por arriba de su temperatura óptima.

En los registros de la temperatura óptima tomados a lo largo de 5 años Cowles señaló que en general las lagartijas de especies diurnas como: *Sauromalus obesus*, *Dipsosaurus d. dorsalis*, *Uma notata* y *Phrynosoma platyrhinos*, las especies

costeras como: *Phrynosoma b. blainvillii* y *P. Frontale*, y especies de las zonas más frías y más cálidas del desierto como: *Crotaphytus collaris baileyi*, *C. wislizenii*, *C. silus*, tenían temperaturas óptimas que oscilaban entre 37°C y 38°C (Cowles, 1939, p. 465) o entre 32 y 35°C (Cowles y Bakker, 1977, p. 91). Este rango podía ser mayor o menor según la especie. Lo más significativo era la diferencia en la forma en que soportaban temperaturas por debajo y por arriba de este rango óptimo.

El hecho más sorprendente con relación a la alta temperatura es la incapacidad característica de los reptiles para soportar temperaturas corporales por arriba de la temperatura óptima. Un incremento de sólo 2°C causa una marcada disconformidad la cual rara vez o nunca será tolerada voluntariamente. Una breve exposición a temperaturas altas causa la muerte entre 60 segundos y una hora. (Cowles, 1939, p. 465)

En la primavera de 1940 Cowles amplió sus investigaciones. A lo largo de tres meses registró los efectos de la temperatura para especies nocturnas de serpientes como *Sonora occipitalis* y *Crotalus cerastes*. Las serpientes tenían una menor capacidad de soportar temperaturas elevadas. Sus temperaturas críticas máximas fueron de 35.3°C y 37.6°C respectivamente, a diferencia de las especies diurnas de lagartijas que en promedio tenían una temperatura crítica máxima de 45°C. En este trabajo señaló que en general los reptiles manifestaban un considerable malestar cuando su temperatura se elevaba 3°C por arriba de su temperatura óptima. Además, la temperatura máxima voluntariamente tolerada por lagartijas, por un breve tiempo, era de 4°C por arriba de su temperatura óptima (Cowles, 1940, p. 543). Por lo tanto, una exposición de cualquier especie a una temperatura mayor a su rango de temperatura óptima sólo 3°C o 4°C por un tiempo más o menos breve era letal.

En contraste con esa limitada capacidad para soportar temperaturas altas, Cowles observó que estos animales podían tolerar temperaturas muy bajas. Las lagartijas en general soportaban libremente temperaturas de 9°C por debajo de su rango óptimo. Su capacidad de locomoción no parecía ser afectada.

Fueron necesarias temperaturas alrededor de 15°C para inducir un coma por frío, es decir, 15°C o menos por debajo de su temperatura óptima o preferente – entre los 32 y 35°C. En marcado contraste, los efectos del calor paralizante se produjeron por arriba de los 32°C (alto para algunas lagartijas), un aumento por encima de sus temperaturas preferidas de menos de un tercio de la cantidad requerida para un torpor frío inofensivo. (Cowles y Bakker, 1977, p. 91)

A la par de estas observaciones, en el pensamiento de Cowles surgió una serie de interrogantes, preguntas, no obstante, que se conectaron con su interés por entender la evolución de este grupo. En particular se interesó por el rol de la temperatura en la evolución de los vertebrados terrestres. Cowles mantuvo un marcado interés por utilizar los resultados de su trabajo para explicar el proceso evolutivo en los reptiles. En este sentido, Turner sostiene la tesis de que:

...la mayoría de las ideas originales de Cowles sobre la temperatura derivaron de una idea inspirada en la extinción de los dinosaurios, que dominó su pensamiento de una forma u otra desde 1938 hasta el final de su vida. (Turner, 1984, p. 421)

Contrario a esta idea, sostengo que el trabajo de investigación de Cowles no estuvo dominado por una idea preconcebida de la extinción de los dinosaurios como he mostrado en los capítulos anteriores, sino que esta hipótesis se fue armando a la par del trabajo de investigación en el campo. El herpetólogo relató cómo surgió en sus noches de meditación la idea de que la intolerancia al calor de los reptiles modernos podría explicar la extinción de los dinosaurios.

Debería haber algún significado en el extraordinario hecho de esta mayor tolerancia al frío que al calor ¡Tiene que haber! – murmuré a las estrellas brillantes del desierto –. Entonces giré y continué observando la arena agrupada bajo mi bolsa de dormir. Esta característica de la intolerancia al calor fue tan obvia en estos reptiles modernos que no podía ser ignorada. Pero ¿sus antiguos precursores poseían similar susceptibilidad?, ¿qué sucede con los anfibios que son más tolerantes al frío y más vulnerables al calor?, ¿cualquiera de las formas modernas tenía alguna semejanza fisiológica reticular con sus ancestros? (Cowles y Bakker, 1977, p. 92)

Aquí está el investigador en el desierto, meditando sobre el significado de sus observaciones: qué podría explicar no sólo sobre los reptiles en la actualidad sino de sus ancestros.

Reflexionando sobre estos problemas completamente nuevos en otra noche sin dormir, *un destello fortuito* generó otra pregunta: ¿qué causó la extinción de tantas especies de reptiles y la gran transformación de las líneas de vertebrados sobrevivientes al final de la era de los dinosaurios? (Cowles y Bakker, 1977, p. 93)

Una vez más Cowles se encontró con un hecho *fortuito*, como el hallazgo de los huevos del Varano del Nilo en los nidos de las termitas cuando era adolescente. Sin embargo, hay una diferencia importante entre el hallazgo de los huevos de las termitas y esta idea sobre la extinción de los dinosaurios. En este segundo caso, estaba trabajando en el campo con su arreglo experimental sobre el efecto de la alta temperatura en los reptiles. Esta idea se generó a partir del trabajo de investigación en campo, probando la resistencia de los reptiles a la temperatura de su ambiente, de medir la temperatura de actividad óptima, la temperatura máxima que soportan los organismos tanto por debajo como por arriba de su temperatura de actividad normal. El arreglo experimental de Cowles, a partir de la conjunción de los instrumentos, las prácticas experimentales y el campo como espacio de trabajo estaba generando sorpresas, abría un espacio de posibilidad, por tanto, es un espacio generador de preguntas que emergen en el devenir del trabajo de investigación, que no estaban ahí antes o después, sino que surgieron en el proceso de investigación. En este caso, la pregunta que se hacía provenía de su interés por entender los procesos evolutivos en general; pero la reflexión era disparada por un hallazgo sorprendente: “la poca tolerancia al aumento de la temperatura”. Era posible que esta incapacidad de los reptiles actuales para soportar temperaturas por arriba de su temperatura óptima fuera una explicación para entender la extinción de los dinosaurios. Pero, sobre todo, ¿es posible hacer una inferencia a partir de fenómenos actuales para explicar un fenómeno del pasado?, ¿es factible explicar la extinción de los dinosaurios a partir de fenómenos que vemos en los reptiles del desierto? Estas preguntas estaban de fondo cuando Cowles pensó por primera vez

que podía hacer esta extrapolación de la recién “descubierta” naturaleza térmica de los reptiles con la extinción masiva de finales del Cretácico.

Cowles sabía que contaba con poca información para sostener una teoría sobre la extinción de los dinosaurios. Sin embargo, consideró que podía, con estas observaciones, llegar a plantear una “*propuesta puramente hipotética*” (Cowles, 1940, p. 545) o una “*teoría torpe*” (Cowles y Bakker, 1977, p. 92), cómo la llamaría muchos años después, que pudiera explicar la evolución de los reptiles. La estrategia se basó en un argumento de analogía y uniformismo metodológico característico de los estudios evolutivos:

Asumamos, por el bien del argumento, que las formas modernas de las creaturas terrestres, y por tanto su vulnerabilidad climática, han mantenido algunos *rastros* fisiológicos de sus ancestros de la misma manera que hay muchas evidencias morfológicas de su relación. Si esto es así, un pequeño incremento en la radiación solar o un momento prolongado de calor probablemente puso en peligro a las formas antiguas... En otras palabras, lo que es obvio hoy sobre los requerimientos de temperatura de los anfibios y reptiles podría muy bien reflejar similares patrones del pasado. (Cowles y Bakker, 1977, pp. 92–93)

Si bien esta hipótesis era arriesgada, con su trabajo de campo desde 1935 y por varios años, Cowles abonaría con evidencia de distintas fuentes para apoyar su hipótesis de la extinción. La primera y más importante fue establecer esta semejanza entre la incapacidad de los reptiles actuales para soportar temperaturas altas por tiempo prolongado y sus predecesores.

Si la capacidad para resistir el calor de los arcosaurios y sus prototipos puede ser aceptada como semejante... parece probable que no pudieron ser más capaces de hacer frente a las altas temperatura que los lagartos del desierto. (Cowles, 1940, p. 545)

Esta sería la idea principal de su teoría sobre la extinción de los arcosaurios. Consideró que, de alguna forma, al final del periodo Cretácico, se generó un ligero aumento en la temperatura que afectó de diferentes formas a estos animales dependientes de una temperatura estable en su hábitat. Así como los reptiles

actuales son extremadamente vulnerables a un ligero aumento en su temperatura corporal por arriba de su temperatura óptima, la gran extinción de reptiles al final del Mesozoico, pudo haber sido debida en gran medida a un incremento en la temperatura del ambiente que excedió el límite superior que toleraban estos reptiles (Colbert, Cowles y Bogert, 1946; Cowles, 1940). Este aumento en la temperatura de su medio generó importantes efectos en su capacidad para regular su temperatura por su tamaño y afectó su capacidad reproductiva. Sin embargo, nunca obtuvo evidencia geológica de que este supuesto cambio climático hubiera sucedido.

Parte de la formulación de esta hipótesis implicó la utilización de los conceptos que se habían propuesto en el estudio sobre la naturaleza térmica de los reptiles actuales y extrapolarlos para explicar las condiciones de vida de sus ancestros en general. Las nociones de ectotermo (incluyendo en ectotermo las subdivisiones de heliotermo y tigmotermo⁴⁹) y homeotermo serían no sólo útiles para explicar la naturaleza térmica de los reptiles actuales, sino que además servirían para explicar las condiciones de los reptiles del pasado.

Esta nomenclatura [ectotermo y homeotermo] es particularmente útil para visualizar y analizar las posibles condiciones bajo las cuales los organismos prehistóricos pudieron vivir, o como un resultado de las cuales pudieron haber dado origen a sus sucesores... Si se piensa a los vertebrados prehistóricos como heliotermos o tigmotermos, la primera pregunta que surge es qué función pudo haber jugado la temperatura en las condiciones bajo las cuales se originó el hábitat terrestre. (Cowles, 1940, p. 545)

De acuerdo con esta propuesta, a partir de estas nociones puede formularse el proceso que llevó a los animales del hábitat acuático al terrestre, lo que podría explicar parte de la evolución de estos organismos. Para ello Cowles fue más atrás en sus conjeturas afirmando que si se consideraba que algunos vertebrados

⁴⁹ Heliotermo se refiere a los animales que reciben su calor principalmente a partir de tomar el sol y tigmotermo implica que la captación de calor a través del contacto con medios del ambiente como aire, suelo o agua (Cowles, 1940).

marinos como los ostracodermos⁵⁰ solían habitar en aguas poco profundas, esto pudo haber sido un paso hacia la heliotermita lo que implicó la subsecuente emergencia al hábitat terrestre. La heliotermita tendría la ventaja inherente de una mayor velocidad en los procesos químicos metabólicos que implican las temperaturas más altas (Cowles, 1940).

Cowles argumentó que la heliotermita fue una de las razones que empujaron a los vertebrados a pasar del hábitat marino al terrestre, de hecho, habría sido una ventaja. Si el hábito terrestre evolucionó como respuesta a una gradual sequía y a la necesidad de buscar agua, implicaría que las formas emergentes tuvieron que enfrentarse a los peligros de la desecación y el calor excesivo. En contraste, si se piensa que esta emergencia fue producto de una adopción gradual del hábito de asolearse (*basking*) en la superficie del agua con periodos alternados sobre la tierra, la transición de un modo de vida acuático a uno terrestre habría sido un paso gradual y lógico (Cowles, 1940). Si la heliotermita fue uno de los principales estímulos para el hábitat terrestre, es posible que estos primeros colonizadores también adquirieran la pigmentación oscura que absorbe la radiación, tal como la tienen los reptiles actuales. Pero la capacidad de control térmico a través de los cambios de color que es esencial para muchos lagartos actuales podría no haber evolucionado hasta tiempos muy recientes. Si los reptiles prehistóricos, como sus descendientes más cercanos, los cocodrilos, poseían esta pigmentación oscura pero no la capacidad de cambio de color (que es una herramienta esencial en los reptiles modernos para evitar el sobrecalentamiento o calentarse muy rápidamente), entonces la exposición a temperaturas unos pocos grados por arriba de aquellas a las que estaban adaptados los habría llevado rápidamente a su desaparición o habrían necesitado ajustar sus hábitos y ajustarse a los cambios térmicos.

Esta es la forma en que Cowles fue desarrollando su hipótesis de la extinción. A partir de la información que tenía de la ecología de los reptiles actuales y su relación con el medio, desarrolló inferencias hacia el pasado para intentar explicar la extinción masiva de los dinosaurios. Si bien él mismo aceptó que no había evidencia

⁵⁰ Clase extinta de peces agnatos, se considera que son los vertebrados más antiguos conocidos.

suficiente en el registro geológico para sustentar su hipótesis, consideró que era posible hacer esta inferencia. “Aunque no hay una evidencia directa disponible sobre esos cambios de temperatura, es posible que un estudio de la respuesta de los reptiles podría sugerir una hipótesis lógica” (Cowles, 1940, p. 553). Esta idea lo llevo a desarrollar años más tarde una serie de experimentos con reptiles modernos que le dieran indicios de los posibles efectos del calor en los reptiles del pasado.

No sólo fue la incapacidad para soportar temperaturas ligeramente superiores de la temperatura óptima lo que apoyó la hipótesis de Cowles, también lo fue la capacidad de los reptiles actuales de soportar por tiempo prolongado temperaturas muy bajas. Cowles sabía que los primeros arcosaurios habían sobrevivido los intervalos más fríos de la glaciación durante el periodo Pérmico. Esta capacidad primitiva para soportar temperaturas muy bajas por largo tiempo podría haber sido conservada por los reptiles modernos (Cowles, 1940). Es decir, los reptiles modernos han heredado no sólo la incapacidad para soportar temperaturas ligeramente por arriba de su rango de temperatura óptima, además han heredado de sus ancestros la capacidad de soportar temperaturas muy bajas por tiempo muy prolongado sin sufrir algún daño.

3.2.- La estabilización de la termorregulación. Experimentos con cocodrilos.

Esta hipótesis sobre la extinción masiva al final del Cretácico por el aumento de algunos grados en la temperatura del ambiente enfrentó desde su formulación objeciones. En la introducción del artículo “*Temperature tolerance in the American alligator and their bearing on the habits, evolution, and extinction of the dinosaurs*” Cowles afirma que mantuvo una constante correspondencia con su colega Edwin H. Colbert sobre su teoría. Colbert al parecer no estuvo de acuerdo con la propuesta. Señaló que la evidencia geológica no mostraba que hubiera tenido lugar un aumento de la temperatura hacia finales del Cretácico, por el contrario, el registro geológico mostraba que probablemente hubo una disminución de la temperatura en

este periodo. La evidencia geológica revelaba que, al parecer, se presentó un cambio al final del Mesozoico y en el Terciario temprano de un ambiente tropical a uno subtropical o templado en las latitudes medias y altas lo que marcó el final de un clima más o menos constante característico de la parte final de la Era Mesozoica.

Por otra parte, ambos estuvieron de acuerdo en que estas especulaciones sobre la extinción se encontraban apoyadas en los experimentos realizados en lagartijas y serpientes cuyos resultados no servirían necesariamente para explicar la extinción de los dinosaurios. Las objeciones eran obvias. Los lepidosaurios⁵¹ son animales de tallas mucho menores que habitan principalmente en el suelo, su temperatura corporal tiene influencia directa del sustrato y la reflexión del calor en la superficie de la tierra. La talla de los dinosaurios los hacía mucho menos vulnerables al efecto de la temperatura del sustrato en comparación con las especies pequeñas. Las lagartijas y serpientes responden rápidamente a los cambios en la temperatura del ambiente porque tienen mucho menos masa corporal. La diferencia en la masa corporal entre los dos grupos marca una diferencia importante que dificultaba hacer comparaciones en cuanto a los efectos térmicos de sus respectivos ambientes. Los lepidosaurios tienen una capacidad rápida de albedo (coeficiente de reflexión) y una importante tolerancia a las altas temperaturas (en particular las especies diurnas), finalmente su relación evolutiva con los dinosaurios es lejana. (Colbert et al., 1946, p. 333; Colbert, Cowles, y Bogert, 1947). En su trabajo de 1940 Cowles afirmaba que sus observaciones en campo de los reptiles en el desierto de California podrían darle pistas sobre la extinción de los reptiles prehistóricos. En esta investigación que realizó junto con sus colegas Bogert y Colbert, Cowles consideró que sus observaciones en campo de las lagartijas y serpientes no eran suficientes para sostener su hipótesis.

Para Colbert el problema de la extinción tenía que dirimirse no por medio de la especulación, sino a partir de más experimentos que abonaran evidencia sobre la relación entre la temperatura y los reptiles prehistóricos. Tomando en cuenta que

⁵¹ Son un grupo de reptiles que comprende a los lagartos, serpientes, anfisbenios y tuatares, es decir, a todos los reptiles actuales excepto los cocodrilos.

los dinosaurios y los cocodrilos comparten relaciones filogenéticas y quizá fisiologías similares, era posible realizar experimentos con estos últimos que dieran luz sobre la biología térmica de los dinosaurios. Los cocodrilos, en contraste con los lepidosaurios, tienen una mayor masa corporal. Si bien no pueden compararse con los reptiles adultos del Mesozoico, es posible compararlos con las primeras etapas de crecimiento de los dinosaurios. Sería mucho más fácil hacer un estudio comparativo entre la respuesta de un reptil con una mayor masa corporal semejante a la de los reptiles del pasado, que con los grupos de lagartijas o serpientes que tienen tallas muy pequeñas y, por tanto, respuestas muy distintas a los efectos del calor.

Por otra parte, los cocodrilos son reptiles que habitan principalmente en zonas tropicales o subtropicales, ambientes térmicos muy cercanos a aquellos en los que evolucionaron y crecieron los dinosaurios. Además, los cocodrilos son los únicos reptiles cercanos filogenéticamente a los dinosaurios, son el único grupo de arcosaurios que ha sobrevivido⁵². Su estructura miológica y osteológica muestra una estrecha relación anatómica con los dinosaurios, lo cual parecería implicar que probablemente comparten una estructura fisiológica similar (Colbert et al., 1946, p. 334). Estas consideraciones llevaron a los investigadores a realizar una serie de experimentos con cocodrilos durante el verano de 1944 en el instituto Archbold Biological Station cerca del Lake Placid, Florida, patrocinados por el American Museum of Natural History (AMNH). De hecho, la sugerencia de hacer estos experimentos fue de Colbert (**foto 10**).

Los experimentos consistieron en reproducir algunas de las técnicas que Cowles había utilizado en su trabajo sobre la naturaleza térmica de los reptiles en California. Es importante revisarlos para mostrar cómo se generó la reproducción del arreglo experimental y la estabilización de la termorregulación como fenómeno para explicar

⁵² Es importante recalcar que los autores no identifican la relación de las aves (o al menos no en este trabajo) con los reptiles del pasado. Por ello afirman que el único pariente filogenéticamente relacionado con los arcosaurios son los cocodrilos.

otro tipo de procesos, estos de tipo macroevolutivo y no solamente fisiológicos como los anteriores.

Los experimentos tenían como objetivo analizar la relación entre los cocodrilos y su ambiente térmico, de tal forma que se interpretaría cómo pudo haber sido la relación entre los arcosaurios y su ambiente término. Los experimentos se dividieron en los siguientes: tolerancia a la luz directa del sol, tolerancia voluntaria a la radiación solar, tolerancia al calor con radiación directa en distintas posturas (simulando las dos posturas usuales en los dinosaurios, bípeda, prona y cuadrúpeda), tolerancia a la temperatura constante cercana al máximo crítico y tolerancia al agua caliente y fría.



Foto 10. Un pequeño estanque con una temperatura superficial de 31°C en las inmediaciones de la estación biológica de Archbold, al sur del condado Highlands, Florida. Uno de los cocodrilos experimentales habitaba en este espacio. (Colbert et al., 1946)

La primera parte de este proyecto consistió en observar la tolerancia térmica de cocodrilos de la especie *Alligator mississippiensis* con el propósito de determinar la respuesta de los animales al calor directo de la luz del sol. Se utilizaron para los experimentos 13 cocodrilos cuyos pesos iban desde los 47.5g. y una longitud de 27.5cm hasta un individuo de 24.5Kg y una longitud de 1.98m. En su mayoría las

tallas eran intermedias con longitudes de entre 0.63m y 1.5m con pesos de 0.5kg hasta 6kg (Colbert et al., 1946, p. 335). Como lo muestran estos datos, las tallas de los individuos experimentales tenían importantes variaciones, no obstante, esto también sería un valor agregado para conocer la reacción de individuos de tallas pequeñas en contraste con los de mayor masa corporal.

Los investigadores señalaban que estas primeras observaciones fueron ensayos preliminares para conocer la respuesta de los reptiles al incremento de la temperatura:

¿cómo reaccionarían animales de diferentes tamaños cuando fueran expuestos al calor del sol?, ¿cuán rápidamente la temperatura corporal se elevaría en animales con diferente talla y a qué temperatura se aproximarían y alcanzarían la *temperatura máxima crítica*?, ¿cuál era la *temperatura letal* para los cocodrilos? (Colbert et al., 1946, p. 337)

Estas fueron algunas de las primeras preguntas planteadas en la investigación. En las preguntas se observa cómo Cowles y sus colegas utilizaron la nomenclatura que habían desarrollado en las investigaciones previas. Las temperaturas “máxima crítica” y “letal” adquirieron no sólo el estatus de nociones básicas para investigar los efectos térmicos en reptiles, sino que también se volvieron parte de la explicación del fenómeno térmico. De hecho, la definición de “temperatura máxima crítica” fue recuperada del trabajo de 1944 para esta investigación. Cowles y sus colegas consideraron importante realizar pruebas preliminares para conocer el efecto de los cambios de temperatura en los cocodrilos ya que no habían trabajado antes con este grupo de animales.

Hubo varias razones para realizar estos ensayos preliminares. En primer lugar, era deseable ‘*probar o determinar*’ esta técnica para ver si funcionaría más o menos como se había anticipado. Además, fue necesario tener una idea de la tasa de incremento de la temperatura de los animales expuestos al sol como una guía en cuanto a la forma y velocidad con la que deberían realizarse las posteriores pruebas. Finalmente, era importante conocer aproximadamente las temperaturas máxima, crítica y letal para que los ulteriores ensayos se realizaran sin alguna pérdida

innecesaria de materiales, es decir, cuando se trata de animales tan caros y difíciles de conseguir como los cocodrilos. (Colbert et al., 1946, p. 337)

Los primeros experimentos sirvieron para conocer la forma en que el calor afecta a los cocodrilos. Estas pruebas preliminares fueron esenciales porque a partir de ellas se podían conocer las manifestaciones físicas y de comportamiento producidas por el calor. Pero hay un sentido muy importante de esta cita, la idea de 'probar o determinar' implicaba un tantear o ensayar, un aprender por medio de lo que se ve, lo que se puede ir escudriñando sobre algo que sucede y de lo cual no se sabe bien la reacción, no hay una forma estructurada de conocer en este probar o ensayar, porque es algo que se desarrollará en la práctica. El conocimiento sobre el efecto de la temperatura en los cocodrilos se produce por medio de la experiencia, que está mediada a su vez por el arreglo experimental que controla las condiciones técnicas donde se produce, y sólo a través de esta experiencia en el proceso de ejecutar los experimentos es que se podrá estabilizar un hecho, es decir, los efectos de la temperatura en los animales experimentales.

La técnica para medir la tolerancia térmica de los cocodrilos consistió en ponerlos en un espacio abierto, atarlos a una cadena corta por medio de una estaca clavada en el suelo para que pudieran moverse y estar expuestos al sobrecalentamiento sin que se protegieran (**fotos 11 y 12**).

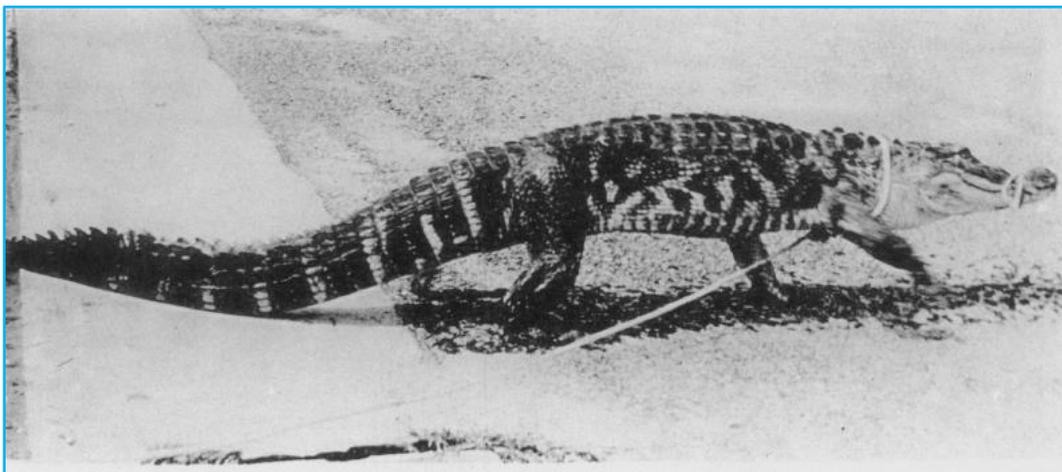


Foto 11. Postura con el vientre por arriba de suelo de unos de los cocodrilos utilizados en los experimentos mientras camina (Colbert et al., 1946). En la foto se observa como el cocodrilo estaba sujeto por el cuello para que no pudiera moverse a un lugar con sombra.

Se tomó registro de la temperatura cloacal en intervalos fijos y simultáneamente se registró la temperatura a la luz directa del sol con el bulbo negro (Colbert et al., 1946). Al parecer este bulbo negro es el mismo instrumento que Cowles había utilizado en su trabajo anterior. El instrumento estaba conformado por bombillas de vidrio, un termómetro de mercurio con el bulbo de carbón ennegrecido y cerrado herméticamente en un tubo de ensayo. Este objeto inanimado serviría de control para saber la diferencia de temperatura entre los cocodrilos y el medio circundante. La técnica requirió algunas modificaciones tomando en cuenta que los animales tenían una talla mayor a los reptiles pequeños.



Foto 12. Cocodrilos de una talla similares atados por estacas al suelo para los experimentos de la tolerancia al color directo del sol. (Colbert et al., 1946)

El procedimiento experimental consistió en registrar las temperaturas cloacales de los cocodrilos cuando se aproximaban a la “temperatura máxima” (**foto 13**). Determinar el momento en que se podía afirmar que un animal se acercaba a este punto fue también parte importante del entrenamiento de las primeras observaciones. Cuando los animales se aproximaban a esta temperatura máxima fueron puestos en la sombra y en algunos casos rociados con agua. Además del

registro de la temperatura cloacal de los animales expuestos al sol, se tomaron las temperaturas cuando habían sido trasladados a la sombra. En estos casos, la temperatura del aire a la sombra también se registró (Colbert et al., 1946, p. 337). Esta técnica era una reproducción de aquellas que Cowles había utilizado antes con especies más pequeñas, pero adaptándola a las condiciones de animales de talla mayor.

Las primeras mediciones mostraron que los animales presentaban signos de malestar agudo cuando la temperatura cloacal alcanzaba los 38°C, de hecho, los animales con tallas menores sucumbieron más rápidamente. Los experimentos mostraron que los animales de tallas pequeñas podían elevar más rápido su temperatura, pero si se movían a lugares con sombra y se rociaban con agua podían recuperarse. En el caso de los animales con mayor masa corporal, la temperatura podría incluso seguir elevándose después de ser movidos a los espacios con sombra. Un caso en particular mostró este hecho. El individuo de mayor talla (cocodrilo número 12 de 1.98m de longitud y 24.5kg) fue colocado a la luz directa del sol y a las 11:50am alcanzó una temperatura cloacal de 34.5°C, fue removido a una sombra, desafortunadamente la sombra cambió y el animal estuvo expuesto a la luz directa del sol. A la 1:00pm había alcanzado una temperatura de 38°C. Por lo tanto, fue trasladado inmediatamente a un área con sombra y rociado con agua para reanimarlo, el animal parecía mejorar de su síncope. Después de la reanimación se metió en un tanque de agua con temperatura de entre 26°C y 28°C. Sin embargo, a la mañana siguiente había muerto (Colbert et al., 1946, p. 340).



Foto 13. Método para tomar registro de la temperatura cloacal durante los experimentos. (Colbert et al., 1946)

Los investigadores consideraron que cuando se realizaban los registros de la temperatura cloacal, en el interior del cuerpo no se había elevado tanto la temperatura como en la parte más superficial del cuerpo que era la que recibía la radiación directa. Lo más probable es que este animal hubiera superado en la parte más externa de su cuerpo la temperatura máxima letal de 38°C, al parecer, no fue suficiente mover a la sombra al animal porque había acumulado una cantidad importante de calor que no se disipó posteriormente. Los resultados de los experimentos son mostrados en tablas (**tablas 3 y 4**).

TABLE 4
FIRST OF FINAL TRIALS

General Conditions	Time	Black Bulb	Cloacal Temperatures Alligators								
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 10	No. 11
Animals tethered on grass at 1:30 P.M.	1:40 P.M.	56° C.	31.0° C.	30.4° C.	30.6° C.	29.8° C.	31.0° C.	28.6° C.	30.2° C.	28.8° C.	28.3° C.
	1:50	59	36.8	36.4	37.0	34.0	33.2	31.3	32.0	31.5	29.8
	1:55	60	—	—	—	36.0	35.0	—	—	—	—
	2:00	62	—	—	—	—	—	34.2	34.4	33.7	31.7
	2:05	63	—	—	—	—	—	36.3	37.2	35.8	34.0
	2:12							—	37.5	37.0	34.5
	2:16							34.4	35.6	36.3	35.4
	2:26 ^a							32.3	33.0	34.5	34.9

^a Nos. 6, 7, 10, 11 removed to shade, sprayed with water from hose.

Tabla 3. Primer ensayo. Muestra los resultados de las mediciones en 11 cocodrilos que fueron sometidos a la luz directa del sol. (Colbert et al., 1946, p. 339)

TABLE 5
SECOND OF FINAL TRIALS

General Conditions	Time	Black Bulb	Cloacal Temperatures Alligators								
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 10	No. 11
Sept. 5, 1944	9:30 A.M.		27.0° C.	27.1° C.	26.8° C.	27.9° C.	28.0° C.	28.4° C.	28.0° C.	28.5° C.	28.2° C.
Animals tethered on grass at 9:35 A.M.	9:40	46.5° C.	33.4	31.8	31.3	30.5	30.5	29.5	29.6	30.4	30.0
	9:45	51	33.5	33.5	33.0	33.7	31.0	30.5	31.0	31.2	30.2
	9:50	52	—	35.0	34.8	33.6	33.3	31.3	31.5	31.3	30.6
	9:55	52	—	—	—	—	—	31.9	31.8	32.2	30.8
	10:00	53	—	—	—	—	—	32.6	33.2	33.0	32.3
	10:05*	56	—	—	—	—	—	—	—	—	32.0
	28.8							33.6	34.1	33.6	32.8
	—							33.9	34.0	34.0	33.0
	—							33.5	34.0	34.0	33.2
Air temp. in shade	29.4							33.2	33.7	34.0	33.3
	—							32.8	33.5	33.8	33.2
	—							32.6	33.2	33.5	33.2
	—							32.5	33.0	33.4	33.2
	—							—	—	—	33.0
	30.5							—	—	—	32.9
	—							—	—	—	33.0
	—							—	—	—	33.5

* Nos. 6, 7, 10, 11 moved to shade, grass cool and wet.

Tabla 4. Segundo ensayo. Muestra los resultados de las mediciones en 11 cocodrilos que fueron sometidos a la luz directa del sol. (Colbert et al., 1946, p. 339)

Los resultados de estas primeras pruebas experimentales corroboraron lo que ya se había pensado. El incremento de la temperatura corporal es inversamente proporcional con la masa del cuerpo. La temperatura se eleva más rápido en individuos con masa corporal menor y más lentamente si la masa corporal es mayor. De la misma forma, los animales con menor masa pierden más rápido calor que los de masa mayor. Según Colbert et al., (1946) esto implica que hay una menor sensibilidad a las fluctuaciones de las temperaturas menores o intermedias en los animales de mayor masa que en los más chicos.

Hasta este punto se observa la reproducción del arreglo experimental que Cowles había realizado antes para conocer el efecto de la temperatura en serpientes y lagartijas al final de la década anterior. No obstante, esta reproducción tiene sus particularidades que le hacen diferente en un sentido en el que el arreglo experimental no se reproduce de forma idéntica, sino que en su ejecución en otras condiciones y con otro tipo de organismos se generan diferencias que producirán nuevas interrogantes y nuevos procedimientos.

Cabe recordar que en la ejecución de estos experimentos se iba aprendiendo en el camino. Un ir tanteando “*tâtonnement*”⁵³ o probando en la marcha del arreglo experimental. Es justo en este sentido en el que Rheinberger nos habla del proceso en el que los sistemas experimentales se van conformando, como estos “laberintos, cuyas paredes, en el proceso de erigirse, en un mismo movimiento ciegan y guían al experimentador” (Rheinberger, 1992a, p. 321). Estas nociones de *tâtonnement* denotaban un fenómeno que emergió en el arreglo experimental, pero este ya no es necesariamente novedoso, sino que forma parte del fenómeno térmico que ya se había observado en arreglos previos. En el camino de la reproducción del arreglo experimental este *ir tanteando* es un juego de posibilidades, un proceso de aprendizaje entrelazado con la reproducción del arreglo experimental de prácticas anteriores.

3.2.1.- Temperatura voluntaria en los cocodrilos

Uno de los puntos cruciales del trabajo sobre el efecto de la temperatura en los cocodrilos era conocer la temperatura a la que voluntariamente se sometían. Es decir, la temperatura óptima. Para ello realizaron otras pruebas experimentales.

A la par de los trabajos sobre la tolerancia al calor del sol, se acondicionó un patio donde se colocarían a los individuos experimentales. Este sitio fue adecuado para proyectar la radiación al centro de la superficie. Las paredes se forraron con papel negro para que no se reflejara la radiación solar y para proporcionar sombra. Se colocaron algunas tablas en un extremo del área para que proporcionaran sombra adicional. El sustrato fue pavimento de color oscuro. Se midió la temperatura de los animales experimentales y del sitio previo a colocarlos dentro del patio, luego se colocaron y se observaron sus reacciones. A lo largo del experimento se midieron las temperaturas de cada individuo, del espacio con sombra y del bulbo negro en el centro del patio. Se realizaron dos ensayos uno en la tarde cuando el sol estaba más fuerte y en la mañana cuando salía el sol.

⁵³ Del francés “ir a tientas” o “ensayar, probar algo”

Los resultados de este arreglo mostraron que los animales preferían estar en la sombra que en el rayo directo del sol y que sólo tomaban el sol cuando se movían de lugar. Cuando el animal era colocado en la tarde a la luz directa del sol, este buscaba inmediatamente la sombra. Cuando se colocaba en el centro del patio por la mañana antes de que saliera el sol, este se movía a la sombra en cuanto el sol lo alcanzaba. Esto, sin embargo, no significa que no regularan su temperatura. Dentro de los mismos espacios con sombra buscaban las áreas con mayor radiación indirecta para mantener una temperatura estable que oscilaba entre los 32°C y los 35°C. Este rango sería por tanto su temperatura preferente. Esta temperatura "...parece representar una aproximación de la temperatura óptima de 'tomar el sol' (Basking)" (Colbert et al., 1946, p. 343). Estas observaciones concluyeron que al parecer la temperatura preferida por los cocodrilos fuera del agua está sólo unos pocos grados por debajo de la temperatura máxima crítica.

Los resultados parecen no alejarse mucho de lo que se había observado con especies pequeñas de lagartos. Al igual que los lepidosaurios, los cocodrilos tienen una temperatura óptima muy cercana a la temperatura máxima crítica en su entorno.

3.2.2.- Tolerancia al calor (luz directa del sol) de los dinosaurios

Otro de los objetivos de la investigación fue saber cuál era la tasa de absorción de calor en función de la postura de los dinosaurios. La idea de estos experimentos surgió justo de pensar de qué forma los hábitos de los dinosaurios (particularmente sus posturas y locomoción) podían tener algún impacto en la absorción de calor. Esto llevaba a otras preguntas:

¿cuál sería la tasa de aumento en la temperatura en los animales asumiendo las posturas básicas de actividad, bípeda, cuadrúpeda y de reposo en el suelo (postura prona)? y ¿cómo afectaron los hábitos y formas de locomoción las reacciones al calor en los dinosaurios? (Colbert et al., 1946, p. 344)

Para ver el efecto del calor según la postura, realizaron otra serie de técnicas diferentes a las que se habían utilizado en los reptiles de menores tallas. Cabe destacar que los trabajos de investigación empezaban a dar cuenta de algo que Cowles había considerado como parte central de su hipótesis principal: los efectos del calor en los reptiles según la cantidad de masa corporal que tuvieran. Por esta razón, en los experimentos se consideró utilizar tres animales de la misma talla y aproximadamente el mismo peso. Los cocodrilos utilizados tenían una longitud entre 1.09m y 1.13m y, peso entre 4.77kg a 5.9kg. Las pruebas consistieron en colocar a tres individuos en las tres posturas básicas que adoptaban los dinosaurios: Bípeda (B), cuadrúpeda (C) y prona (P)⁵⁴. Para ello se construyeron tres marcos de madera y en los que se colocó a los animales en las tres posturas. Un bastidor sostenía al animal de sus patas traseras con un ángulo de 40°; el otro sostenía al animal sobre el suelo, pero con las patas apoyadas sobre la superficie y el último mantenía al animal plano sobre el suelo (**foto 14**).

Con los animales colocados en estos marcos y en estas posiciones se realizaron distintas pruebas. Se colocaron en diferentes posiciones orientados frente al sol o de costado. Los ensayos se hicieron por la mañana con el sol en un ángulo bajo y en la tarde con el sol alto. Además, se realizaron ensayos en el césped y en el pavimento para comparar entre los sustratos (Colbert et al., 1946, p. 345). Estas técnicas recuperaron lo que ya se sabía sobre la forma en que los reptiles modernos absorben radiación de los trabajos previos. Cowles y Bogert (1944) sabían que en general, los lagartos toman en sol en dos posiciones básicas, de frente con la cabeza directa al sol para que la superficie expuesta sea mínima o, con el cuerpo expuesto completamente a la radiación. Además, sabía que el tipo de sustrato podía tener un impacto en la absorción de calor.

⁵⁴ En adelante se utilizarán estas letras para identificar a estas tres posiciones corporales B=bípeda, C=cuadrúpeda y P=Prona.



Foto 14. Tres cocodrilos de tamaños similares atados a los marcos para simular las 3 posturas de los dinosaurios. (a) Cuadrúpeda, con el vientre por arriba del sustrato. (b) Bípeda, con el eje principal del cuerpo en un ángulo de 40° . (c) Prona o de reposo, con el vientre sobre el suelo. (Colbert et al., 1946)

Aquí cabría hacer una observación importante, el arreglo experimental que Cowles había diseñado para estudiar la biología térmica de los reptiles se estaba reproduciendo en los trabajos sobre la hipótesis de la extinción de los dinosaurios. Pero no es sólo el arreglo experimental, si es que este lo entendemos como un conjunto de técnicas, prácticas, instrumentos y procedimientos. Además, eran los conocimientos que se habían desprendido de las primeras investigaciones y se incorporaban aquí como herramientas teóricas y metodológicas. Parte de lo que aprendieron Cowles y Mosauer en sus observaciones sobre la forma en que captan calor los lagartos fue que estos cambian su posición corporal según sus necesidades, para estar más o menos expuestos a la radiación solar. Cowles recuperó este conocimiento y lo empleó para los experimentos con cocodrilos.

El arreglo experimental además de reproducirse generó conocimientos que se utilizaron en esta investigación sobre la extinción de los dinosaurios. Podría decir, parafraseando a Rheinberger, que el objeto epistémico se transformó en un objeto técnico y se utilizó para generar nuevos objetos epistémicos. Durante sus

investigaciones sobre la biología térmica Weese (1917, 1919) había hecho las primeras observaciones sobre los hábitos de captación de calor del género *Phrynosoma*, pero fue Cowles quien sistematizó estas observaciones y las caracterizó como parte del comportamiento para regular la temperatura que tenían los reptiles, así, formaron parte de los elementos que constituyen a la biología térmica de este grupo, de los procesos de termorregulación.

En la reproducción del arreglo experimental, estos conocimientos se atrincheraron como herramientas metodológicas en los experimentos con los cocodrilos. Aquí formaron parte del arreglo experimental pero no como objetos a conocer, a indagar, sino como herramientas de trabajo para la investigación. Se generaron, a partir de este conocimiento, metodologías de trabajo que implicaban nuevas técnicas de manipulación, técnicas relacionadas con la forma en que captan radiación los reptiles, con estos marcos donde se sujetaron a los cocodrilos y procedimientos experimental. Los investigadores habían establecido que el sustrato jugaba un papel central en la captación de energía radiante, como se había observado en los anteriores arreglos experimentales. Esto devino en la elaboración de técnicas particulares para colocar a los reptiles en determinadas posiciones y en distintos tipos de sustratos. Aquí vemos el despliegue detallado del conocimiento que se había producido en el arreglo experimental previo generando nuevas técnicas y procedimientos experimentales.

Los primeros trabajos se realizaron por la mañana y sobre un sustrato de césped. Los animales se colocaron directo al sol (como se muestra en la **foto 13**). Se registró la temperatura inicial y después cada 15 minutos. El animal número 8 se colocó horizontalmente, con las patas sobre el sustrato y el cuerpo elevando (posición C); el número 9 se colocó con el ángulo de 40° en posición hacia el sol (Posición B) y el número 10 se colocó sobre el suelo (posición P). Los registros mostraron que los individuos 8 y 10 elevaron su temperatura a una velocidad aproximadamente igual, en contraste con el 9 que fue más lento (Colbert et al., 1946, p. 345). Los investigadores pensaron que esto era lo que se esperaba considerando que la posición del individuo no. 9 le permitía tener una absorción menor de calor porque

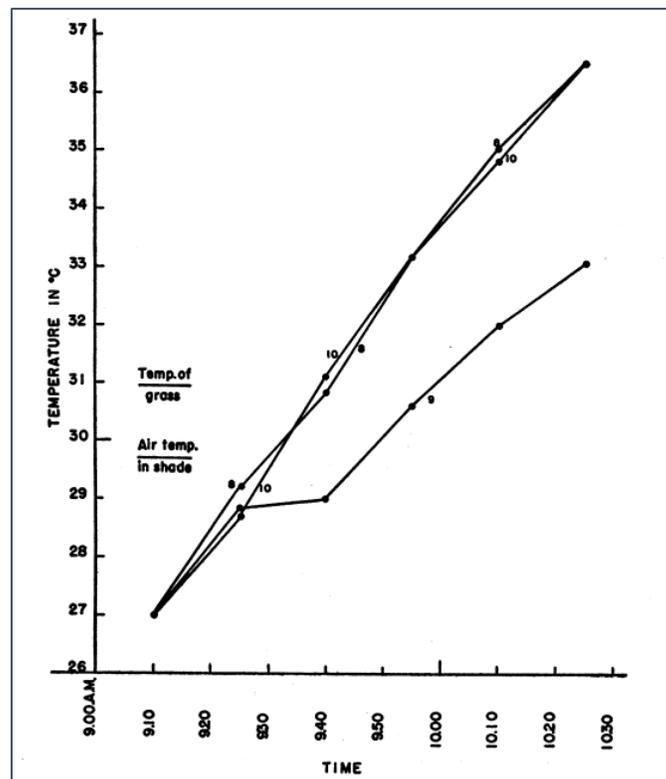
su cuerpo estaba menos expuesto a la radiación directa. Lo que generó sorpresa en los resultados es que el individuo no. 10 elevó su temperatura relativamente menos rápido que el no. 8 (considerando que este último tenía su cuerpo por arriba del sustrato, lo que le podía permitir que el aire circulante lo mantuviera más fresco). Sin embargo, llegaron a considerar que era posible que el contacto directo con el sustrato mantuviera más fresco y húmedo al individuo no.10. Los resultados de estos primeros experimentos se muestran en la **tabla 5** y en la **gráfica 1**.

En general, los experimentos subsecuentes serían en su estructura y puesta en marcha similares a este primer experimento. Los tres cocodrilos serían intercambiados en sus posiciones, pero seguirían siendo las mismas (B, C y P). En todos los experimentos se someterían a las condiciones de la luz directa del sol, si bien introduciendo algunas modificaciones importantes que generarían resultados diferentes.

La segunda prueba se realizó por la tarde a la 1:00pm. El sustrato fue pavimento de piedra caliza sobre asfalto, con poco viento. Los animales experimentales se pusieron en dirección hacia el sol. Se registraron las temperaturas cada 5 minutos. Los resultados mostraron que hubo un incremento de temperatura más rápido respecto de la mañana. Al cocodrilo en la posición P incrementó más rápido su temperatura corporal en comparación con los otros dos (posiciones B y C). Los individuos con posiciones B y C no tuvieron una diferencia significativa en cuanto al incremento de su temperatura corporal. Se pensó que era porque en ambos casos, la radiación incidía directamente en el cuerpo de los dos individuos sin una diferencia importante. En este caso la posición no fue relevante (Colbert et al., 1946, p. 347).

FIRST TRIAL					
General Conditions	Time	Cloacal Temperatures Alligators			Notes
		No. 8 Quadrupedal Pose	No. 9 Bipedal Pose	No. 10 Flat on Ground	
Sept. 1, 1944					
Animals placed in sun at 9:10 A.M.	9:10 A.M.	27.0° C.	27.0° C.	27.0° C.	
Grass temp., 31.0° C.	9:25	29.2	28.8	28.7	
	9:40	30.8	29.0	31.1	
	9:55	33.2	30.6	33.2	
Air temp., 29.5° C. in shade	10:10	35.0	32.0	34.8	
Wind negligible	10:25	36.5	33.1	36.5	Trial concluded; clouds beginning to form

Tabla 5. Resultados del primero ensayo con los cocodrilos en la mañana del 1 de septiembre 1944. (Colbert et al., 1946, p. 344)



Grafica 1. Tolerancia de los cocodrilos al calor directo del sol en las posturas adoptadas por los dinosaurios. Se muestra la tasa de absorción de calor en relación con la postura. Individuos posición: no.8 cuadrúpeda, no.9 bípeda y no.10 prona. (Colbert et al., 1946, p. 345)

La tercera prueba experimental se realizó en las mismas condiciones que la primera, pero ahora el sustrato fue el pavimento. Los animales se colocaron en los

marcos con las tres posiciones básicas y directo al sol a las 8:45am. Se midió la temperatura cloacal en intervalos de 10min. Hubo cierta nubosidad, pero parece que esto no afectó el incremento de la temperatura en los animales. Al igual que en la primera prueba, el animal en posición B tuvo un incremento más lento de temperatura que los otros dos. Y el que se mantuvo en la posición P incrementó más rápido su temperatura por el contacto con el sustrato. Los investigadores observaron que la nubosidad no afectó el incremento de la temperatura, considerando que esto se debía a que los cocodrilos eran de talla grande.

La cuarta y última prueba se realizó también por la mañana. A diferencia de las pruebas anteriores, en esta ocasión los tres individuos se colocaron en ángulo recto al sol, de tal suerte que en los tres casos los cuerpos de los animales estaban expuestos a la radiación directa. El sustrato fue césped, se iniciaron las pruebas a las 9:45am registrándose la temperatura en intervalos de 4min. Se observó que, en contraste con las pruebas anteriores, el aumento de la temperatura en los tres animales fue semejante. El efecto de la radiación sobre los animales fue similar sin importar la postura que tenían. En el caso del animal en posición P la absorción de calor directa del sustrato fue mínima.

En conjunto estas técnicas indicaban que había un cierto grado de control en la temperatura en función de la postura en reptiles de gran tamaño. Los cocodrilos puestos de frente al sol mostraron un incremento diferencial en sus temperaturas corporales. Los animales en posición B, en general, tuvieron un incrementaron menor de su temperatura. En contraste, los individuos en posición P fueron los que más aumentaron su temperatura por el contacto directo con el sustrato (sólo en la primera prueba no hubo tal incremento). Los animales en posición C se mantuvieron con un incremento intermedio de su temperatura corporal. Para explicar estas diferencias se esgrimieron distintos argumentos. Los individuos en posición B y C contaban con circulación del aire por debajo del vientre, esto permitió que el incremento de temperatura fuera más lento, en contraste, los animales completamente sobre el sustrato eran afectados por la transmisión de calor de dicho medio. No obstante, la diferencia en la velocidad de incremento de la temperatura

corporal fue sobre todo producto de la postura. Los cocodrilos en posición B tenían una superficie menor de exposición a la radiación directa del sol (Colbert et al., 1946, p. 350).

De hecho, Cowles y Bogert ya habían llegado a esta conclusión en su trabajo del 1944 sobre los reptiles del desierto. Según la posición del sol y la cantidad de radiación, los lagartos adoptan distintas posiciones. En las primeras horas del día la exposición es dorsolateral y/o dorsal con la cola hacia el sol y el extremo anterior elevado ligeramente. De esta forma, los rayos del sol inciden en ángulo recto sobre el cuerpo del animal. Durante las horas frías, generalmente aplastan su vientre a sustratos rocosos más calientes. Cuando la temperatura aumenta, poco a poco los lagartos cambian su posición hasta que llegan al punto de temperatura óptima e inician con su actividad normal. Pasado este punto óptimo, hay un aumento de temperatura corporal, por lo que, modifican su postura, levantando la cabeza hacia el sol, con las patas anteriores ligeramente elevadas para que el ángulo de incidencia de la radiación sobre el cuerpo sea mínimo y, por tanto, la temperatura se eleve poco. Cuando la temperatura aumenta al máximo, a lo largo del día, la postura corporal cambia de tal forma que haya una exposición mínima a la radiación. Moviendo el cuerpo de frente al sol, levantando el vientre para tener un contacto mínimo con el sustrato (se levanta la cola y los dedos de las patas). Finalmente se retiran a espacios con sombra, madrigueras o se entierran en el sustrato exponiendo sólo la cabeza (Cowles y Bogert, 1944, pp. 289–290). Esta descripción sobre el comportamiento de los lagartos del desierto fue utilizada para el desarrollo de técnicas en conjunto con la información sobre los tipos de anatomía motriz de los dinosaurios. Esto es, las técnicas de colocación de los cocodrilos en los marcos y las tres posturas básicas de investigación eran resultado de lo que se sabía sobre el comportamiento de regulación térmica de los reptiles actuales, y lo que se conocía sobre la forma en que los dinosaurios se desplazaban.

Con base en las pruebas de las posturas en los cocodrilos, y las observaciones previas de los reptiles del desierto, Cowles y sus colegas sugirieron que entre los dinosaurios pudo existir un cierto control de la temperatura que dependía de la

postura. Los dinosaurios bípedos probablemente tuvieron menores tasas de absorción de radiación, en contraste, los cuadrúpedos quizá pudieron haber sido más afectados por el calor. Consideraron además que no tuvieron incrementos de temperatura tan elevados como los individuos que fueron colocados en posición prona porque los dinosaurios en general no tenían anatomías con cuerpos sobre el sustrato (Colbert et al., 1946, p. 350). Estas son las primeras inferencias en las que se realizó un ejercicio de extrapolación. Se consideró que los efectos del calor en los cocodrilos actuales podrían ser análogos al efecto que el aumento de la temperatura pudo tener en los reptiles del pasado.

3.2.3.- Tolerancia a variaciones de temperatura. Cámara de gradientes

Además de las observaciones y mediciones realizadas en sitios exteriores, los investigadores construyeron una cámara en la que podían controlar la temperatura y la humedad (**foto 15**). Este espacio contaba con una piscina donde se colocaron a los cocodrilos para observar su reacción a diferentes temperaturas. Este arreglo experimental fue una caja de gradientes térmicos, pero para animales de tallas mucho mayores. Cabe recalcar que los investigadores hacen especial hincapié en que los animales experimentales “fueron sometidos a un ambiente *sin duda artificial*” (Colbert et al., 1946, p. 351). Esta afirmación parece mostrar que sus trabajos anteriores fueron menos artificiales. Es decir, si las observaciones y mediciones se realizaban en espacios abiertos no eran artificiales, sobre todo porque ellos no podían controlar la temperatura de estos espacios. Pero si el investigador controlaba la temperatura entonces se asumía artificialidad. Esto refleja el valor epistémico que tenían los espacios abiertos y en particular, el control de la variable central de investigación, la temperatura. Si la temperatura era controlada implicaba que el fenómeno era menos “natural”, por lo tanto, el fenómeno adquiriría un elemento que lo hacía menos real, menos parecido a cómo de hecho es en ambiente de los animales, se podía dar indicios del fenómeno térmico que acontecía en espacios abiertos. Las investigaciones en sitios de campo con elementos de los entornos o

relativamente con algunos de dichos elementos, implicarían un valor de confianza y certidumbre epistémica en contraste con los espacios cerrados y controlados en los que se generan entornos esencialmente artificiales. A pesar de esta afirmación de artificialidad, los investigadores consideraron que la única forma de obtener información de situaciones que no se presentan en sitios abiertos era recrear las condiciones térmicas pertinentes para observar el efecto en condiciones de laboratorio.



Foto 15. Piscina construida para experimentos sobre la tolerancia a agua fría y caliente. (Colbert et al., 1946)

Para conocer la tolerancia a distintas temperaturas, los investigadores utilizaron a un solo cocodrilo para observar la tolerancia a una temperatura constante cercana al máximo crítico. La cámara mantenía una humedad constante y las fluctuaciones de la temperatura no fueron mayores a 0.4°C . Antes de introducir a los animales dentro de la piscina fijaron y determinaron la temperatura y humedad. El individuo experimental fue colocado en una pequeña jaula de malla y ahí permaneció quieto durante el experimento (Colbert et al., 1946, p. 351). La cámara se mantuvo con una temperatura y humedad constantes de 38°C y 37% respectivamente. El experimento se realizó el 6 de junio de 1944 a las 2:30pm. El cocodrilo pesaba 668g,

tenía una temperatura inicial cloacal de 27°C. El animal se mantuvo bajo estas condiciones por 24hrs. La temperatura cloacal se midió primero en intervalos de 15min, luego de 30min y finalmente cada hora. La temperatura se elevó gradualmente hasta los 37.2°C y se mantuvo fluctuando entre esta temperatura y los 38°C, el registro máximo fue de 37.6°C. A lo largo del experimento el animal fue perdiendo peso por la desecación y terminó con un peso final del 534.6g. Esto significó que perdió 133.5g, aproximadamente el 20% (Colbert et al., 1946, p. 351). Al final del experimento se colocó al cocodrilo en agua a 27°C y recuperó rápidamente su peso.

Un segundo ensayo se realizó tres meses después con el mismo individuo. En esa ocasión el ensayo duró 12hrs, con temperatura constante de 38°C y humedad de 46%. La temperatura corporal se elevó gradualmente hasta los 37.4°C y se mantuvo fluctuando entre esta temperatura y los 38°C, el registro máximo fue de 37.9°C Después de las 12hrs el cocodrilo perdió sólo el 6.5% de su peso. En el primer ensayo en un periodo similar de tiempo perdió el 10% (Colbert et al., 1946, p. 351). Los investigadores consideraron que la diferencia entre los ensayos se debió a que en el segundo la humedad fue mayor. En ambos ensayos la temperatura corporal del individuo se elevó rápidamente hasta el punto en que se mantuvo constante ligeramente por debajo de la temperatura máxima crítica, fue la masa corporal la que se perdió. Los resultados indicaron que los cocodrilos pueden sobrevivir a temperaturas ambientales cercanas al máximo crítico durante un tiempo relativamente amplio, en tanto puedan controlar su temperatura a través de la pérdida constante de agua por evaporación. Al parecer el aumento de la humedad dificultó la pérdida de agua generando un aumento mayor en la temperatura corporal en el segundo ensayo.

Según los investigadores, estos experimentos sugirieron la posibilidad de que los cocodrilos recientes, y por inferencia, los dinosaurios tuvieron problemas con los ajustes de temperatura con humedades relativas altas. Sin embargo, los cocodrilos han vivido siempre en ambientes tropicales y subtropicales, en los cuales la alta humedad es la regla. Es probable que este método de control térmico haya sido de importancia relativamente menor. (Colbert et al., 1946, p. 351)

Finalmente, se realizaron algunos ensayos para conocer el efecto del agua caliente y fría en los cocodrilos. En el tanque de agua se colocó a individuos experimentales de distintos tamaños (**foto 16**). Se llenó el tanque con agua y se midió la temperatura del aire de 26°C. Se colocó a los cocodrilos hasta que se acostumbraron a la temperatura del agua. Después, en un extremo se fue vertiendo agua. En el primer experimento se introdujo agua caliente y en el segundo fría. Esto generó un gradiente térmico con el estanque a diferentes temperaturas. Los investigadores estuvieron atentos al comportamiento de los cocodrilos y, cuando salía uno del estanque por el efecto del cambio de temperatura se registraba su temperatura cloacal. Los investigadores tuvieron cuidado de no ser visibles para evitar que los animales no salieran por miedo (Colbert et al., 1946, p. 356).

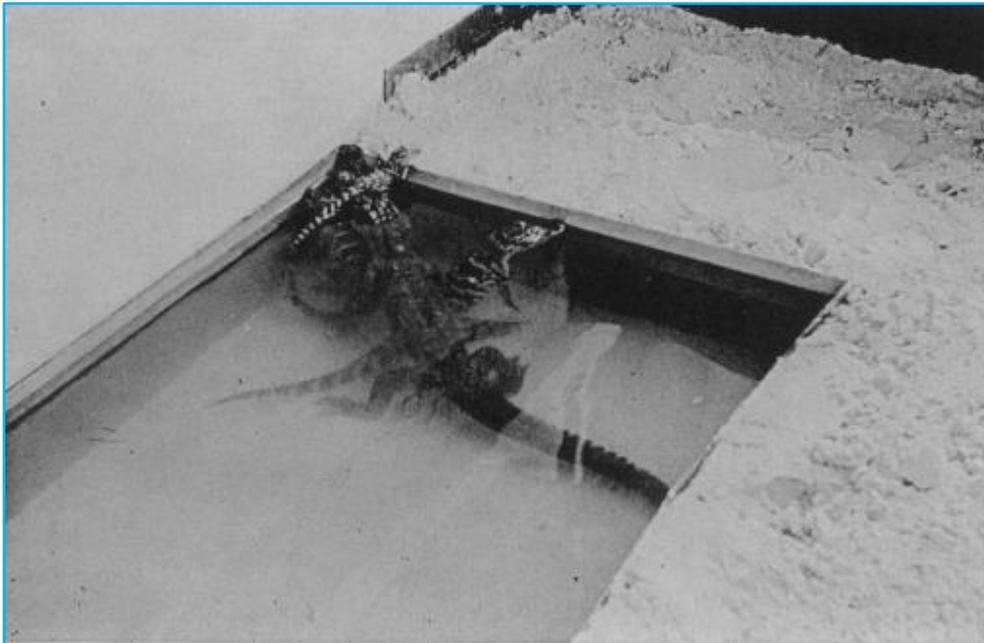


Foto 16. Cocodrilos al salir de la piscina cuando la temperatura del agua se acercó al máximo tolerado. El cocodrilo más pequeño a punto de salir del agua. (Colbert et al., 1946)

Se observó que los cocodrilos eran más afectados por el agua caliente que por la fría. Toleraron bien el agua fría hasta los 20°C por debajo de su temperatura óptima, en tanto que un aumento unos pocos grados por arriba de esta temperatura fue suficiente para ser fatal. Fue por ello que su reacción a temperaturas bajas fue menos marcada respecto de lo que fue para temperaturas altas. Finalmente, los

individuos de menor talla fueron más susceptibles a los cambios de temperatura (salieron primero del tanque). Pero esto se notó mucho más con la prueba a temperaturas altas (Colbert et al., 1946, p. 351). Estos resultados mostraron la semejanza en los efectos del calor sobre los cocodrilos en los diferentes experimentos y con los resultados que Cowles había obtenido en sus investigaciones previas con lagartos y serpientes del desierto.

A partir de los resultados de estos experimentos, Cowles y sus colegas se aventuran a realizar una serie de inferencias para explicar la relación entre estas observaciones y la posible extinción de los dinosaurios.

Lo que impulsó estas investigaciones fue la relación anatómica, fisiológica y taxonómica entre los dinosaurios y los cocodrilos. La realización de estos experimentos podría dar pistas sobre el efecto del calor en los dinosaurios considerando lo que se observó en los cocodrilos. El principal elemento considerado como similar entre los dos grupos de animales fue la masa corporal. Si bien se consideró que los cocodrilos no tienen el tamaño y masa de los dinosaurios más grandes, se pensó que su respuesta podría ser similar a aquella de los dinosaurios de tallas menores. La diferencia en el tamaño entre el cocodrilo más pequeño y el más grande fue de 500 veces su masa corporal. Según los investigadores, la diferencia en la tasa de absorción de calor entre el individuo más grande y el más pequeño, cuando fueron expuestos al rayo directo del sol, podría utilizarse para interpretar la toleración a la temperatura de los dinosaurios.

La diferencia de la absorción de calor entre los individuos más pequeños y los más grandes fue significativa. Un animal de 50g aumentaba su temperatura entre 27°C y 32°C en 7.5min. Un individuo de 13kg requería 30min para elevar su temperatura corporal a entre 28°C y 32°C. Por lo tanto, la tasa de incremento de la temperatura en un animal pequeño fue de 1°C cada 1.5min, para el animal 260 veces mayor en masa corporal el incremento fue de 1°C cada 7.5min. Esto llevó a la inferencia de que un dinosaurio, por ejemplo, de 10 toneladas (un animal 700 veces mayor en masa corporal que un cocodrilo), con la misma diferencia en el aumento de la temperatura, habría necesitado 86hrs para aumentar 1°C su

temperatura corporal (Colbert et al., 1946, pp. 365–366). Esta inferencia resultó problemática considerando los periodos de calor a lo largo de los días. Implicaría que los dinosaurios habían necesitado más de tres días para aumentar su temperatura corporal a un nivel óptimo. No obstante, los investigadores tenían una respuesta apoyada en sus experimentos que pudo explicar este posible resultado.

El efecto del calor depende en gran medida de la masa corporal de los organismos. De acuerdo con los experimentos realizados, los individuos con masas corporales pequeñas incrementaban rápidamente su temperatura corporal, pero perdían calor también de forma rápida. En contraste, los individuos más grandes ganaban calor de forma más lenta, pero lo perdían igual. Estas afirmaciones se consideraron como un hecho que sucedió en los dinosaurios:

Respecto de los reptiles pequeños, se recordará que mientras que los cocodrilos más pequeños adquieren calor más rápidamente, también lo pierden rápido. *Una condición que aplicaría igualmente a los dinosaurios inmaduros.* Haciéndolos particularmente susceptibles a los efectos de las temperaturas elevadas. Los cocodrilos grandes, por otro lado, absorben el calor lentamente, pero lo pierden a un ritmo relativamente lento. De esto *se deduce que en los dinosaurios de talla grande* probablemente habrían tenido un incremento de calor al menos durante el periodo entre el invierno y el otoño. (Colbert et al., 1946, p. 366)

Esta cita muestra la forma en que las inferencias resultaban una extrapolación de los hechos del presente para explicar el pasado, una metodología recurrente en la biología evolutiva considerando que es la única forma de plantear hipótesis sobre los organismos extintos.

La explicación que se generó para dar cuenta del problema que implicaría a los dinosaurios aumentar su temperatura se resolvió analizando su desarrollo biológico. Los dinosaurios no nacían con dichas tallas monumentales. Nacían con una talla semejante a los cocodrilos de talla mediana que fueron sometidos a experimentación. Esto significaría que al principio los individuos jóvenes podían regular su temperatura igual que los cocodrilos actuales, no necesitarían muchas horas para obtener el calor necesario para su actividad óptima. Durante el proceso

de crecimiento irían acumulando calor de tal forma que, en términos generales, quizá mantenían una temperatura relativamente estable ya que con masas corporales tan grandes conservarían el calor por más tiempo que los individuos de tallas menores.

Por otro lado, el nivel de exposición al calor dependía de la zona en que habitaban los organismos. En las zonas tropicales la exposición por día sería de 12 horas en promedio. En las zonas templadas, durante el verano, pudo ser de hasta 15 horas. Por tanto, en las zonas templadas, durante el verano y parte del otoño, los dinosaurios pudieron tener patrones de acumulación de calor que mantenían incluso en la noche (de acuerdo con los experimentos, los reptiles de mayor masa corporal mantienen por más tiempo calor en sus cuerpos). Esto les permitió, en cierta medida, mantener una temperatura corporal relativamente estable. A diferencia de los dinosaurios de talla más pequeña o juveniles que quizá fueron más susceptibles a los cambios de temperatura.

La inferencia de Cowles y sus colegas llega más lejos que sólo el declive de este grupo de animales prehistóricos, pretenden explicar la forma de vida de los dinosaurios y su posible éxito en función de su biología térmica. Los experimentos con los cocodrilos más grandes mostraron que la temperatura corporal seguía aumentando aun cuando se colocaban a la sombra. Se asumió que esta condición fue igual en los dinosaurios.

Este efecto debió magnificarse en gran medida en los dinosaurios, lo que sugiere que en ciertas etapas de crecimiento el efecto acumulativo del calor pudo haber sido particularmente difícil de evitar. (Colbert et al., 1946, p. 366)

Los resultados de los experimentos con los cocodrilos mostraron dos puntos a Cowles y sus colegas. Por un lado, se puede explicar la extinción de los dinosaurios por un ligero aumento en la temperatura ambiental que impactó la vida en general de estos reptiles. Pudo ser que el aumento generó problemas para mantener una temperatura corporal en el punto óptimo, produciendo un ligero aumento que fue letal para los organismos con grandes masas corporales. Por otro lado, el efecto pudo ser indirecto, quizá no afectó somáticamente a los dinosaurios el aumento de

la temperatura, pero si su capacidad de reproducción. Cowles había recientemente observado que algunos reptiles modernos tienen una relativa baja producción de células germinativas a temperaturas por arriba de la temperatura óptima (Colbert et al., 1946, p. 372).

No obstante, los resultados de estos experimentos fueron reveladores, pero no contundentes. Es probable que el efecto de la temperatura en los cocodrilos modernos de una pista de dicho efecto en los animales prehistóricos, sin embargo, los cocodrilos no tienen la masa corporal de los dinosaurios mayores. Los resultados con los cocodrilos pueden reflejar cómo fue el efecto de la temperatura en especies pequeñas o juveniles, pero no para los dinosaurios en estado adulto o de tallas mayores. Por otro lado, en el registro geológico de finales del Mesozoico no hay evidencia de un aumento de la temperatura, esta falta de apoyo en la evidencia geológica dejó a la hipótesis sola en su especulación.

Por otra parte, Bogert y Colbert apuntaron que la extinción es un fenómeno mucho más complejo que no podía depender sólo de un cambio de temperatura. Se tendrían que considerar otros factores como el suministro de alimento, la competencia ecológica provocada por el aumento de mamíferos y similares. Los colegas de Cowles señalaban que hay mucho que no se sabe sobre esta extinción y que no podía reducirse a un solo factor. Había muchas interrogantes de fondo que la hipótesis térmica no resolvía. ¿Por qué fue tan repentina la extinción?, ¿por qué incluso las formas pequeñas de dinosaurios se extinguieron?, ¿por qué persistieron los cocodrilos?, entre otras (Colbert et al., 1946, p. 373). Quizá la temperatura fue uno de los factores, pero estos experimentos no mostraban que fuera el más importante.

Los trabajos experimentales sobre la biología térmica de los cocodrilos fueron resultado de una larga historia de investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles. Si bien esta hipótesis y los resultados que obtuvieron los investigadores presentaron una evidencia satisfactoria para una explicación completa de la extinción de los dinosaurios, me permite analizar el atrincheramiento del fenómeno de la termorregulación en otras prácticas de investigación.

En los experimentos con cocodrilos vemos como la termorregulación se estabiliza convirtiéndose en una herramienta de investigación para otras prácticas científicas. El arreglo experimental se reproduce, se incorporan técnicas y métodos en un nuevo arreglo experimental. Se recuperan instrumentos y dispositivos de investigación como la utilización de termómetros, cajas de gradientes térmicos, técnicas de manipulación, registro cloacal de la temperatura. Se utilizaron nociones básicas como: temperatura letal, temperatura mínima, temperatura óptima, ectotermo, gradientes de temperatura, etc. La termorregulación es un fenómeno atrincherado como herramienta para explicar otros fenómenos que aún son opacos para el investigador. Ya no está en entredicho que los reptiles termorregulen, más bien, el objetivo es averiguar cómo las condiciones de la regulación térmica pueden explicar fenómenos como la extinción. Los resultados de las investigaciones con cocodrilos no fueron concluyentes, la termorregulación sola no parecía ser suficiente para explicar la extinción de dinosaurios, se consideró que era necesario analizar otros elementos en conjunto con los procesos de regulación térmica para tener una explicación un poco más completa. No obstante, la termorregulación ha sido fundamental para explicar otro tipo de fenómenos. Su potencial como herramientas de investigación se concentró en su aplicación a fenómenos ecológicas actuales.

3.3.- La contribución de Bogert a la termorregulación en reptiles

Charles Mitchill Bogert (1908-1992) fue una figura relevante dentro de la herpetología en Estados Unidos, parte del grupo de herpetólogos que en UCLA iniciaron con las investigaciones sobre la termorregulación en reptiles. Estudiante de Cowles, Bogert investigó sobre la biología térmica de los reptiles a partir del trabajo experimental que había desarrollado con su maestro. Bogert continuó con estas investigaciones después de graduarse de UCLA y a lo largo de toda su vida modificando el arreglo experimental original propuesto por Cowles.

Bogert se interesó en la herpetología gracias a la influencia en su juventud de Laurence M. Klauber un herpetólogo amateur a quien admiró toda su vida (Belcher,

1990). Asistía con regularidad a “las conferencias patrocinadas por la Herpetological Society of California, un grupo de amateur organizado por un médico que amaba a las serpientes” (Bogert en Belcher, 1990, p. 16). Fue en estas conferencias que Bogert conoció a Klauber:

No mucho tiempo después de que conocí a Klauber, él nombró y describió una nueva lyresnake⁵⁵. Un mes después lo publicó, mientras tanto yo recolectaba en el desierto de Mojave... Klauber me había enviado un reimpreso, así que le envié el espécimen. De esta forma empezamos a reunirnos cuando podíamos. Fue Klauber quien hizo que me interesara en la herpetología más que cualquier otra persona. (Bogert en Belcher, 1990, p. 16)

A partir de su amistad con Klauber, Bogert inició sus investigaciones sobre los reptiles del desierto de California, estado al que se mudó en los primeros años de la década de 1920 cuando era adolescente. En 1928 trabajó en el sistema escolar de Los Angeles, en 1930 como guía en el Rocky Mountain National Park y en 1932 como guardabosques en el Grand Canyon National Park. Ingresó en 1930 a UCLA para cursar sus estudios de licenciatura, se graduó en 1934 y en 1936 obtuvo el grado de maestro en la misma universidad. Durante sus estudios de maestría fue profesor asistente en el departamento de biología (Gans, 1993; Myers y Zweifel, 1993). En una entrevista realizada por Belcher (1990, p. 16) Bogert mencionó que tuvo suerte ya que en UCLA no hubo durante varios años un estudiante que estuviera realmente interesado en la herpetología. Además, se había puesto en marcha el programa de posgrado recientemente en la universidad. Fue durante sus estudios en UCLA que conoció a Walter Mosauer y Raymond B. Cowles, quien dirigió su tesis sobre la taxonomía del género *Salvadora*, ambos fueron amigos toda la vida (Gans, 1993; Myers y Zweifel, 1993).

El interés de Bogert por el fenómeno térmico en los reptiles nació del trabajo de campo que realizó junto con Cowles pocos años después de terminar sus estudios de maestría. Afirmó que en el año de 1938 no fue el primero en hacer investigación

⁵⁵ Son un grupo de culebras de la especie *Trimorphodon biscutatus* que reciben este nombre común por una mancha en la cabeza que es semejante a una lira. Perteneces a la familia Culubridae.

sobre la regulación térmica, ya que había trabajos previos sobre el mismo tema en las aves. “Cuando quería saber la temperatura, por ejemplo, de una lagartija con movimientos muy rápidos, simplemente se le disparaba con una liga y enseguida se registraba su temperatura corporal” (Bogert en Belcher, 1990, p. 16). Sin embargo, el mismo Bogert afirmó que Cowles seguía el camino más difícil.

Cuando me uní a él en 1938, Ray ya había establecido un campamento al sur de Palm Springs en el Valle de Coachella. En particular era un buen lugar para estudiar a la Sidewinder (*Crotalus cerastes*), la serpiente de cascabel más pequeña que puede encontrarse de Utah hasta Sonora. Ray tenía una caja que había diseñado, construido e instalado con cuatro pulgadas de tubo de cerámica extendidos en la arena y en ángulo. Las serpientes podían regular su temperatura sólo moviéndose de arriba a abajo en los tubos. (Bogert en Belcher, 1990, p. 16)

Si bien la tesis de maestría de Bogert fue sobre la taxonomía del género *Salvadora*, el trabajo más amplio que desarrolló con su profesor fue la investigación sobre la biología térmica de los reptiles. Es muy probable que el trabajo de campo que realizó junto con Cowles en el campamento de Valle de Coachella fuera el primer acercamiento del joven herpetólogo al estudio de la biología térmica en reptiles.

En 1939 publicó en el Boletín del AMNH uno de sus primeros artículos: “*Reptiles under the sun*”, sobre el efecto de la temperatura en los reptiles del monte San Jacinto, California. Este artículo es resultado del trabajo de campo que había realizado con Cowles en el Valle de Coachella. Bogert describe el trabajo realizado en el campo (en el **capítulo 2** detallé sus impresiones), plantea por primera vez que los reptiles no son afanosos amantes del calor del desierto, y tienen distintos mecanismos que utilizan para protegerse de la letal radiación del desierto. Este trabajo es un análisis cuidadoso y detallado de los hábitos de los reptiles relacionados con el efecto de la temperatura y sus medios para sobrevivir.

Entre los años de 1935 y 1940 se inscribió al programa de doctorado de la Universidad de Columbia, el cual no pudo terminar por los severos problemas económicos que tuvo a raíz de la depresión de 1930. En Columbia conoció a

Gladwyn K. Noble profesor de la universidad y curador del departamento de herpetología y biología experimental del American Museum of Natural History (AMNH). Noble estaba interesado en el estudio del comportamiento de los vertebrados inferiores, además, tenía una amplia experiencia en el trabajo de campo y en realizar estudios en el laboratorio con animales vivos. De hecho, los primeros trabajos de Noble en el AMNH fueron sobre sistemática herpetológica, pero para 1924 se inclinó por realizar estudios de biología experimental con reptiles y anfibios (Gregory, 1941; Necker, 1940). Seguramente Noble conocía la formación e intereses de Bogert, por ello lo invitó a trabajar como asistente de curador al AMNH en 1936. Con la muerte de Noble en 1940, asumió la parte administrativa del departamento. Fue nombrado curador interino de herpetología en 1942 y curador del departamento de Anfibios y Reptiles Recientes en 1943. Es justo en este periodo que en el departamento también se incluyó a los dinosaurios como parte del programa de estudio (Myers y Zweifel, 1993).

En 1944 asumió el control del departamento de Anfibios y Reptiles (este departamento cambió su nombre en 1959 a Departamento de Herpetología), posición en la que se mantuvo hasta su retiro en 1968 (American Museum of Natural History, 2018; Gans, 1993; Myers & Zweifel, 1993). Su arduo trabajo a lo largo de 29 años al frente del departamento se refleja en el aumento significativo que tuvo la colección del departamento de 110,000 a 184,000 especímenes catalogados. Durante este tiempo pudo mantener la colección junta y adecuadamente organizada (Myers y Zweifel, 1993).

A la par de su trabajo como curador, durante su estancia en el museo, tuvo una amplia producción de investigación sobre distintas áreas de la herpetología: estudió la serpiente *Salvadora hexalepis*, la biología térmica de anfibios y reptiles, elementos sensoriales y dentición en serpientes; realizó un importante trabajo taxonómico en México. En 1954 junto con Samuel B. McDowell, Jr realizó un estudio morfológico y sistemáticos sobre la posición taxonómica de *Lanthanotus*⁵⁶ que fue

⁵⁶ Es un género de lagarto de la familia Lanthanotidae con una sola especie: *Lanthanotus borneensis* que se distribuyen en la Isla Borneo

considerada una importante contribución al estudio de este reptil. Con Rafael Martín del Campo en 1956 realizó una importante monografía sobre *Heloderma*⁵⁷ considerándose una obra muy notable y la primera en estudiar a fondo a este grupo de reptiles. Sólo por mencionar algunos de los trabajos y áreas de investigación en las que se desarrolló el trabajo de Bogert (American Museum of Natural History, 2018; Myers y Zweifel, 1993). En sus más de 32 años de investigación y aproximadamente 150 publicaciones entre libros y artículos de distintos tipos se refleja la gran obra de uno de los herpetólogos más importantes del siglo XX⁵⁸.

Cuando Bogert asumió su puesto dentro del AMNH reconoció el valor que tenía este espacio para sus intereses profesionales. Inició un importante trabajo de investigación combinando su formación como biólogo de campo con los intereses de coleta y de clasificación del museo. Por ejemplo, las investigaciones sobre la extinción de los dinosaurios que realizó junto con Colbert y Cowles fueron financiadas por el AMNH y publicadas en el boletín de la misma institución. La posición de Bogert en el Museo le permitiría tener una influencia importante en las siguientes generaciones de herpetólogos. El trabajo de este herpetólogo es muy amplio, para la tesis centro mi atención en las contribuciones al estudio de la termorregulación posterior a las investigaciones que realizó con Cowles.

3.3.1. Modificaciones al arreglo experimental

Desde los trabajos sobre biología térmica que Bogert realizó con Cowles, tenía presente que las observaciones en el laboratorio reflejaban correctamente la respuesta de los reptiles a la variación de temperatura. Es decir, que estos animales absorben la radiación de su medio y fluctuaba con el mismo. No obstante, sabía que esto sólo era una parte de la explicación del fenómeno térmico.

⁵⁷ *Heloderma* es un género de lagartos venenosos que se distribuyen en el sudoeste de Estados Unidos, México y Guatemala.

⁵⁸ En esta tesis no revisaré el trabajo de Bogert porque muchas áreas de investigación en las que se enfocó no están relacionadas directamente con la biología térmica, no obstante, su trabajo es muy amplio. Myers y Zweifel (1993) explican detalladamente el trabajo de Bogert.

Las observaciones del laboratorio reflejan de forma adecuada lo que le sucede a la temperatura corporal de un lagarto cuando se cambia la temperatura del laboratorio. Pero la conclusión extraída de estas observaciones sólo es cierta para la lagartija en el laboratorio. En sus hábitats naturales durante el día, los lagartos forrajean, se aparean, defienden su territorio y huyen a temperaturas corporales que pueden ser incluso más altas que las nuestras, y mantienen su temperatura dentro de límites estrechos a pesar de la gran variación en la temperatura del aire. (Bogert, 1959, p. 105)

Estos animales aprovechan las diferentes temperaturas de su hábitat, distribuidas a través del tiempo y espacio, para evitar los extremos y ejercer en cierta medida control sobre el nivel térmico de sus cuerpos.

En unos pocos segundos, un lagarto activo en su hábitat natural puede atravesar áreas donde parte de la superficie del suelo estén sombreadas, parcialmente sombreadas o expuestas por completo al sol. En las regiones desérticas la temperatura del sustrato en varios puntos a lo largo del camino de los reptiles puede variar entre 20°C y 30°C. Las variaciones en el aire, son de menor magnitud, pero como parte del entorno del lagarto, pueden cambiar de un momento a otro, particularmente si el lagarto se mueve dentro y fuera de las grietas de las rocas. (Bogert, 1949b, p. 196)

La termorregulación es un fenómeno espacial, que requiere el conjunto del ambiente y los animales moviéndose dentro de la dimensión térmica. Bogert sabía que los reptiles confinados dentro de cajas en el laboratorio no logran controlar su temperatura y puede aproximarse a la de su atmósfera circundante. No son ilustrativas de la termorregulación las mediciones que se realizan en condiciones controladas. Parte de los resultados de Cowles y Bogert (1944) señalaban que no se podría relacionar la temperatura corporal de un reptil con la temperatura de varios de los componentes de su entorno. Bogert señala la dificultad de simular las condiciones térmicas de los animales como ya lo había considerado en 1939.

Es difícil simular las condiciones ambientales en el laboratorio... Después de experimentar con distintos tipos de aparatos. Cowles y Bogert (1944) adoptaron el procedimiento de instalar jaulas abiertas en el campo donde los animales podían ser

confinados y observados en una aproximación cercana a su entorno nativo. Bajo estas condiciones, fue posible determinar los métodos utilizados por los reptiles para ajustar la temperatura corporal. (Bogert, 1949b, p. 196)

Reconoció la importancia de los resultados obtenidos en el trabajo con Cowles en la estación de campo a finales de la década de 1930: definición de los criterios utilizados para el registro de los niveles térmicos corporales que fueron significativos; se determinó el rango de actividad normal y su punto medio u óptimo ecológico, para distintas especies de lagartos y serpientes que habitan en el suroeste de los Estados Unidos. No obstante, consideró que eran necesario un estudio comparativo más amplio para una comprensión satisfactoria de los requerimientos térmicos de los reptiles.

Bogert sabía que la termorregulación era un fenómeno con una la dimensión espacial, que requería estudiarse en los sitios de campo. A lo largo de muchos años consideró que eran necesario realizar estudios más extendidos, dentro y fuera de los Estados Unidos, para acumular más datos sobre la temperatura corporal de los reptiles en una variedad importante de hábitats (Bogert, 1949b, 1949a). Heath (1964) señala que, de hecho, el trabajo de Cowles y Bogert de 1944 había estimulado en los siguientes años la acumulación de datos sobre temperaturas corporales en distintos sitios.

Bogert tenía claro que para estudiar el fenómeno térmico era necesaria una imagen integral del ambiente del reptil y relacionarlo con el promedio de las temperaturas corporales de los animales en un momento particular. Tomando en cuenta la complejidad del fenómeno térmico y la experiencia del arreglo experimental en el Valle de Coachella. Boger consideró que confinar a los reptiles dentro de cajas en el campo tenía ciertas limitaciones. No explicó cuáles fueron, pero su argumentación apuntaba a realizar mediciones del fenómeno térmico de forma más directa en el campo, recuperando la espacialidad del fenómeno. Consideró que la mejor manera de tener una imagen más cercana a los procesos de regulación térmica era registrar las temperaturas de los animales libres en el campo.

La mayoría de los trabajos sobre termorregulación que realizó Bogert en el campo no implicaron realizar un arreglo experimental tan elaborado como el de Cowles. No colocaba cajas experimentales para analizar la respuesta de los reptiles, más bien, recolectaba los reptiles directamente en el campo y registraba su temperatura.

Esto implicó un cambio radical al arreglo experimental que históricamente se había utilizado para estudiar la biología térmica de los reptiles. Como he analizado a lo largo de la tesis, los primeros trabajos sobre el fenómeno se realizaron o en el campo o en el laboratorio. Eran observaciones de campo o experimentos en el laboratorio. Después, investigadores como Weese y Mosauer producirían un arreglo experimental híbrido con observaciones y experimentos en el campo y, experimentos en los laboratorios. Mosauer y Cowles se decantaron por realizar trabajos en el campo por su valor epistémico, pero a través de un arreglo experimental con dispositivos, instrumentos de mediciones, técnicas experimentales que surgirían dentro del trabajo experimental. La propuesta de Bogert después de la segunda mitad de la década de 1940 parece regresar al campo sin la mediación de un arreglo experimental. Básicamente porque los dispositivos experimentales fueron eliminados de la ecuación ¿cabría preguntarse si esta forma de estudiar la termorregulación podría considerarse como un arreglo experimental?

La propuesta de Bogert parecía mucho más dinámica que la de Cowles, no se trataba de recolectar distintas especies de reptiles y confinarlas en cajas experimentales, sino de trabajar directamente en el hábitat y nicho de cada reptil para realizar mediciones tanto del animal como de su entorno térmico. Esto no implicó un paso atrás a la observación de campo pasiva, todo lo contrario, los instrumentos de medición, las técnicas para recolectar a los organismos y registrar la temperatura, y la medición de la temperatura del medio circundante formaban parte la nueva propuesta de trabajo de campo. El método consistía en dispararle a las lagartijas en el campo y registrar inmediatamente su temperatura corporal. Bogert señala que este método era apropiado sobre todo para especies abundantes

y diurnas. Esperaba obtener una cantidad abundante de datos confiables sobre las variaciones de temperatura de alguna población.

La recolecta fue hecha con un rifle de barril calibre 22 de municiones. Siempre que fue posible, se disparó a las lagartijas a un rango de 2 a 4 metros. El tiro a tal distancia fue adecuado de tal forma que sólo unos cuantos penetraron, el número, por supuesto, dependía de la distancia y orientación de la lagartija. (Bogert, 1949b, p. 197)

La medición de la temperatura se realizaba lo más rápido posible para evitar algún tipo de variación por el efecto del disparo y la inmovilidad, por el estrés, la manipulación, entre otros factores. Para realizar las mediciones Bogert mandó a fabricar un termómetro especial que registraba en pocos segundos las temperaturas corporales con precisión.

Ya que los sensibles termopares eran demasiado voluminosos para ser transportados convenientemente al campo, se tuvieron que diseñar termómetros adecuados y fueron fabricados por Schultheis Corporation en Brooklyn. El instrumento obtenido fue un pequeño termómetro de mercurio de 18cm de largo, con una bombilla de 7 a 12mm de largo y 2mm de diámetro que fácilmente podía ser empujada dentro de la cloaca, incluso en las lagartijas más pequeñas. Fue calibrada en divisiones de 0.2°C con un rango de 0°C a 50°C. Las repeticiones de los experimentos indicaron que era suficientemente sensible para alcanzar el equilibrio en aproximadamente 15 segundos. Por lo tanto, fue posible registrar la temperatura de un reptil en 30 segundos o menos después del disparo. (Bogert, 1949b, p. 197)

Al trabajo experimental, como lo denomina Bogert, se apoyó en un instrumento distinto al termopar porque era más fácil transportarlos dentro del campo, durante las caminatas en los sitios de muestreo. El nuevo termómetro era pequeño, de fácil manejo, preciso y rápido en los registros de la temperatura.

La práctica de investigación continuó siendo en su naturaleza experimental, si bien el objetivo básico era acumular registros de temperaturas corporales, esto no implica que no haya existido una metodología de trabajo que no sólo incluía el registro de las temperaturas corporales, además:

Se registraron otros datos en adición a las temperaturas cloacales de los animales recolectados en Arizona, se incluyeron la hora del día, temperatura del sustrato donde fue observada la lagartija por primera vez y la temperatura del aire 5cm por arriba de este punto. También se registró el sexo y tiempo después de la muerte se pesaron. (Bogert, 1949b, p. 197)

El trabajo de campo incluyó un registro no sólo de la temperatura corporal de cada animal, además un registro del ambiente térmico en el cual fue observado y recolectado el reptil (**tabla 6**). Se tomaron en cuenta las características de la flora asociada a los sitios, el clima de la zona y la temporada de recolecta, así como las especies más observadas y recolectadas.

	<i>Sceloporus</i>		<i>Cnemidophorus</i>	
	<i>S. magister</i> (Arizona)	<i>S. woodi</i> (Florida)	<i>C. tessellatus</i> (Arizona)	<i>C. sexlineatus</i> (Florida)
Number	10	42	33	12
Mean, body temps.	34.9±.56 (32.0–37.0)	36.2±.25 (32.0–39.2)	41.3±.24 (37.4–43.5)	41.0±.47 (38.5–43.0)
Coefficient of variation	5.09	4.53	3.30	3.93
Mean, body temps. ♂♂	33.5±.88 ^a (32.0–34.8)	36.3±.42 (32.5–38.8)	40.8±.45 (37.4–42.6)	40.9±.36 (39.5–42.0)
Mean, body temps. ♀♀	36.1±.43 (34.0–37.0)	36.0±.35 (32.0–39.2)	41.5±.79 (39.3–43.5)	41.1±.66 (38.5–43.0)
Mean, body temps., May–June	—	35.9±.40 (32.0–39.2)	—	40.5±.70 (38.5–42.5)
Mean, body temps., Aug.–Sept.	—	36.5±.32 (32.5–38.8)	—	41.3±.33 (40.5–43.0)
Mean, air temp. records ^b	32.5±.78 (29.3–38.5)	—	33.6±.43 (29.2–39.2)	—
Coefficient of variation	7.61	—	7.32	—
Mean, substratum temp. records	32.61±.13 (29.6–40.5)	—	41.3±1.07 (32.5–58.9)	—
Coefficient of variation	10.36	—	14.86	—

Tabla 6. Tabla recuperada de Bogert (1949b, p. 198) resumen de datos de temperatura corporales de lagartos y de la temperatura del aire y del sustrato en °C, registradas en florida y Arizona (los extremos están entre paréntesis debajo de la media y la desviación estándar).

b. Las temperaturas del sustrato se registraron lo más cerca posible del lugar donde se observaron por primera vez los reptiles. Las temperaturas del aire se registraron 5cm por encima del punto, o a un lado cuando la lagartija estaba en paredes o árboles. (Bogert, 1949b, p. 198)

La tabla sintetiza el trabajo de registro de la información térmica no sólo de los reptiles, además de las condiciones térmicas entorno a los sitios de recolecta. La propuesta de Bogert no regresó a un trabajo de campo sólo de observación, el sitio

se convirtió en un entorno lleno de información que puede registrarse por medio de instrumentos de medición, realizando técnicas de recolecta de información, de manipulación de organismos, analizando las condiciones medioambientales relacionadas con el fenómeno térmico. El arreglo experimental se vuelve dinámico, ya no depende de un sitio en particular elegido para la investigación, ahora el campo, en tanto que lugar donde habita el fenómeno térmico, es el sitio de investigación en su amplia espacialidad.

Bogert eliminó de la ecuación el arreglo experimental fijo de Cowles para hacerlo móvil dentro del espacio de investigación. A partir de esta modificación, las investigaciones sobre termorregulación en campo serían principalmente de este modo. Visitar los sitios donde habitan los organismos y registrar información útil para realizar interpretaciones acerca de los hábitos térmicos de las especies estudiadas.

Aunque Bogert argumentaba que la mejor forma de estudiar la biología térmica de los reptiles era en el campo hubo condiciones que no le permitían realizar este tipo de trabajo. Por ejemplo, para especies de lugares muy lejanos o poco abundantes era difícil obtener información suficiente sobre temperaturas corporales en los sitios donde habitaban los animales. La alternativa era recolectar algunos individuos de las especies a estudiar y realizar mediciones en espacios controlados. Bogert diseñó y construyó cajas de gradientes térmicos en el AMNH donde realizaba registros de temperaturas para estudiar principalmente la actividad de los reptiles en lo que se denominaba “actividad normal” (**foto 17**). Bogert y Martín del Campo describen cómo estaban diseñadas estas cajas de gradientes y cómo se utilizaron para estudiar el rango de actividad normal del Monstruo de Gila (*Heloderma suspectum*), (**imagen 5**).

La caja utilizada para la actividad normal, como la definen Cowles y Bogert, (1944) ... Contaba con lamparas incandescentes suspendidas en la parte superior de la caja por medio de cadenas, de tal forma que 5 lamparas de cada fila podían moverse hacia arriba, abajo y lateralmente, dependiendo de los requerimientos de calor. El piso de la caja fue equipado con una capa de arena de 5 a 10cm que variaba de profundidad. Unas pocas rocas y láminas de pizarra fueron colocadas para

proveer un refugio adecuado para los monstruos de Gila cuando no estuvieran activos. (Bogert y Martín del Campo, 1956, p. 126)

Los autores sostienen que, si se proveía de condiciones adecuadas en el laboratorio, los reptiles mantenían una temperatura corporal media característica de las especies que se estudiaba. “En una caja provista con lámparas incandescentes en un extremo. Reptiles de distintas especies han mantenido su cuerpo a un nivel medio térmico con una diferencia no mayor a 15°C” (Bogert y Martín del Campo, 1956, p. 126).

Para Bogert y sus colaboradores el fenómeno térmico se estudiaba en primera instancia en el campo, no obstante, si las condiciones no permitían obtener un número suficiente de registros térmicos, entonces se podían realizar mediciones dentro del laboratorio. Finalmente, las investigaciones sobre la biología térmica y termorregulación en reptiles continuaron habitando estos dos sitios. No estaban en pugna, se complementaban, sin embargo, el campo como espacio y objeto de investigación seguía teniendo primacía sobre el laboratorio por la naturaleza temporal y espacial del fenómeno térmico.



Foto 17. C.M. Bogert (a la edad de 50 años) registrando la temperatura de una Iguana de las Galápagos (*Conolophus*) en el American Museum, enero de 1959. Esta es una de las dos cajas de piso que Bogert había construido para estudiar la termorregulación en el departamento de herpetología. Estas cajas permitían el ajustar de gradientes de temperatura. (Myers y Zweifel, 1993, p. 137)

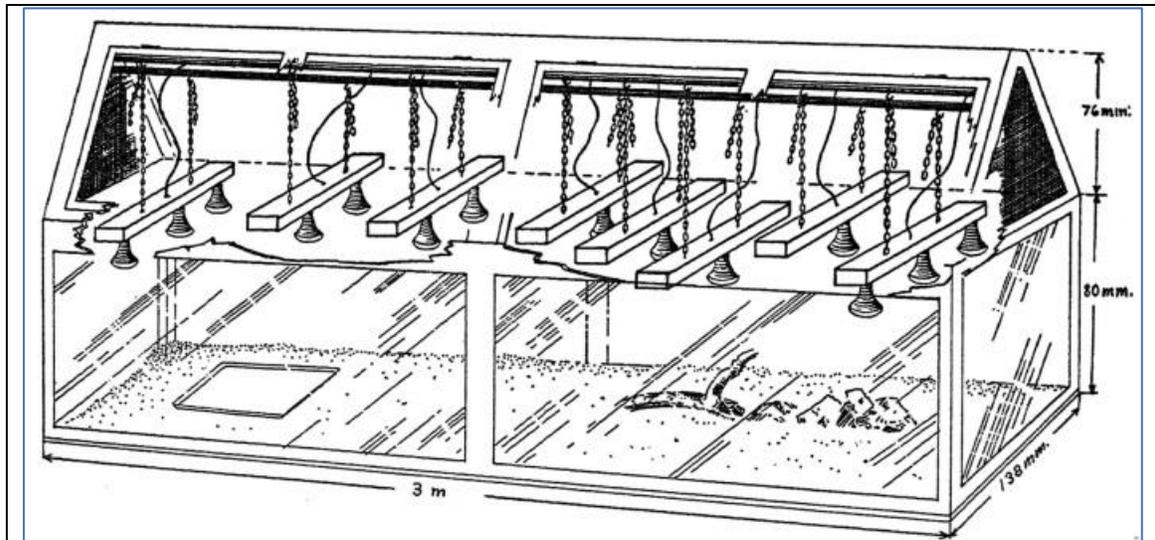


Imagen 5. Diagrama de la caja empleada para evaluar el rango de actividad normal para las temperaturas corporales de reptiles. Con lámparas térmicas ajustables que proveían de calor radiante. Cada fila de luces operaba con su propio apagador. Con cinco sockets disponibles en cada fila. (Bogert y Martín del Campo, 1956, p. 126)

El arreglo experimental propuesto por Cowles fue transformándose, adecuándose, cambiándose por un trabajo más dinámico y menos fijo en el campo. Una crítica interesante que me permite mostrar cómo seguiría la evolución de la investigación en los años venideros fue la señalada por Heath en la década de 1960. Heath (1964) señala que, el trabajo publicado por Cowles y Bogert en 1944, estimuló tanto acumular una gran cantidad de información sobre la temperatura corporal de muchos reptiles como discusiones sobre la interpretación que se le podía dar a esta información. Además, desde el trabajo de Cowles y Bogert el método se simplificó progresivamente.

Se descartaron varias de las categorías que Cowles y Bogert habían señalado sobre la respuesta térmica en favor de sólo determinar las temperaturas corporales de los reptiles en el campo.

El método en uso actual por muchos trabajadores es bastante simple. A los reptiles se les dispara o ata y sus temperaturas corporales son registradas con termómetro pequeño y sensible. La temperatura del aire generalmente es tomada, pero no hay una estandarización en la forma en que esto se hace. En algunos casos las temperaturas corporales por debajo de un nivel arbitrario se ignoran porque se

encuentran en el llamado rango de asolearse “basking” del animal. La actividad del animal antes de la medición es raramente conocida, pero usualmente se nos asegura que la regulación de la temperatura se está produciendo según lo señalado en Cowles y Bogert. (Heath, 1964, p. 784)

La crítica central de Heath era que no fue suficiente el registro de la temperatura corporal de los animales en campo para afirmar que están termorregulando, ¿cómo se puede afirmar que un reptil en un momento dado está llevando a cabo regulación térmica si no sabemos su actividad previa y no hay forma de contrastar los registros?

Con el fin de responder esta pregunta Heath realizó una serie de trabajos experimentales en campo, recuperó el uso de objetos inanimados como control para contrastar las temperaturas de estos objetos con las registradas en los animales medidos en campo. Utilizó trece latas de aluminio llenas de agua con patrones de color semejante al de los reptiles, que ubicó en los sitios donde registraba la temperatura de los reptiles que estudio. Once de ellas en el sol directo y otras dos a la sombra. Registró las temperaturas de las latas cada hora de las 10:30am a las 18:30pm. Utilizó una sonda termistor hipotérmica de 0.3mm de diámetro⁵⁹. Se podía registrar una temperatura exacta en sólo 0.2 segundos con esta sonda. También se registró la temperatura del aire alrededor de las latas con una de estas sondas.

Los resultados arrojados por estos experimentos señalan que las distribuciones de las temperaturas de las latas en la luz directa del sol eran notablemente similares a las de un reptil heliotérmico. “Una lata o una lagartija alcanzan un equilibrio entre ganancia y pérdida de calor que da como resultado el mantenimiento de una temperatura corporal elevada” (Heath, 1964, p. 785).

Entonces qué pasa con la termorregulación, en qué momento sucede.

Aunque los reptiles pueden regular su temperatura de forma conductual, a menudo alcanzan una temperatura corporal uniforme y permanecen en ese nivel pasivamente sin necesidad de regulación activa. Por lo tanto, las temperaturas

⁵⁹ Es un instrumento que funciona a través de un termopar que pueden medir de forma muy fina la temperatura de un medio.

corporales recolectadas al azar en el campo no necesitan reflejar la regulación. (Heath, 1964, p. 785)

La crítica de Heath se dirigió a la forma en que Bogert y otros herpetólogos se dedicaron a realizar registros de temperaturas corporales en campo. Señaló que los herpetólogos pretendían correlacionar estos registros con las temperaturas de regulación térmica sin tener una imagen más integral de los procesos de termorregulación. Según su consideración, no era adecuado realizar esta correlación porque no se conocía la historia térmica de los reptiles estudiados. Heath apoyaba los registros en campo de temperaturas corporales sin implementar dispositivos donde se mantuviera a los animales experimentales confinados. No obstante, consideró que deberían rescatarse técnicas, como la utilización de objetos control, para contrastar las temperaturas de los reptiles en campo con un objeto control que simulara una falta de regulación térmica.

Si el enfoque de Cowles y Bogert (1944) es adecuado para demostrar la regulación, ¿en qué punto de la simplificación del procedimiento se eliminó la demostración de regulación? Solo dos de sus categorías, la tolerancia voluntaria máxima y la tolerancia voluntaria mínima, contienen un comportamiento que altera la carga de calor sobre el animal. Las otras categorías, compuestas de temperaturas letales y rangos de actividad y relajación, aunque convenientes, no están directamente relacionadas con la regulación activa. La eliminación de las categorías de tolerancias voluntarias máximas y mínimas también eliminó los elementos regulatorios en el método de Cowles y Bogert. (Heath, 1964, p. 785)

Aquí Heath abogó por recuperar nociones que, a su consideración, recobran el proceso de regulación térmica. Invitó a sus colegas a evitar las simplificaciones que se habían estado realizando, retomar las nociones básicas y, quizá, los trabajos que analizaban estas dos temperaturas y no sólo los registros de temperaturas de actividad normal. Para Heath los procesos reguladores sólo se presentan en estos rangos de temperatura. Con este fin alentó la reutilización de objetos o animales control en los estudios sobre termorregulación.

Un estudio de la regulación de la temperatura conductual requiere que se observe el comportamiento regulatorio y se mida inmediatamente la temperatura corporal o

que se use un control para que la temperatura corporal del animal regulador se pueda comparar con la temperatura de un modelo. (Heath, 1964, p. 785)

Consideró que quizá el uso de latas no sea el mejor material o técnica para un objeto control, para modelar a un reptil que no termorregula. Sería mejor utilizar animales atados directamente en el sol. El punto central de revisar esta crítica de Heath es analizar el camino que siguieron las investigaciones sobre la termorregulación.

La investigación y resultados de Cowles sentarían la base para el trabajo de muchos investigadores en las siguientes décadas (**imagen 6**). Herpetólogos como Stebbins, Norris, Brattstrom, Heath, por mencionar sólo algunos, continuarían las investigaciones sobre la termorregulación, apropiándose de las herramientas técnicas, metodológicas y teóricas desarrolladas por Cowles y Bogert, pero también, cuestionándolas, introduciendo cambios y nuevos instrumentos. El trabajo de los investigadores del grupo de UCLA sentaría las bases de las investigaciones sobre la termorregulación hasta nuestros días. El arreglo experimental y el escenario experimental que lo contiene se ampliaron y diversificaron. No podría señalar un único arreglo como el estándar para los estudios sobre la termorregulación. El escenario epistémico, como toda práctica de investigación local y situada se reproducía en distintas prácticas, pero con mucha flexibilidad en el manejo de técnicas, instrumentos, metodologías y marcos conceptuales siempre se ajustaban a las condiciones de la investigación que se pretendía desarrollar, no obstante, podríamos asumir que se generó una tradición de investigación que continuó y se diversificó en las siguientes generaciones de herpetólogos.

termorregulación implicó que las distintas técnicas, procedimientos, dispositivos y conocimiento generados en las prácticas experimentales anteriores ayudaran a caracterizar y definir el nuevo espacio de representación sobre la biología térmica de los reptiles prehistóricos.

Hay dos elementos de análisis en esta reproducción. Por un lado, está la propia capacidad de ser reproductivo que tienen este arreglo experimental en el sentido en que Rheinberger lo define, por el otro, está la particularidad de este arreglo experimental de generarse dentro de un entorno con condiciones controladas hasta cierto punto, pero no dentro de un laboratorio. El arreglo se realizó en un espacio al interior de una estación de campo en donde las condiciones del entorno serían parte de la configuración del fenómeno. Sin embargo, los investigadores identificarían como menos artificiales, o más “naturales” los experimentos que se realizan en espacios abiertos porque las condiciones ambientales (en particular temperatura ambiente) no son controladas por ellos. Los espacios abiertos tienen un valor epistémico mayor porque tienen variables menos controlables en contraste con los espacios cerrados. El valor epistémico estriba en que son más cercanos *a cómo de hecho suceden los fenómenos en los espacios en que se manifiestan*. Esta idea había sido un presupuesto que desde sus trabajos en el desierto de California este grupo de investigadores (en particular Mosauer, Cowles y Bogert) mantenían como un elemento de validez para su práctica investigativa.

Pero si analizamos el trabajo experimental vemos que en el campo o en los espacios abiertos las prácticas experimentales se ejecutaron dentro de un arreglo experimental mediado material y técnicamente por recursos que se recuperaron de prácticas experimentales previas. De acuerdo con Rheinberger (1992b) un sistema experimental para ser reproductivo tiene que estar en un proceso dual de estabilización y desestabilización. El sistema debe llegar a estabilizarse en algún sentido, pero en otro podría desestabilizarse esta dinámica conduce a resultados novedosos. Esto justo pasó con el arreglo experimental sobre la termorregulación.

La termorregulación se estabilizó, el arreglo experimental se reprodujo con variaciones en el trabajo de Bogert. Se eliminó el confinamiento de animales en

sitios específicos para realizar mediciones directas en los animales libres en el campo. Esto modificó la naturaleza experimental del arreglo, el control sobre los animales experimentales fue menor, no obstante, la naturaleza de la investigación no perdió forma. El objetivo central era analizar los mecanismos de regulación térmica de los reptiles en su hábitat, entender cómo se desplazaban en el espacio térmico y como esto podrían dar pistas de otros fenómenos. Se diseñaron instrumentos de medición más finos y sensible. Se adoptaron técnicas de captura de animales y registro de la temperatura que generara información confiable.

La modificación más importante de Bogert a la investigación sobre la termorregulación fue identificar la espacialidad y temporalidad del fenómeno término. La compleja estructura térmica de los nichos donde habitan los animales debía ser considerada en los trabajos sobre la biología térmica. El trabajo de investigación, por lo tanto, se volvió dinámico, el escenario epistémico no sólo era dentro del campo, también se transformó en itinerante, se movía junto con el dinamismo del propio fenómeno que se estudiaba.

La crítica de Heath pretende recuperar elementos del arreglo experimental que se habían dejado de lado. Bogert afirmaba que debía estudiarse de forma integral la espacialidad del fenómeno térmico, puso énfasis en recuperar la información térmica del hábitat para contrastarlo con los animales de estudio. Heath propone además recuperar un objeto inanimado como control para realizar un contraste directo entre un animal que termorregula y otro que no dentro del campo.

La reconfiguración constante del arreglo experimental produciría prácticas distintas en los años siguiente. No obstante, la forma básica en que se estudiaría la termorregulación de los reptiles desde entonces implicaría analizar las condiciones térmicas de los sitios de campo por medio de registros de temperaturas en espacio-tiempo del hábitat, registro de la temperatura de los reptiles que se estudian y la utilización de objeto inanimado como organismo control para contrastar la temperatura con los organismos vivos.

Conclusiones

He presentado un análisis histórico y epistemológico de las prácticas que hicieron posible la emergencia de un fenómeno básico de la ecología de los reptiles, la termorregulación. A lo largo de tres capítulos analicé las circunstancias históricas particulares de las investigaciones sobre la biología térmica de los reptiles que se extendieron desde los primeros años hasta de década de 1940 del siglo XX en los Estados Unidos. Como objeto científico la termorregulación movilizó el trabajo de numerosos investigadores en diferentes momentos y espacios. A principios de ese siglo el problema de la biología térmica formaba parte no sólo del estudio de su fisiología, sino de la inquietud general sobre la relación de los animales con su entorno, generando diversas investigaciones cuyas preguntas incluían ¿por qué los reptiles habitan en ambientes tan calurosos como los desiertos? ¿qué mecanismos les permiten para sobrevivir en estos ambientes?, ¿qué tanto soportan los animales las temperaturas extremas? Y ¿cuál era la diferencia entre la temperatura de los animales y su entorno?

El estudio de la relación entre la temperatura de su entorno y los reptiles generó dos formas de acercamiento al problema, el trabajo en el campo para estudiar la adecuación de estos animales a su entorno, y experimentos en laboratorio para medir el efecto de la temperatura en los animales. En esta tesis centré mi atención en la primera estrategia, ocupándome de un grupo de herpetólogos que desde en la década de 1930 conformaron un campo de investigación sobre la biología térmica de los reptiles realizando experimentos en el campo en algo que he denominado escenario epistémico. Un *escenario epistémico*, como mostré, es la confluencia de un arreglo experimental, el sitio y la práctica científica. Estos tres componentes son básicos para el trabajo de campo, para estudiar los fenómenos que no se pueden recrear en un laboratorio por su complejidad. Cada uno de estos elementos no es trivial:

El sitio juega un papel doble como el lugar donde se realiza el trabajo experimental y como objeto de investigación. En este último papel se manifiesta su

activa participación al dirigir la práctica científica. Al poner restricciones a lo que se puede conocer y hacer, así como sugerir el camino que debe seguirse. En amplias ramas de la investigación biológica, el sitio es quizá el elemento preponderante del escenario, al constituir la dimensión espacial y material en la trama experimental.

El arreglo experimental articula la práctica a través de un conjunto de elementos que en armonía realizan su función: instrumentos; principalmente de medición, dispositivos experimentales diseñados para cada práctica científica, técnicas y métodos, en íntima relación con los animales experimentales y los constreñimientos propios del trabajo con entidades vivas. Es dentro de estos arreglos experimentales que el objeto de investigación u objeto epistémico se confecciona y representa, adquiriendo forma y volumen. También dentro de ese arreglo se co-construye la estructura conceptual a través de la cual el fenómeno es asociado por los científicos a un vocabulario que lo denota: lo describe, pone sus límites y finalmente da cuenta de él. La confección del fenómeno y los conceptos que lo enuncian son un y el mismo momento dentro de la investigación.

El trabajo y experticia del investigador se reproducen y afinan dentro de los sitios de investigación. Se dice, por ello, que el biólogo de campo se “forma” en el campo. Adquiere habilidades y sentidos que no se podrían alcanzar en otro lugar, entiende la dinámica de los sitios naturales porque los habita, por su vivencia de cada particularidad del lugar y de sus elementos. Entrena su ojo y percepción para capturar cosas que alguien sin dicho entrenamiento no podría distinguir. Este conocimiento tan particularmente situado, de los sentidos y la intuición, se convierte en herramienta básica para la investigación. Los arreglos experimentales son diseñados y puestos en acción a través de esta experticia única y fundamental para el trabajo en el campo. Sin el entrenamiento y conocimiento particular que surge de estar ahí en los sitios de investigación, los trabajos experimentales en el campo serían infructuosos.

Estos tres elementos entran en escena y crean un entorno de posibilidades que se van vislumbrando en la marcha. En la representación magistral de la obra

científica, cada uno de los actores contribuye en la potencial emergencia de los fenómenos que son de interés, en este caso la termorregulación.

Considerando esta compleja estructura es importante resaltar que la termorregulación es un fenómeno *construido*, es decir, que se manifiesta sólo y exclusivamente dentro del arreglo experimental que le da forma y estructura. Hacking (1983) denomina a esto creación de fenómenos (y efectos), y los caracteriza como “regularidades notables y discernibles” que no pueden existir fuera de ciertos contextos tecnológicos. Si bien se observa en el campo, es sólo *en y dentro* de las condiciones materiales, técnicas y prácticas del arreglo experimental que podemos definir a la termorregulación como un fenómeno de interés científico. Esto no implica que, en la vida diaria de los animales, sin intervención humana, el fenómeno no ocurra. Más bien, lo que afirmo junto con Hacking es que sólo *podemos conocerlo dentro de este escenario epistémico*. Fuera de él nuestra posibilidad de conocimiento es pobre. No obstante, lo que podemos conocer del fenómeno dentro del arreglo experimental nos ayuda a comprender otro tipo de fenómenos que están íntimamente relacionados con la termorregulación como son la depredación, el forrajeo, la reproducción y distribución, entre otros. La termorregulación es un fenómeno material y técnicamente construido dentro de una estructura experimental, en un sitio de investigación natural, pero al mismo tiempo, modificado o seleccionado para la investigación. No obstante, también es un objeto científico que nos ayuda a explicar otros fenómenos con los que está relacionado, se constituye como un *hecho real* para explicar otros fenómenos. El escenario epistémico nos permite conocer elementos del mundo que de otra forma no podríamos entender. Esto no significa, sin embargo, que yo argumente a favor de una visión constructivista sin sustento en los fenómenos y procesos del mundo material. En un mundo donde cualquier practicante pudiera afirmar (construir artificialmente) cualquier fenómeno no se requeriría tanto esfuerzo material, técnico y humano. Pero el mundo constriñe y define el camino que puede seguir la investigación, en esas restricciones se manifiesta la naturaleza de las cosas que no conocemos. Que sólo podamos conocer el mundo a través de intrincados

escenarios epistémicos significa que nuestra posibilidad de conocimiento es limitada por la naturaleza propia de los fenómenos del mundo.

Una muestra de las restricciones o constricciones del mundo natural lo constituyen los trabajos similares en esa época de muchos investigadores. Bogert (1949b), por ejemplo, señaló que desde los años 1920's los ecólogos sabían que la temperatura de los poiquiloterms varía directamente con la del ambiente. Por ejemplo, en 1926 Chapman y colaboradores realizaron una investigación experimental para conocer el efecto de las condiciones del ambiente en los insectos que habitan dunas de arena en Anoka, Minnesota:

[Estas dunas] tienen las condiciones físicas características extremas y variables de cualquier duna de arena, además de una variada fauna... Se realizó un estudio con el objeto de medir las condiciones físicas [de las dunas] y su distribución en el espacio y tiempo, su efecto sobre los insectos y la distribución de la actividad de los mismos en relación con las condiciones ambientales. Observaciones de campo y experimentos fueron combinados con el trabajo en el laboratorio para poder contrastar las observaciones con los experimentos, y las condiciones naturales sin control con las condiciones controladas artificialmente. (Chapman, Mickel, Parker, Miller, y Kelly, 1926, p. 416)

Como el termitero de Cowles, la duna de arena adquirió el estatus de objeto epistémico, pero no sólo el montículo de arena, el sitio de investigación conformado por la duna, la fauna y las condiciones ambientales se constituyeron como el objeto epistémico. Mediado por una estructura experimental con instrumentos, técnicas, mediciones y observaciones. Así pues, tanto Cowles como Bogert emplearon un objeto inanimado como control para contrastar la temperatura del animal vivo con uno inerte. Para Champan el objeto control es la duna artificial en el laboratorio que serviría para contrastar las observaciones en campo, y su trabajo ilustra otro arreglo experimental que forma parte de este nuevo estilo de trabajo donde el sitio se constituye como objeto de investigación.

En resumen, el trabajo experimental en el campo sobre la biología térmica de los reptiles fue parte de un movimiento más amplio en la biología de campo en el cual

los biólogos no sólo observaban y registraban, además desarrollaron experimentos en el campo, lo que Kohler (2002a) llama “prácticas de lugar”. Este tipo de investigación generó un nuevo estilo de trabajo que se nutría de la experiencia de los investigadores que conocían las particularidades de los sitios de campo, el sitio en cuanto lugar y objeto de investigación y el ensamblaje experimental con sus instrumentos, prácticas, métodos y técnicas. Frente a este movimiento, Kohler (2002a) ha interpretado la forma en que los biólogos de campo intentaron combinar el trabajo de laboratorio y el trabajo de campo en las primeras décadas del siglo XX. Considera que, en gran parte, fue una historia de frustración y decepción.

Sin embargo, en las reconstrucciones de Kohler hay dos puntos importantes que me interesa discutir. Los casos que él analiza parecen mostrar el desastre que resultó pretender realizar experimentos en el campo. Describe cómo varios grupos de investigación, entre ellos el de Charles Davenport, intentaron realizar experimentos de evolución y selección natural⁶⁰. Se pretendía que los experimentos arrojaran evidencias significativas sobre la naturaleza de la variación y el efecto de la selección natural y la especiación. Sin embargo, tales mecanismos y procesos son muy complejos, y estas investigaciones arrojaron pocas evidencias fuertes de evolución.

La reconstrucción de Kohler reconoce que hay prácticas de investigación de los biólogos de inicios del siglo XX en la zona de contacto entre el campo y el laboratorio:

Los primeros habitantes de la frontera [campo-laboratorio] solían aplicar los métodos experimentales para poblaciones naturales como si estuvieran tratando

⁶⁰ Kohler (2002a) analiza distintas investigaciones sobre experimentos relacionados con evolución. Forzar el ritmo de las variaciones exponiendo a los animales a sustancias químicas y condiciones extremas (frío, humedad, calor, etc.) para ver si se producían cambios heredables observables. Analiza los trabajos de los estudiantes de Charles Davenport: Francis Sumner con el ratón patas blancas *Peromyscus*, entre 1913 a 1930 y William Tower sobre las variaciones de los escarabajos del género *Leptinotarsa* entre 1903 y 1918. En ambos casos los investigadores pretendieron realizar experimentos en campo que dieran evidencia sobre variaciones, transformación de una especie en otra, mutaciones, etc. Observaron que el trabajo en el laboratorio no parecía darles evidencia de estos fenómenos y consideraron realizar estudios en campo para ver lo que sucedía en el hábitat de los organismos.

con animales experimentales individuales, y a los lugares naturales como si fueran instalaciones de laboratorio. (Kohler, 2002a, p. 137)

Sin embargo, en su interpretación estos intentos resultaron frustrantes ya que “...el experimento, a diferencia de contar y medir, es *una actividad diseñada específicamente para entornos de laboratorio*. Su poder sólo se manifiesta en entornos controlados y simplificados, es difícil (aunque no imposible) *replicar tales lugares en la naturaleza*” (Kohler, 2002a, p. 135).

La conclusión de Kohler es, sin embargo, apresurada e injustificada. A lo largo de esta tesis he mostrado cómo el trabajo experimental en campo es una práctica de investigación, con su propia forma y estructura, que caractericé como la confluencia de tres elementos: sitio, investigador y arreglo experimental. Estos tres elementos configuran una práctica diferente a la investigación del laboratorio. Por supuesto que tienen elementos en común, son formas de investigación cercanas que frecuentemente comparten instrumentos, pero no por ello idénticas. Comparto con Kohler la idea de que en los sitios de campo no pueden controlarse las variables tan finamente como en un laboratorio, y que no se puede pretender realizar un experimento en el campo de la forma en que se realiza en el laboratorio. Sin embargo, disiento del fondo de su análisis, según el cual es difícil, pero no imposible, *replicar lugares como el laboratorio en el campo*. Como mostré en los tres capítulos anteriores, *las prácticas experimentales en el campo no pretenden replicar a los laboratorios*. El supuesto inadvertido que parece asumir Kohler es que la investigación experimental es, en esencia, una actividad privativa de las ciencias de laboratorio, como las llama Hacking (1992).

Las investigaciones experimentales de campo, sin embargo, cumplen otros objetivos que son específicos a un buen número de las disciplinas y campos de investigación de la biología, por ejemplo, permitir que los fenómenos se manifiesten lo más cercano a como son en el medio natural, sin intervención de los arreglos artificiales de los laboratorios. El control fino de las variables que se da en los laboratorios, o la simplificación de los fenómenos, o tomar sólo una parte de ellos para controlarlos y estudiarlos no constituyen estándares epistémicos en los

experimentos en el campo ni de las disciplinas donde se realizan. Controlar lo menos posible las variables (sin perder el control) y no simplificar el fenómeno, sino dejarlo con toda su complejidad sin estudiar sólo una fracción, son aspiraciones de la investigación en el campo. Por lo tanto, para los ecólogos y ecofisiólogos, no se trata de replicar las formas y valores de los laboratorios en el campo, sino de recuperar e innovar elementos básicos de la práctica científica, como instrumentos, métodos, y técnicas, y adaptarlos (a veces construir nuevos) para utilizarlos en prácticas de investigación propias de la historia natural, que generan un estilo de trabajo propio.

Kohler sostiene que en esta zona de interacción entre campo y laboratorio los primeros buscaban alcanzar los estándares de los últimos para lograr credibilidad y valor científico para su trabajo. Puede ser que, en algunas prácticas de investigación híbridas, como las que explora en su libro, haya sido así. Pero hay otras prácticas de investigación, como la biología térmica descrita en esta tesis, que no cumplen este perfil. Los herpetólogos no aspiraban a desarrollar su trabajo de investigación bajo estándares más universales. Su objetivo era más cercano al objeto de investigación, permitirle manifestarse y capturarlo ahí donde sucede, por ello el trabajo sobre la biología térmica en reptiles se desarrolló preferentemente en el campo. El mismo Kohler (2002a, p. 137) señala que “los naturalistas se trasladaron a los laboratorios sólo para descubrir que los experimentos de laboratorio no fueron muy relevantes para los problemas del campo”. Con ello reconoce en su análisis y a través de los casos históricos que la naturaleza de distintos problemas requería un trabajo en los sitios naturales.

Ahora bien, los investigadores de mi historia no sólo trabajaron en el campo. En mi tesis muestro cómo se movían entre los dos espacios. Bogert construyó una caja de gradientes en el AMNH y la utilizó para estudiar especies poco abundantes o que eran de lugares lejanos, por cuestiones pragmáticas recolectaba en campo y en la caja de gradientes, con condiciones controladas, realizaba estudios sobre termorregulación. Cowles, Mosauer y Weese también realizaron investigaciones híbridas. Para estos biólogos no fue un problema moverse entre el campo y el

laboratorio, si su objeto de estudio lo necesitaba, lo hacían. Lo que afirmo es que el campo como espacio de trabajo experimental tiene sus formas propias que no pretendían emular al laboratorio y que hay fenómenos que por su naturaleza no se pueden recrear en los laboratorios, se tienen que estudiar en los sitios donde ocurren. Reconocer esta pluralidad de fines epistémicos contradice los supuestos de la interpretación de Kohler. Esta interpretación, que sitúa a las prácticas de laboratorio como superiores e indicativas de una biología moderna, sin embargo, no es solitaria; por el contrario, tiene una larga trayectoria en la historia de la biología. Como señalé en el primer capítulo, esta narrativa nos remite a una visión clásica, pero altamente polémica, de la historia de la biología de finales del siglo XIX, defendida notoriamente por Garland Allen, quien creía ver en las ciencias biológicas de ese periodo el paso de una empresa naturalista, a una experimentalista, generando no sólo una dicotomía entre la historia natural y la biología experimental, sino una supremacía -o anulación eventual- de la segunda sobre la primera. Como han mostrado numerosos historiadores, la profecía de Allen no sólo no se cumplió, sino que las ciencias del campo gozan de una enorme salud y a lo largo del siglo veinte aportaron avances vitales en el conocimiento de los ecosistemas, de los intercambios de energía y materia, y de los contaminantes, todos ellos gracias a la proliferación del estilo experimental en el campo (Bocking, 1995; Carson, Darling, y Darling, 1962).

Un segundo aspecto que quiero discutir en estas conclusiones tiene que ver con el “destino”, o las trayectorias de los fenómenos construidos en un ámbito local. La investigación sobre la biología térmica de los reptiles cristalizó en el establecimiento de la subdisciplina de la termorregulación. Este objeto epistémico se atrincheró después, mediante las prácticas en diversos equipos de investigación, en otras investigaciones, cuyo objeto era explicar otros o nuevos fenómenos. Por ello en el capítulo tres analicé cómo la termorregulación se utilizó para apoyar una hipótesis sobre la extinción de los dinosaurios. El arreglo experimental se reprodujo nuevamente, pero ahora con otros animales experimentales, los cocodrilos. El arreglo experimental se reprodujo generando otras prácticas de investigación,

adecuando sus técnicas, procedimientos y métodos para trabajar con animales de mayor talla y peligrosidad.

Si bien la hipótesis sobre la extinción de los dinosaurios por sobrecalentamiento no se sostuvo, y actualmente contamos con explicaciones más aceptadas, la termorregulación se constituyó como un fenómeno central de la ecología de este grupo. Constituyó el punto de partida de un programa de investigación sobre la biología térmica de los reptiles que continuó después del trabajo de Cowles y Bogert. La termorregulación se relacionó con otros procesos biológicos y ecológicos como la reproducción, distribución, forrajeo, y depredación entre otros. El arreglo experimental se modificó a lo largo del tiempo, pero los elementos básicos se mantuvieron: realizar mediciones en campo de las condiciones medioambientales, utilizar objetos inanimados como control, registrar con precisión la temperatura de los animales en el sitio donde habitan. La terminología básica, que incluye términos y conceptos como la temperatura preferente u óptima, temperatura de activación, ectotermo y endotermo, así como la estructura conceptual que da cuenta del fenómeno, se mantuvo, modificó y adecuó según el arreglo experimental y las investigaciones avanzaron. Quizás esas posteriores aplicaciones y modificaciones son las que mejor atestiguan el hecho de que si bien la termorregulación es un fenómeno construido y estabilizado en un arreglo experimental, no por ello carece de reproducibilidad y, en este sentido, siguiendo a Hacking (1983), de “realidad”. Al ser un fenómeno manipulable, la termorregulación se convirtió en una herramienta más para explorar nuevas hipótesis acerca de la ecofisiología de los reptiles, vivos o extintos.

Finalmente, mi tesis ha buscado ser una contribución a los trabajos históricos y epistemológicos que analizan la naturaleza situada de prácticas científicas que han sido poco exploradas, particularmente en la biología. Plantea una propuesta de análisis para identificar la naturaleza de investigación que se realiza en espacios distintos al laboratorio. Reconstruyendo con detalle la trayectoria de los experimentos de los herpetólogos californianos, así como la fascinación y el convencimiento de Cowles y sus colegas de que el desierto de California era el

mejor lugar para estudiar el efecto de la temperatura ambiental en los reptiles, he mostrado la relevancia de este tipo de análisis para la comprensión detallada de las prácticas científicas en la biología. Al ocuparnos seriamente de los sitios de investigación, no sólo identificamos el valor de la dimensión espacial en la investigación científica, sino más allá: estos sitios se nos revelan como parte de la estructura material que constituye a las prácticas experimentales en un gran número de campos de la biología.

La naturaleza de cada fenómeno de investigación requiere el desarrollo de formas distintas de abordarlos. Esto ha llevado a los científicos a generar distintos estilos de investigación, formas de conocer la compleja naturaleza de fenómenos que están más allá de nuestras prácticas clásicas en el laboratorio.

Fuentes bibliográficas

- Adler, K. (Ed.). (2007). *En Contributions to the History of Herpetology, Volume 2*. (1er ed.). Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Agassiz, L., y Gould, A. (1851). *Principles of zoology: Touching the structure, development, distribution and natural arrangement of the races of animals, living and extinct, Part I*. (Sheldon, B). New York.
- Allee, W. C. (1912). An experimental analysis of the relation between physiological states and rheotaxis in Isopoda. *Journal of Experimental Zoology*, 13, 270–344 p.
- Allen, D. E. (1976). *The Naturalist in Britain: A Social History*. Princeton University Press.
- Allen, G. E. (1978). *Life Science in the Twentieth Century*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Allen, G. E. (1979). *Thomas Hunt Morgan: The Man and His Science*. (1er ed.). Princeton: Princeton University Press.
- Allen, G. E. (1981). Morphology and Twentieth-Century Biology: A Response. *Journal of the History of Biology*, 14(1), 159–176 p.
- America, B. of the E. S. of. (1955). Victor E . Shelford , an Appreciation. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 36(4), 116–118.
- American Museum of Natural History. (2018). Herpetology. Division of Vertebrate Zoology. Retrieved from <http://research.amnh.org/vz/herpetology/about-department>
- Avery, R. A. (1979). *Lizard – A study in thermoregulation*. (p. 56 p.). Baltimore: University Park Press.
- Baldwin, F. M. (1925a). Body temperature changes in turtles and their physiological interpretations (*Chrysemys marginata belli*, C. Gray and *Chelydra serpentina*,

- Lin.). *American Journal of Physiology Jour. Physiol*, 72, 210–211 p.
- Baldwin, F. M. (1925b). The Relation of Body to Environmental Temperatures in Turtles, *Chrysemys marginata* Belli (Gray) and *Chelydra serpentina* (Linn.). *Biological Bulletin*, 48(6), 432–445 p.
- Belcher, D. (1990). Reptiles: Collecting recollections. *Kudu Review (New Mexico Zoological Society)*, 21(6), 16–19.
- Benedict, F. G. (1932). *The physiology of large reptiles, with special reference to the heat production of snakes, tortoises, lizards and alligators*. Washington, D.C.: Carnegie Institution, Washington, D.C. Recuperado de <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015008238696;view=1up;seq=22>
- Benson, K. R., Maienschein, J., y Rainger, R. (Eds.). (1991). *The Expansion of American Biology*. Rutgers University Press.
- Billick, I., y Price, M. V. (Eds.). (2011). *The Ecology of Place. Contributions of Place-Based Research to Ecological Understanding*. University of Chicago Press.
- Blum, H. F., y Spealman, C. R. (1933). Note on the killing of rattlesnakes by “sunlight.” *Copeia*, 1933(3), p.151. <https://doi.org/10.2307/1436246>
- Bocking, S. (1995). Ecosystems, Ecologists, and the Atom: Environmental research at Oak Ridge National Laboratory. *Journal of the History of Biology*, 28(1), 1–47.
- Bogert, C. M. (1939). Reptiles under the sun. *Natural History. The Magazine of the American Museum of Natural History*, 26–37. Recuperado de <http://digitallibrary.amnh.org/handle/2246/6363>
- Bogert, C. M. (1949a). Thermoregulation and Ectothermic Body Temperatures in Mexican Lizards of the Genus *Sceloporus*. *Anales Del Instituto de Biología, México*, (20), 415–426 p.
- Bogert, C. M. (1949b). Thermoregulation in Reptiles, A Factor in Evolution. *Evolution*, 3(3), 195–211.

- Bogert, C. M. (1959). How Reptiles Regulate their Body Temperature. *Scientific American*, 200(4), 105–120 p. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0459-105>
- Bogert, C. M., y Martín del Campo, R. (1956). The Gila Monster and Its Allies. The Relationship, Habits, and Behaviour of the Lizards of the Family Helodermatidae. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 109(1), 7–238.
- Bridgman, C. A. (1944). Little Chief Comes Home. *Frontiers. A Magazine of Natural History*, 8(5), 130–152 p.
- Buxton, P. A. (1923). *Animal life in deserts: A study of the fauna in relation to environment*. Edward Arnold and Co., London.
- Camp, C. L. (1916). Notes on the local distribution and habits of the amphibians and reptiles of south-eastern California in the vicinity of the Turtle Mountains. En W. E. Ritter & C. A. Kofoid (Eds.), *University of California Publications in Zoology* (p. 503–544 p.). University of California Press, Berkeley.
- Carson, R., Darling, L., y Darling, L. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston.
- Chang, H. (2004). *Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress*. (P. Humphreys, Ed.), *Oxford Studies in Philosophy of Science*. New York: Oxford University Press, Inc. <https://doi.org/10.1093/0195171276.001.0001>
- Chang, H. (2011). The Trouble with Case-Studies, and the Active Philosophical Function of History. En S. Mauskopf & T. Schmaltz (Eds.), *Integrating History and Philosophy of Science* (Vol. 263, pp. 109–124). University of Cambridge, Cambridge, UK. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1745-9_8
- Chapman, R. N. (1931). *Animal Ecology. With especial reference to insects*. (1er ed.). New York y London: McGraw-Hill Co. <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Chapman, R. N., Mickel, C. E., Parker, J. R., Miller, G. E., y Kelly, E. G. (1926). Studies in the Ecology of Sand Dune Insects. *Ecology*, 7(4), 416–426.
- Recuperado de

d:%5CMy%5CnData%5C008%5CnScience%5CnPDFs%5CC%5CChapman%5Cn1926%5Cn-%5CnStudies%5Cnin%5Cnthe%5Cnecology%5Cnof%5Cnsand%5Cndune%5Cninsects.pdf

Churchill, F. B. (1981). In search of the new biology: an epilogue. *Journal of the History of Biology*, 14(1), 177–91. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11610830>

Clarke, A. E., y Fujimura, J. H. (1992). *The Right Tools for the Job: At Work in Twentieth-Century Life Sciences*. Princeton: Princeton Univ. Press.

Colbert, E. H., Cowles, R. B., y Bogert, C. M. (1946). Temperature tolerance in the American alligator and their bearing on the habits, evolution, and extinction of the dinosaurs. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 86(7), 327–374 p.

Colbert, E. H., Cowles, R. B., y Bogert, C. M. (1947). Rates of Temperature Increase in the Dinosaurs. *Copeia*, 1947(2), 141–142 p.

Cowles, R. B. (1926). The Nesting Habits of the Crowned Hornbill, *Lophoceros melanoleucus* L. *Journal of Natural History*, 6(1), 20–24 p.

Cowles, R. B. (1928). The Life History of *Varanus Niloticus*. *Science*, 67(1734), 317–318 p.

Cowles, R. B. (1930). The life history of *Varanus niloticus* (Linnaeus), as observed in Natal, South Africa. *Journal of Entomology and Zoology*, 22, 1–31 p.

Cowles, R. B. (1936a). Casual notes on the poikilothermous vertebrates of the Umzumbe Valley, Natal, South Africa. *Copeia*, 1936(1), 4–8 p. <https://doi.org/10.2307/1436365>

Cowles, R. B. (1936b). Notes on the Mammalian Fauna of Umzumbe Valley, Natal, South Africa. *Journal of Mammalogy*, 17(2), 121–130 p. <https://doi.org/10.1644/859.1.Key>

- Cowles, R. B. (1937). Avian Habitats in the Thorn-Bush Areas of Natal. *The Auk*, 54(1), 51–61 p.
- Cowles, R. B. (1939). Possible Implications of Reptilian Thermal Tolerance. *Science, New Series*, 90(2342), 465–466 p.
- Cowles, R. B. (1940). Additional Implications of Reptilian Sensitivity to High Temperatures. *The American Naturalist*, 74(755), 542–561 p.
<https://doi.org/10.1086/593002>
- Cowles, R. B. (1959). *Zulu journal*. Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- Cowles, R. B. (2008). *Raymond B. Cowles papers, MS-02*. Cheadle Center for Biodiversity and Ecological Restoration. University of California, Santa Barbara.
- Cowles, R. B., y Bakker, E. S. (1977). *Desert journal. A naturalist reflects on arid California*. Berkeley and Los Angeles, California: University of California Press.
- Cowles, R. B., y Bogert, C. M. (1944). A Preliminary Study of the Thermal Requirements of Desert Reptiles. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 83(5), 261–296 p.
- Daston, L. (2000). *Biographies of scientific objects* (2a ed.). University of Chicago Press.
- De Bont, R. (2015). *Stations in the field. A history of place-based animal research, 1870-1930*. University of Chicago Press.
- Finnegan, D. A. (2008). The Spatial Turn: Geographical Approaches in the History of Science. *Journal of the History of Biology*, 41(2), 369–388 p.
<https://doi.org/10.1007/s>
- Finnegan, D. A. (2015). *Science, Geography of. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition* (Second Edi, Vol. 21). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.72131-3>
- Fleck, L. (1986). *La génesis y desarrollo de un hecho científico*. Madrid: Alianza

Universidad.

Forgan, S. (1994). The architecture of display: Museums, universities and objects in nineteenth-century Britain. *History of Science*, 32(2), 139–162 p. <https://doi.org/10.1177/007327539403200202>

Gadow, H. F. (1909). *Amphibia and reptiles*. Macmillan and co, London.

Galison, P. (1996). *Computer Simulations and the Trading Zone. The Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*.

Gans, C. (1993). Charles M . Bogert, 4 June 1908-10 April 1992. *Copeia*, 1993(1), 264–266.

Gavroglu, K. (1999). *The Sciences at the European Periphery during the Enlightenment: Transmission versus Appropriation. Science and Power: the Historical Foundations of Research Policies in Europe*. University of Athens, Athens, Greece: Kluwer Academic Publishers.

Gieryn, T. F. (2002). Three Truth-Spots. *Journal of History of the Behavioral Sciences*, 38(2), 113–132 p.

Gieryn, T. F. (2006). City as truth-spot: Laboratories and field-sites in Urban Studies. *Social Studies of Science*, 36(1), 5–38 p. <https://doi.org/10.1177/0306312705054526>

Gregory, W. K. (1941). Gladwyn Kingsley Noble: (September 20, 1894--December 9, 1940). *Science, New Series*, 93(2401), 10–11.

Grene, M. (1974). *Knower and the Known*. University of California Press.

Grigg, G., y Kirshner, D. (2015). *Biology and Evolution of Crocodylians*. Ithaca y London: Comstock Publishing Associates, Cornell University Press.

Grinnell, J. (1908). The biota of the San Bernardino Mountains. In W. E. Ritter & C. A. Kofoid (Eds.), *University of California Publications in Zoology* (Vol. 5, p. 1–170 p.). THE UNIVERSITY PRESS, BERKELEY.

Grodwohl, J.-B., Porto, F., y El-Hani, C. N. (2018). The instability of field

- experiments: building an experimental research tradition on the rocky seashores (1950–1985). *History and Philosophy of the Life Sciences*, 40(3), 1–27 p. <https://doi.org/10.1007/s40656-018-0209-y>
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge University Press.
- Hacking, I. (1992). 'Style' for Historians and Philosophers. *Studies in History and Philosophy of Science*, 23(1), 1–20 p.
- Hamilton, C. C. . (1917). The Behavior of Some Soil Insects in Gradients of Evaporating Power of Air , Carbon Dioxide and Ammonia. *Biological Bulletin*, 32(3), 159–182.
- Hamilton, W. R. (1971). Albert Hazen Wright, August 15, 1879-July 4, 1970. *Copeia*, 1971(2), 381–382.
- Heath, J. E. (1964). Reptilian Thermoregulation: Evaluation of Field Studies. *Science*, 146, 784–785 p.
- Hesse, R. (1937). *Ecological Animal Geography*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Hoff, C. C., Sharp, A. J., y Moore, W. G. (1956). Resolution of Respect : Asa Orrin Weese , 1885-1955. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 37(2), 53 p.
- Kendeigh, S. C. (1968). Victor Ernest Shelford , Eminent Ecologist , 1968. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 49(3), 97–100.
- Kingsland, S. E. (2009). Frits Went's Atomic Age Greenhouse: The Changing Labscape on the Lab-Field Border. *Journal of the History of Biology*, 42(2), 289–324. <https://doi.org/10.1007/sl 0739-009-9 179>
- Klauber, L. M. (1939). Studies of reptile life in the arid southwest. *Bull. Zool. Soc. San Diego*, 14, 1–100 p. Recuperado de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/225397#page/7/mode/1up>
- Kohler, R. E. (2002a). *Lanscapes and labscales: Exploring the Lab-Field Border in*

- biology*. University of Chicago Press, Chicago and London.
- Kohler, R. E. (2002b). Place and practice in field biology. *History of Science*, 40(2), 189–210 p. <https://doi.org/doi.org/10.1177/007327530204000204>
- Kohler, R. E. (2012). Practice and Place in Twentieth-Century Field Biology: A Comment. *Journal of the History of Biology*, 45(4), 579–586 p. <https://doi.org/10.1007/s10739-011-9300-x>
- Kuklick, H., y Kohler, R. E. (1996). Introduction. Science in the Field. *Osiris*, 11, 1–14 p.
- Lawrence, D. H. (1929). *Pansies, Poems*. Fredonia Books.
- Livingstone, D. N. (1995). The Spaces of Knowledge: Contributions Towards a Historical Geography of Science. *Environment and Planning D-Society & Space*, 13(1), 5–34 p. <https://doi.org/10.1068/d130005>
- Livingstone, D. N. (2003). *Putting science in its place. Geographies of scientific knowledge*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Martín, C., y Pina, J. (2014). Aparatos e instrumentos científicos del CSIC. Psicrómetro de Assman. *Museo Virtual de La Ciencia Del CSIC. Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC)*, (2), 15–20. Recuperado de http://museovirtual.csic.es/csic75/pdf/2014_Martin_Pina_Psicrometro_en_Naturalmente_2.pdf
- Mosauer, W. (1935). The Reptiles of a Sand Dune Area and Its Surroundings in the Colorado Desert , California : A Study in Habitat Preference. *Ecology*, 16(1), 13–27.
- Mosauer, W. (1936). The Toleration of Solar Heat in Desert Reptiles Author. *Ecology*, 17(1), 56–66.
- Mosauer, W., y Lazier, E. L. (1933). Death from Insolation in Desert Snakes. *Copeia*, 1933(3), 149.
- Munns, D. P. D. (2017). *Engineering the Environment: Phytotrons and the Quest for*

- Climate Control in the Cold War* (1er ed.). University of Pittsburgh Press.
- Myers, C. W., y Zweifel, R. G. (1993). Biographical Sketch and Bibliography of Charles Mitchill Bogert, 1908-1992. *Herpetologica*, 49(1), 133–146.
- Necker, W. L. (1940). Gladwyn Kingsley Noble, 1894-1940: A Herpetological Bibliography. *Herpetologica*, 2(2), 47–51 + 53–55 p.
- Nolan, R. (Ed.). (2009). *No Place for a Puritan: The Literature of Californias Deserts*. California: A California Legacy book.
- Ophir, A., y Shapin, S. (1991). The Place of Knowledge A Methodological Survey. *Science in Context*, 4(1), 3–22. <https://doi.org/10.1017/S0269889700000132>
- Outram, D. (1996). New spaces in natural history. En N. Jardine, J. A. Secord, & E. C. Spary (Eds.), *Cultures of natural history* (p. 249–265 p.). Cambridge y New York: Cambridge University Press.
- Pearse, A. S. (1931). *Animal ecology* (2a ed.). New York: McGraw-Hill Co.
- Pearse, A. S., y Hall, F. G. (1928). *Homoiothermism: The Origins of Warm-Blooded Vertebrates*. London: NEW YORK JOHN WILEY & SONS, Inc.
- Pianka, E. R. (1994). *The Lizard Man Speaks* (1er ed.). Univ of Texas Pr.
- Rainger, R., Benson, K. R., y Maienschein, J. (Eds.). (1988). *The American Development of Biology*. University of Pennsylvania Press.
- Reese, A. M. (1923). Some Reactions of Alligator Mississippiensis. *Journal of Comparative Psychology*, 3(1), 51–59. <https://doi.org/10.1037/h0075964>
- Relph, E. (1976). *Place and Placelessness*. London: Pion.
- Rheinberger, H. J. (1992a). Experiment, difference, and writing: I. Tracing protein synthesis. *Studies in History and Philosophy of Science*, 23(2), 305–331 p. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(92\)90037-7](https://doi.org/10.1016/0039-3681(92)90037-7)
- Rheinberger, H. J. (1992b). Experiment, difference, and writing: II. The laboratory production of transfer RNA. *Studies in History and Philosophy of Science*, 23(3),

389–422 p. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(92\)90002-N](https://doi.org/10.1016/0039-3681(92)90002-N)

Rheinberger, H. J. (1997a). Experimental Complexity in Biology: Some Epistemological and Historical Remarks. *Philosophy of Science*, 64(S1), S245. <https://doi.org/10.1086/392604>

Rheinberger, H. J. (1997b). *Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube*. (1er ed.). Stanford University Press.

Rheinberger, H. J. (2010). *On historicizing epistemology: an essay. Cultural memory in the present*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Richards, A. (1956). A. O. Weese, Ecologist. *Science, New Series*, 124(3220), 477–478. Recuperado de

<http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>

Robertson, T. B. (1906). Note on the Influence of Temperature upon the Rate of the Heart-Beat in a Crustacean (Ceriodaphnia). *Biological Bulletin*, 10(5), 242–248 p. <https://doi.org/10.2307/1535542>

Rogers, C. G. (1911). Studies upon the temperature coefficient of the rate of heart beat in certain living animals. *American Journal of Physiology*, 28(2), 81–93 p.

Rogers, C. G., y Lewis, E. M. (1914). The Relation of the Body Temperature of the Earthworm to That of Its Environment. *Biological Bulletin*, 27(5), 262–268 p.

Rogers, C. G., y Lewis, E. M. (1916). The Relation of the Body Temperature of Certain Cold-Blooded Animals to That of Their Environment. *Biological Bulletin*, 31(1), 1–15 p.

Secord, A. (1994a). *Corresponding Interests: Artisans and Gentlemen in Nineteenth-Century Natural History* Author (s): Anne Secord Published by: Cambridge University Press on behalf of The British Society for the History of Science Stable URL : <http://www.jstor.org/stable>. *The British Society for the History of Science*, 27(4), 383–408 p.

Secord, A. (1994b). Science in the Pub: Artisan Botanists in Early Nineteenth-

- Century Lancashire. *History of Science*, 32(3), 269–315 p.
<https://doi.org/doi.org/10.1177/007327539403200302>
- Shapin, S. (1988). The House of Experiment in Seventeenth-Century England. *Isis*, 79(3), 373–404 p. <https://doi.org/10.1086/354773>
- Shelford, V. E. (1913). The significance of evaporation in animal geography. *Annals of the Association of American Geographers*, 3(1), 29–42.
<https://doi.org/10.1080/00045601309356994>
- Shelford, V. E. (1914). Modification of the behavior of land animals by contact with air of high evaporating power. *Jour. An. Behav*, 4(1), 31–49.
- Shelford, V. E., y Allee, W. C. (1913). The reactions of fishes to gradients of dissolved atmospheric gases. *Journal of Experimental Zoology*, 14(2), 207–266.
<https://doi.org/10.1002/jez.1400140203>
- Shelford, V. E., y Deere, E. O. (1913). The Reactions of Certain Animals to Gradients of Evaporating Power of Air. A Study in Experimental Ecology. *Biological Bulletin*, 25(2), 79–120.
- Smith, H. M., y Smith, R. B. . (1970). Foundations of Early Modern Mexican Herpetology : An Indexed Bibliography of the Herpetological Works of Walter Mosauer. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 73(3), 302–318 p.
- Snyder, C. D. (1905). On the influence of temperature upon cardiac contraction and its relation to influence of temperature upon chemical reaction velocity. *University of California Publications, Physiology*, 2(15), 125–146 p.
- Sutherland, A. (1897). The temperature of reptiles, monotremes and marsupials. *Nature*, 57(1464), 67–69 p.
- Swift, L. W. (1933). Death of a rattlesnake from continued exposure to direct sunlight. *Copeia*, 1933(3), 150. <https://doi.org/10.2307/1436245>
- Thomas, B. (1932). *Bertram Thomas: Arabia felix Across the empty quarter of Arabia*. London: JONATHAN CAPE, THIRTY BEDFORD SQUARE.

Recuperado de

http://museovirtual.csic.es/csic75/pdf/2014_Martin_Pina_Psicrometro_en_NaturalMente_2.pdf

Turner, J. S. (1984). Raymond B. Cowles and the Biology of Temperature in Reptiles. *Journal of Herpetology*, 18(4), 421–436 p.
<https://doi.org/10.2307/1564105>

Vetter, J. (2012). Labs in the Field? Rocky Mountain Biological Stations in the Early Twentieth Century. *Journal of the History of Biology*, 45(4), 587–611 p.
<https://doi.org/10.1007/s10739-011-9302-8>

Weese, A. O. (1917). An Experimental Study of the Reactions of the Horned Lizard, *Phrynosoma Modestum* Gir., A Reptile of the Semi-Desert. *Biological Bulletin*, 32(2), 98–116.

Weese, A. O. (1919). Environmental Reactions of *Phrynosoma*. *The American Naturalist*, 53(624), 33–54.

Zoology, M. of V. (2015a). Joseph Grinnell (1877-1939). Retrieved from <http://mvz.berkeley.edu/Grinnell.html>

Zoology, M. of V. (2015b). The “Grinnell” Method. Retrieved from http://mvz.berkeley.edu/Grinnell_Method.html