

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Filosofía y Letras
Instituto de Investigaciones Filosóficas
Ciudad Universitaria



Idealización y organismos modelo

Tesis que presenta **Mónica María Márquez Sánchez**

Para obtener el grado de
Maestra en Filosofía de la Ciencia

Dirigida por
Dr. Rasmus G. Winther

Ciudad de México, 7 de octubre de 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Al final de este período académico debo mi agradecimiento a muchas personas que han posibilitado no solo este trabajo final de Maestría sino también mi estancia en México. Debo un agradecimiento especial a Rasmus Winther quién ha estado permanentemente acompañando este proceso y me ha permitido reflexionar y profundizar en las inquietudes que me han acompañado a lo largo de mi vida académica. Luego de finalizar el trabajo debo agradecer la lectura cuidadosa y aguda de los sinodales Sergio Martínez, Ana Barahona, Carlos López y Benjamín Macias.

Agradezco el apoyo de la DGEP de quienes recibí la beca para realizar mis estudios de Maestría en Filosofía de la Ciencia durante el período comprendido del mes de Febrero de 2006 al mes de Julio de 2007.

A otras personas como dije, tengo que agradecer que me han dado apoyo en muchos sentidos. A la doctora Atocha Aliseda debo el agradecimiento de las etapas iniciales de este proceso académico. A Carlos López Beltrán tengo que agradecer la amistad y el apoyo desde mi llegada al Instituto. A Silvia y Noemí.

A mis compañeros en general y en especial a Laura, Israel, Angélica, Ruth, Luis, por haber compartido momentos de discusión y de amistad en México. A Adalberto, Carla, Marco, Yuriditzi. A mis amigos Colombianos Janeth, Luis y Andrea. En especial a Andrea que me ayudó con su apoyo permanente y con varias lecturas del trabajo final. A mis nuevos amigos extranjeros que conocí en México, Juli y Ekai.

Finalmente dedico este trabajo a Virgilio, Ana, Marcela, Claudia, Manuela y Laura, quienes siempre están donde yo estoy.

INDICE

Introducción.....	3
Capítulo 1	
DIFERENTES ENFOQUES SOBRE LOS ORGANISMOS MODELO.....	7
1.1 Organismos modelo como ejemplares.....	9
1.2 Organismos modelo como modelos de comprensión del fenómeno biológico...13	
1.3 Organismos modelo como tecnologías experimentales.....	16
1.4 Los diferentes enfoques sobre organismos modelo y sus características.....	20
Capitulo 2	
CARACTERÍSTICAS ATRIBUIDAS A LOS ORGANISMOS.....	22
2.1 Características comunes a los organismos modelo.....	25
2.2 Características conspicuas de los organismos modelo.....	27
2.3 Características comunes y conspicuas.....	31
Capitulo 3	
CARACTERÍSTICAS E IDEALIZACIÓN.....	32
3.1 Características como constitutivas de una representación.....	33
3.2 Características conspicuas e idealización en la representación.....	36
3.3 Características e idealización.....	38
Conclusiones.....	41
Referencias.....	43

Introducción

Los organismos modelo son una estrategia experimental que pretende conseguir conocimiento general de los organismos a partir del estudio detallado de fenómenos biológicos en un organismo particular. Esta estrategia ha sido utilizada por los investigadores desde principios del siglo XX y se ha considerado una estrategia exitosa en la biología experimental.

Una forma de analizar esta estrategia experimental ha sido la investigación histórica sobre un organismo modelo en particular. Desde esta perspectiva histórica cada investigación con un organismo modelo ha tenido su propio desarrollo. Sin embargo una conclusión generalizada de este tipo de trabajos es que la constitución de un organismo como organismo modelo depende de muchos factores que no sólo atañen a su biología sino que integran intereses sociales y formas de accionar de una comunidad científica. Por ejemplo Kohler (1994) pone en evidencia la forma en que una comunidad científica reconstruye un organismo que luego se convierte en algo análogo a un instrumento estándar. Leonelli (2007) enfatiza que la comunidad científica gana entendimiento de los fenómenos biológicos de manera muy efectiva a través del uso de organismos modelo. Creager (2002) se refiere al uso de organismos modelo como referentes para otras investigaciones y enfatiza la importancia del dúo instrumento-organismo para su constitución como estándar.

Dentro de este tipo de estudios de caso los autores discuten también diferentes factores que han influido en la selección y mantenimiento de los organismos como organismos modelo. Un consenso en estos tres trabajos es que las características atribuidas a los organismos sólo son una parte de la explicación del éxito de tal estrategia. Pero, por ser precisamente casos de estudio, no hay una discusión que incluya aspectos referentes a otros organismos modelo. Los casos de estudio muestran en cada caso particular qué ocurre con las características atribuidas a los organismos y desde allí se surgen ideas posibles de generalizar otros organismos modelo.

Un análisis sobre las características atribuidas a los organismos recogiendo lo que diferentes autores dicen al respecto nos introduce en otra discusión diferente que tiene que ver con la importancia relativa de diferentes características en el desempeño experimental de los organismos. Muchos autores (Burian, 1993; Radder, 2004) enfatizan que son otros factores ajenos al organismo los que muchas veces predominan en tal elección, como por ejemplo las técnicas disponibles o la información acumulada sobre un mismo organismo. Sin embargo estas discusiones han arrojado algunos argumentos que tratan de explicar los criterios de selección y mantenimiento entorno a las características: 1) Por ejemplo la tratabilidad, es decir que los organismos sean tratables experimentalmente ha sido un argumento sostenido por varios autores como uno de los principales para el establecimiento como organismos modelo (Ankeny, 2006; Kellog y Shaffer, 1993). 2) El ser representante de una clase de organismos, es decir un organismo típico, es un parámetro siempre a tener en cuenta para la elección de un organismo modelo.

La tratabilidad tiene relación con una cantidad de características de los organismos: que son pequeños, tienen ciclos de vida corto, alta tasa de reproducción, entre otras, que los hacen tratables o manejables en el laboratorio. Como dicen Kellog y Shaffer (1993) *Arabidopsis* es tratable porque es fácil de reproducir y hacer crecer en espacios de laboratorio. Sin embargo dentro de estas razones los autores dejan a un lado particularidades como tener uno de los genomas mas pequeños entre las plantas lo cual también hace tratable el organismo para la manipulación de su genoma experimentalmente y los fenómenos mismos relacionados con la genética.

El segundo tipo de argumento relacionado con la tipicidad del organismo modelo y su valor como un representante de una clase de organismos es un parámetro que ha sido bastante analizado. Por ejemplo Leonelli se refiere a la tipicidad de *Arabidopsis* al ser una de las especies de plantas mas comunes y extendidas. Sin embargo muchos otros casos de organismos modelo muestran que precisamente el organismo modelo utilizado no es el mas típico o normal dentro de la clase de organismos que se quiere representar al usarlo.

En este trabajo pretendo abordar estos asuntos relacionados con las características atribuidas a los organismos modelo. Me interesa desarrollar una discusión que gire en torno dichas características. Basada en lo que dicen Bahls, Weitzman y Gallager, (2003) parto de que los organismos modelo pueden ser vistos como una representación constituida tanto por características comunes, características conspicuas y obviamente aquellas que identifican al organismo como perteneciente a una clase de organismos aceptada. Características comunes serán aquellas características que constituyen un común denominador en todos los organismos modelo utilizados y que son importantes en el desempeño de un organismo en el ámbito experimental como por ejemplo: los ciclos de vida corto, la disponibilidad del organismo, tamaño pequeño, tasa de reproducción alta, distribución amplia en diferentes ecosistemas, simplicidad relativa de las estructuras, adaptabilidad a medios experimentales (ej. cultivo o cría artificial), entre los más mencionados. Las características conspicuas serán en mi recuento ciertas características únicas y sobresalientes encontradas en un organismo modelo que se relacionan únicamente con un organismo particular. Esto es básicamente lo que desarrollo en el segundo capítulo. En el primer capítulo me interesa mostrar brevemente diferentes enfoques de los organismos modelo desde estudios de caso como los de Creager (2002), Leonelli (2007) y Kohler (1994), donde la discusión sobre las características y los factores se hace de manera acotada a cada caso de estudio, lo cual conduce a discusiones distintas que giran entorno a la utilidad y a aspectos epistemológicos de dicha estrategia experimental.

Si la representación que tenemos del organismo contiene estos tipos de características habría entonces dos formas contrarias de accionar. Por un lado, la selección de un organismo modelo puede estar influenciada por la búsqueda de la tipicidad del mismo. Por otro lado, la selección de un organismo modelo puede estar constituida en parte por la búsqueda de características conspicuas que son más cercanas a una excepcionalidad. Esto es lo que desarrollo en el tercer capítulo. De todo esto concluyo que los organismos modelo pueden ser ideales en dos sentidos aparentemente contradictorios. Por un lado, son típicos representando lo ideal encarnado en una entidad; por otro, excepcionales en

ciertas características representando lo ideal en el sentido de alejarse de lo comúnmente encontrado. Un ejemplo de esto podría ser la planta *Arabidopsis* cuya representación como organismo modelo muestra que en unos aspectos constituye una planta típica o representativa al ser un tipo de maleza ampliamente distribuida y en otros aspectos constituye una planta excepcional por ejemplo respecto al tamaño de su genoma. En ambas formas la idealización de un organismo juega un papel fundamental en la construcción de tal representación y por lo tanto en el uso de tal estrategia experimental.

Capítulo I. Diferentes enfoques sobre los organismos modelo

En este primer capítulo describo diferentes estudios de caso que explican el éxito de los organismos modelo como estrategia experimental y me interesa mostrar cómo son analizados los organismos modelo desde los estudios de caso. En cada enfoque y autor se analizan las características propias de cada organismo modelo. Describo los tres ejemplos escogidos porque muestran tres formas contrastantes en la que son analizados los organismos modelo. Los enfoques que presento son aspectos que analizan los libros de los siguientes autores pero no constituyen obviamente el único aspecto analizado en sus obras. Un primer enfoque, el de Creager, enfatiza la utilidad del virus TMV como modelo experimental ejemplar. Un segundo enfoque, el de Kohler, enfatiza la utilidad de *Drosophila* y los organismos modelo como tecnologías. El tercer enfoque, el de Leonelli, enfatiza la utilidad de *Arabidopsis* como modelo de comprensión de los fenómenos biológicos.

Antes de comenzar a analizar los diferentes enfoques me interesa precisar algunos aspectos sobre el papel de los organismos modelo en la biología experimental. Una de las ideas más generalizadas sobre la utilidad de los organismos modelo como estrategia experimental en la biología se refiere a la ganancia resultante de estudiar unos pocos organismos para entender muchos otros. Kellog y Shaffer (1993) mencionan este aspecto de la siguiente forma: “*la idea fue aprender acerca de lo general estudiando lo particular, usar un organismo específico como un modelo para todos los otros*” (Kellog y Shaffer, 1993,p. 409). El uso de unos pocos organismos en el laboratorio permite pues tener acceso a mucha información sobre un organismo¹ particular e interactuar con él para entender diferentes procesos ocurridos en otros organismos.

¹ Organismo será entendido aquí en un sentido estrecho equivalente a una especie particular, que tiene un funcionamiento y comportamientos básicos, que posee al menos ADN-ARN y que es encontrado de manera natural (No quiero referirme a los organismos artificiales como células en cultivo de tejidos).

Uno de los primeros objetivos con los organismos modelo fue el ser utilizados para estudiar fenómenos relacionados con patologías o comportamiento humano como es el caso del ratón aunque cada vez es creciente el uso de organismos modelo para entender diversos fenómenos en organismos diferentes a los humanos. Tal es el caso de *Arabidopsis* usada para entender la biología de las plantas principalmente.

Esta estrategia experimental ha sido tan difundida que cada vez más organismos se incorporan a las listas de aquellos organismos denominados “*organismos modelo*”, algunos de los más conocidos son los siguientes casos: el ratón *Mus musculus*, la mosca *Drosophila melanogaster*, el nematodo *Chaenorabdithis elegans*, la planta *Arabidopsis thaliana*, el pez cebra *Danio rerio*, el moho deslizante *Dictyostelium discoideum*, la bacteria *Escherichia coli*, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la rana *Xenopus*. Cada uno ha sido intensamente usado en algún campo de estudio específico aunque siempre hay investigación permanente que trata de ver la utilidad del organismo en otros campos distintos.

A la par de una gran cantidad de literatura en el ámbito de la ciencia sobre los resultados obtenidos con estos organismos existe otro tipo de literatura relacionada con la reflexión filosófica, histórica y sociología sobre el uso de este tipo de estrategia experimental. Algunos trabajos ya son considerados estudios clásicos como el trabajo de Kohler (1994) sobre la mosca *Drosophila*. A partir de éste y otros trabajos de la década de los 90's la literatura viene creciendo y abarcando una diversidad de temas que tocan a estas disciplinas como pueden ser: el cuestionamiento a la validez de las inferencias realizadas hacia otros organismos relacionados, el valor representacional de los organismos modelo en referencia a otros organismos, el cuestionamiento del uso de animales en los experimentos y la misma condición de los organismos como materiales experimentales, entre los más mencionados.

Parte de lo que se discute en estos trabajos es como lo menciono su valor como estrategia experimental utilizada para obtener conocimiento. Los trabajos que analizo aquí exploran diversos enfoques sobre el valor de los organismos modelo como estrategia experimental, estos trabajos son: El estudio de Creager (2002) sobre el caso del TMV² Tobacco Mosaic Virus como modelo experimental para otros virus como la poliomielitis y la influenza. El análisis que realiza Leonelli (2007) sobre la maleza *Arabidopsis*³ como modelo para estudios genéticos, de comportamiento y desarrollo de las plantas. El análisis de Kohler (1994) sobre *Drosophila* en la investigación genética⁴. Los ejemplos que tomo involucran una forma en la que los organismos modelo son utilizados, a saber como organismos indicados para investigar procesos comunes a muchos organismos vivos tal como los fenómenos genéticos, de desarrollo y comportamiento de los organismos vivos en general.

1.1. Organismos modelo como ejemplares

Creager (2002) menciona las características propias del virus TMV entre en el conjunto de factores que fueron importantes para el éxito del TMV como organismo estándar (como ella lo denomina). Entre las principales, ella menciona la estabilidad estructural de este virus: "*La invariabilidad relativa del TMV en las preparaciones del laboratorio fue crítica para su uso como estándar*". (Creager, 2002, p.138). Pero Creager enfatiza que la estandarización es un desarrollo simultáneo entre organismo e instrumento donde el instrumento es parte fundamental de este recuento: "*En cuanto las ultra centrífugas proliferaron, el TMV permaneció como un ejemplo clave para el uso de la máquina en la visualización y purificación de virus como macromoléculas*". (Creager, 2002, p. 82).

Cuando Creager dice que la ultra centrífuga debió ser estandarizada es también debido a que en principio este instrumento no había sido diseñado por sus

² "The life of a Virus: Tobacco Mosaic Virus as an experimental model, 1930-1965".

³ "Weed for Thought: using *Arabidopsis thaliana* to understand plant biology"

⁴ "Lords of the Fly: *Drosophila*, genetics and the experimental life".

inventores para ser usado con muestras biológicas: *“En respuesta a las demandas de los investigadores del virus –y contrario a la intención de los inventores del instrumento– la ultra centrífuga llegó a ser una herramienta para la preparación de objetos biológicos también como para su análisis”*. (Creager, 2002, p. 79). Finalmente se logró un instrumento estándar útil para el trabajo con partículas virales: *“Para los años 50’s, la centrífuga (air-driven) había llegado a ser una pieza estándar del equipo de laboratorio, en parte por ser apropiada para la purificación de virus”*. (Creager, 2002, p. 82).

Creager desarrolla pues una discusión alrededor de la importancia de la estandarización simultánea de organismos e instrumentos, pero Creager no quiere referirse a “organismos modelo” porque considera que los organismos no son el único componente de tal estrategia experimental. Las propiedades biológicas del virus tienen sentido en un discurso que involucra el manejo e intercambio de conceptos alrededor de este objeto de investigación: *“Mi argumento que relaciona los desarrollos en diferentes laboratorios a través del uso común de ejemplares como el TMV (sin reducir los objetos de investigación a sus meras propiedades biológicas) habla de un diálogo entre historiadores acerca del proceso a través del cual son diseminadas prácticas experimentales y conceptos nuevos”*. (Creager, 2002, p. 317). Por esto Creager involucra en el análisis de este modelo varios componentes: instrumentos estandarizados, organismos estandarizados, procedimientos de laboratorio, el contexto político y las necesidades sociales, principalmente.

Ella distingue dos expectativas distintas que tenían los investigadores. Por un lado, había una expectativa en que los resultados del TMV pudieran aplicarse a otros virus apelando a su valor representacional de otros organismos de su misma clase biológica. Además había una expectativa sobre el valor del modelo para investigaciones de diversa índole, desde otros virus hasta genes: *“El virus fue intensivamente estudiado como un virus representativo, con la expectativa de que el conocimiento recogido del TMV pudiera ser generalizado (provisionalmente)”*

para otros virus. En segundo lugar, mostró por ejemplo cómo otros virus y objetos biológicos podían ser estudiados. Por medio de este libro, uso el término “sistema modelo” para referirme a esos dos aspectos de la utilidad del TMV”. (Creager, 2002, p. 5).

Creager se refiere a un gran sistema experimental, donde está el organismo y sus características; pero que incluye también un patrón de preguntas particular, una forma de construir protocolos y de desarrollar instrumentos lo cual puede ser extendido al desarrollo de otros sistemas experimentales que trabajen con organismos o entidades distintas. Desde este enfoque le interesa resaltar una función del sistema experimental como ejemplar. Ejemplar es pues un sistema que es referente a otros modelos de investigación que apenas comienza a desarrollarse.

Creager destaca que el uso del virus TMV como ejemplar modifica también la forma cómo se enfoca la investigación en dicho virus: *“El hecho de que el TMV proveyó un ejemplar para la comprensión de otros patógenos (tales como el poliovirus y el virus de la influenza) y otras entidades biológicas (tales como genes y partículas citoplásmicas) afectó tanto la forma como el TMV fue investigado y la forma como los hallazgos en TMV fueron generalizados a otros sistemas”* (Creager, 2002, p. 5). Para ella el conjunto de técnicas y protocolos desarrollados en TMV fueron útiles para la construcción de otros modelos de investigación. Cuando se quiso investigar otros virus el sistema experimental del Virus del Mosaico del tabaco sirvió como referencia para dos virus en humanos: el virus de la poliomielitis y el virus de la influenza enfermedades epidémicas en los años 1940s y 1950s a las cuales se les buscaba vacunas. En este caso la estructuración de proyectos que involucraban metodologías a ensayar en el laboratorio fueron tomadas de la estructura de las investigaciones con el TMV por Stanley: *“Stanley hizo el bosquejo de tres proyectos para el NFIP (National Foundation for infantile parálisis) para hacer en su laboratorio, los cuales involucraban el tratamiento del TMV como un modelo para investigar el polio”.*

(Creager, 2002, p. 161). Pero de qué manera específica el TMV fue un ejemplar para investigar el polio y la influenza.

El sentido de guía en Creager es el de usar los protocolos que habían sido utilizados con el TMV como base para comenzar investigaciones nuevas por el investigador Stanley en los otros virus. Respecto al virus de la influenza Creager dice: *“Cuando Stanley pensó en idear un protocolo para purificar el virus de la influenza en las centrífugas Sharples de alta velocidad él desarrolló primero el protocolo usando el TMV como el material de partida”*. (Creager, 2002, p. 140). Usar el TMV como material de partida significa utilizar los protocolos o metodologías que habían sido exitosas para la purificación del virus en la ultra centrífuga y ensayarlos con el virus de la influenza. La utilidad que el TMV pudo traer a estos dos virus vino en un momento social significativo. Creager enfatiza las necesidades urgentes de una sociedad por buscar vacunas para estas dos enfermedades en unas circunstancias cruzadas por la segunda guerra mundial: *“No mucho después de que los científicos americanos fueron movilizados para la segunda guerra mundial, Stanley comenzó a investigar la influenza a lo largo de las líneas de su trabajo sobre TMV extendiendo el éxito de la ultracentrífuga en el aislamiento de virus purificados a la tarea de preparar una vacuna de la influenza más limpia”* (Creager, 2002, p. 328). El contexto social también hace parte del análisis de Creager, ella considera que sin este contexto es difícil entender por qué este virus se posicionó como ejemplar.

Los ejemplares para Creager no son fijos sino transitorios, en el sentido de que luego de que el TMV sirvió como modelo para estos otros virus estos otros modelos generados se convirtieron posteriormente en ejemplares de otros modelos experimentales: *“Ejemplares en este sentido son transitorios, no fijos (...) los desarrollos en investigación en TMV incitó a otros sistemas experimentales como modelos”* (Creager, 2002, p.6). Entonces los ejemplares no son formas únicas de hacer las cosas, según ella son plantillas que son usadas y que pueden

ser mejoradas y que pueden incluso ser una forma de explicar cómo va desarrollándose la práctica experimental.

El enfoque de Creager es interesante pues resalta la importancia de la forma cómo se extiende el conocimiento a través de las prácticas científicas y los organismos modelo son un ejemplo de organismos en los cuales se acumula mucha información que es transmitida a través de esta noción de ejemplar. Una objeción a este enfoque de Creager puede ser que el término ejemplares no es necesariamente una referencia única de los organismos modelo. También ejemplares pueden ser otros organismos experimentales en general. Ejemplares puede ser el caso de muchos organismos experimentales porque en muchos casos el investigador que está estudiando un organismo trata de utilizar dicha información en cuanto a protocolos de laboratorio para el estudio de otros organismos.

1.2 Organismos modelo como modelos de comprensión del fenómeno biológico

Leonelli toca en su análisis las características del organismo dentro del gran conjunto de las características principales que influyeron en el éxito del organismo modelo. Ella las divide en dos grupos. Las características del organismo y las características de la comunidad. Las características atribuidas al organismo ella las divide en características naturales, inducidas y proyectadas. Las características naturales son los rasgos que son encontrados en los tipos silvestres de *Arabidopsis* independiente de manipulación humana. Leonelli incluye aquí dos características importantes de *Arabidopsis* : 1) la manipulabilidad de las plantas que se refiere a dos aspectos, la facilidad para crecer la planta y manipularla en espacios laboratorio y, su ciclo de vida corto. 2) el tamaño pequeño de su genoma. Dentro de las inducidas incluye la velocidad de mutación, característica que ha sido importante después del descubrimiento de las mutaciones inducidas por *Agrobacterium*. Dentro de las proyectadas, Leonelli

incluye la tipicidad de *Arabidopsis* y la utilidad de las investigaciones con la planta en campos como fisiología, bioquímica y desarrollo. La tipicidad de la planta se refiere según Leonelli a la cualidad de ser uno de los tipos de plantas más comunes y extendidos (una especie dentro de las denominadas malezas), por esto es usada como representativa de un amplio grupo de plantas. (Leonelli, 2007, p. 62).

Además de estas características atribuidas al organismo Leonelli expone las características correspondientes a la comunidad que son parte fundamental en la adopción de los organismos modelo. El análisis de Leonelli (2007) privilegia como eje central de la estrategia experimental de los organismos modelo a la comunidad. Las características tienen sentido desde las preguntas de una comunidad científica que busca la comprensión de los fenómenos biológicos. Leonelli dice que el alcance de *Arabidopsis* como organismo modelo depende de los objetivos científicos que la comunidad tenga, los cuales están basados en las preguntas que la comunidad tiene en un momento determinado. Por ejemplo para mitades de los 90's cuando el genoma de *Arabidopsis* estaba casi totalmente secuenciado los investigadores encontraron en *Arabidopsis* una forma de responder preguntas abiertas relacionadas con el genoma de las plantas: "*Arabidopsis había probado su merito como una herramienta de investigación extremadamente valiosa en la biología molecular de plantas*" (Leonelli, 2007,p. 65).

Desde esta perspectiva ella destaca la utilidad de la investigación en un organismo particular como *Arabidopsis* para la comprensión de fenómenos biológicos por el hecho de que existen varios tipos de modelos que los investigadores construyen y manipulan a través del estudio de esta planta particular. Los diferentes modelos del fenómeno que ella plantea son los modelos producidos por TAIR Arabidopsis Information Resource (TAIR) instalado en la Universidad de Stanford que son representaciones en el computador y los modelos producidos por NASC (Nottingham Arabidopsis Stock Centre) que son

plantas crecidas en el invernadero. Estos tipos de modelos son posibilidades de interactuar con el fenómeno y cada uno recoge información que es importante para la comprensión del fenómeno por parte de la comunidad científica, es decir, incrementan la inteligibilidad del fenómeno en biología: *“cada tipo de modelo captura un aspecto diferente de esto y así contribuye a una explicación total del fenómeno”* (Leonelli, 2007, p.157).

Leonelli sostiene que una particularidad de los especímenes NASC como modelos de comprensión es que ellos además de ser producidos para representar fenómenos de *Arabidopsis* (fenómenos relacionados con la genética, el comportamiento y desarrollo de las plantas) son instancias de los fenómenos en sí mismos. Las plantas funcionan como muestras presentes del fenómeno que ellas representan y pueden incluso comportarse de maneras inesperadas: *“por un lado son producidas para representar algunos rasgos de la biología de Arabidopsis. (...) al mismo tiempo son las muestras presentes de aquellos organismos”*. (Leonelli, 2007,p.168). Leonelli encuentra pues una consecuencia en esto y es que los organismos tienen la capacidad de manifestar rasgos que los investigadores no habían controlado y que pueden ser útiles para comprender aspectos de los fenómenos en los que están enfocados.

Por otro lado Leonelli destaca una utilidad de los modelos NASC que tiene que ver con manipular la planta y ver su comportamiento. Esta intervención provee de una forma de acercarse a los fenómenos lo cual trae nuevas preguntas a los investigadores: *“todas esas actividades tienen gran influencia sobre el razonamiento científico vía organismos modelo”*. (Leonelli, 2007, p.72). Por esto para Leonelli los aspectos relacionados con las características de los organismos son una condición para el tipo de razonamiento científico representado en tres aspectos: el conocimiento corporizado *embodied knowledge*, el conocimiento teórico *theoretical knowledge* y la organización social. El conocimiento corporizado es necesitado para tratar con los rasgos materiales de los organismos donde a través de la manipulación de ellos se aprende a intervenir de manera efectiva

sobre las características de acuerdo a los propósitos de los investigadores: “los biólogos manipulan las características materiales de un organismo para adquirir conocimiento acerca de su funcionamiento y estructuras” (Leonelli, 2007, p.75). El segundo aspecto es el conocimiento teórico, *theoretical knowledge*, que resulta de tal interacción con el organismo que tiene esas características materiales. El tercer aspecto, el de la organización social es un aspecto clave de este razonamiento que expone Leonelli pues considera que las plantas no pueden separarse de las decisiones y el interés de la comunidad por estudiar esa planta: “las plantas de *Arabidopsis* no podrían tener el estatus de organismo modelo a menos que ellas no hubieran sido adoptadas y promovidas como tal por una comunidad de biólogos” (Leonelli, 2007, p.75).

El enfoque de Leonelli parte pues de entender como una comunidad tiene comprensión de un fenómeno y según Leonelli los organismos modelo tienen ventajas en esta comprensión porque incorporan diferentes modelos en los cuales se representan los fenómenos y porque hay una integración o concentración de la información en una sola planta.

1.3. Organismos modelo como tecnologías experimentales

Kohler (1994) analiza las características y factores que contribuyeron para el establecimiento de la mosca *Drosophila* como organismo modelo. Para él las características propias del organismo tienen un papel fundamental en su recuento de la obtención de organismos estándar como proceso de co-construcción entre el investigador y las características particulares del organismo. Él resalta una característica que fue fundamental en tal proceso; a medida que se trabajó con la mosca, se encontró que mostraba mutaciones definidas, es decir, mutantes que expresaban de manera definida en algún rasgo morfológico la mutación producida: “*Drosophila* reveló su capacidad de producir amplio número de mutaciones bien-definidas” (Kohler, 1994, p. 50). En su trabajo Kohler resalta la utilidad de dichas

características y su papel en la reconstrucción de los organismos como tecnologías.

Por lo tanto Kohler defiende la utilidad de los organismos modelo como tecnologías. Los organismos modelo son útiles por servir a ciertos propósitos experimentales y para servir a tales propósitos ellos son rediseñados y convertidos en organismos estándar tal como una tecnología: *“las Drosophilas salvajes tuvieron que ser reconstruidas para servir a los propósitos de los drosofilistas”* (Kohler, 1994, p. 87). El término “tecnología” se refiere entonces a una forma de ver los organismos experimentales como herramientas de modo que, finalmente, ellos se asemejan más a instrumentos. Los organismos dejan de tener sus comportamientos en ámbitos naturales y son constreñidos por los protocolos impuestos por investigadores: *“La construcción de Drosophila que yo he tratado de mostrar fue como la construcción de cualquier tecnología de laboratorio. Esto involucró una elección de diseños alternativos del producto (...) y la invención de herramientas estándar y un sistema complejo de producción masiva para hacerlos trabajar”* (Kohler, 1994, p. 87). Para Kohler el organismo es sólo una parte del sistema experimental. Su enfoque muestra cómo dentro de este sistema los investigadores reconstruyen un organismo que reúne cierto tipo de características y se minimiza la expresión de otras: *“los instrumentos no producen nada por sí mismos por supuesto, sino sólo como partes de sistemas de producción sociales y materiales que son complejos”* (Kohler, 1994, p. 8).

El investigador en este sentido es pues un diseñador de tal tecnología. De acuerdo a unas preguntas relacionadas con los fenómenos biológicos, él diseña un organismo particular. Los mapas de cromosomas fueron un objetivo y se mapearon muchos mutantes : *“los mapas de cromosomas fueron los planos de un sistema de producción en masa que cambió y mejoró a medida que era trabajado”* (Kohler, 1994,p. 67). Por ejemplo los mutantes usados para el mapeo de cromosomas tenían pues ciertas características fenotípicas relacionadas con el cromosoma 3.

La estandarización es crucial para entender que finalmente se obtiene un organismo que tiene sólo ciertas características deseadas por el investigador. Para Kohler son muy importantes otras características del organismo que permiten tal rediseño, por ejemplo el hecho de que las moscas fueran tan fértiles y produjeran tantas crías eran características que permitían hacer muchos cruces rápidamente y obtener muchos mutantes de los mismos.

Para Kohler la mosca *Drosophila* utilizada en los experimentos genéticos fue pues una mosca reconstruida. Como él lo dice, significó rediseñar y reconstruir su conformación genética por medio de un direccionamiento experimental para controlar la variabilidad de la mosca: "*Drosophilas estándar fueron construidas de los stocks que producían recombinación conformando datos que eran los que más se acercaban a la teoría Mendeliana*" (Kohler, 1994, p. 53). Los cromosomas de interés de varios mutantes fueron puestos juntos para lograr especímenes que manifestaran fácilmente características definidas y contrastables. Los factores se clasificaron en sistemas por grupos de órganos como el color de ojos, la forma de las alas, el color del cuerpo, el patrón del tórax. De esta forma muchos factores genéticos estaban involucrados en la formación de cada rasgo morfológico.

Esta alta estandarización es lo lleva a Kohler a pensar el espécimen como un instrumento o artefacto similar a los que existen en el laboratorio: "*Pronto la mosca estaba siendo rediseñada y reconstruida en una nueva clase de instrumento estándar de laboratorio, algo viviente análogo de los microscopios, galvanómetros o reactivos analíticos*" (Kohler, 1994, p. 53). Desde este enfoque el organismo es estrictamente lo que el investigador quiere de él. La variabilidad propia del organismo en muchos aspectos es una desventaja para este proceso. Según Kohler toda esta reconstrucción trae como consecuencia una transformación de la criaturas naturales en esta clase de instrumento lo cual captura el sentido del organismo en un engranaje y en una gran máquina que es el sistema experimental: "*la transformación de las criaturas en el laboratorio empieza cuando*

ellas entran en su primer experimento, y entre más productivas ellas sean, más se parecen a instrumentos" . (Kohler, 1994, p. 7).

Según Kohler la variabilidad de las formas silvestres de *Drosophila* debió entonces ser suprimida o controlada en condiciones experimentales a través de tres estrategias experimentales: la literaria, la ambiental y la genética. La primera estrategia se refiere pues al mapa construccional de *Drosophila* en el cual la localización de mutantes se indicaba en el eje vertical y su valor como herramienta de investigación en el eje horizontal. Una forma de controlar la variabilidad era eliminar del mapa los mutantes que no servían; y otra era aplicar factores de corrección de datos que se reconocía que eran imperfectos. La segunda estrategia fue el control de las condiciones ambientales de los experimentos de mapeo. Una forma, por ejemplo, fue colocar sólo dos moscas por botella, lo cual fue una metodología posterior a una forma anterior de producción que era masiva. La tercera estrategia fue la genética, que se refiere básicamente a la selección de stocks donde la relación de crossing-over era más uniforme: "*Drosophilistas construyeron los propósitos de un mapeo cuantitativo y preciso dentro de una fabrica material de su instrumento viviente*" (Kohler, 1994, p. 78).

Estas formas de control de la variabilidad dieron como resultado un organismo estándar, un organismo que difería notablemente de los parientes silvestres. De esta manera Kohler concluye que hay un alejamiento de los especímenes de laboratorio a los de campo en dos sentidos: genética y ecológicamente y, por esto, son vistos como tecnologías. Las moscas de laboratorio difirieron notablemente de las de campo: "*Drosophilas del laboratorio difirieron físicamente de su ancestros silvestres y tuvieron un modo diferente de vida*" (Kohler, 1994, p.53). De otro lado, ecológicamente las moscas de laboratorio tuvieron diferentes formas de dispersión, alimentación y vida activa, que difirieron de los hábitos de vida de los parientes silvestres en forma notable. Las moscas aprendieron nuevos hábitos en el laboratorio de acuerdo a los recursos existentes. Kohler habla de un organismo en una segunda naturaleza, un organismo que al ser rediseñado está muy lejos de

asemejarse a sus parientes silvestres y se convierte en algo que pertenece más a los ámbitos del laboratorio.

Una de las afirmaciones más fuertes de Kohler es que el organismo se convierte en algo análogo a un instrumento; en este punto ya muchos autores no están de acuerdo, por ejemplo Leonelli es una de ellas. Yo considero que Kohler no niega que los organismos tengan una variabilidad en muchos aspectos, la cual expresan constantemente; lo que él dice es que en el laboratorio es deseable que esta variabilidad sea minimizada para la obtención de un organismo estándar.

1.4. Los diferentes enfoques sobre organismos modelo y las características

Estos tres enfoques de estos autores muestran diferentes formas de acercarse a la agencia material. Kohler inicia su libro diciendo que es un libro acerca de aquellas criaturas y comunidades que conforman lo que es la cultura material. Leonelli menciona que aquellas instanciaciones materiales como son las plantas tienen una cualidad ambivalente entre los aspectos estandarizados y los aspectos desconocidos por los investigadores en un momento dado. Creager, por su lado, enfatiza que no se puede ignorar el valor de la agencia material sino que hay que ubicarla como parte de un sistema experimental que incluye lo material.

En estos tres enfoques, las características están inmersas en cada recuento son un factor entre muchos otros que contribuyen a la explicación del éxito de los organismos modelo. Sin embargo los tres recuentos dan diferentes niveles de importancia a las características. Para Creager las características materiales del organismo son un factor importante en la estandarización de un organismo modelo cuando ella se refiere al desarrollo simultáneo de las ultra centrífugas y la manipulación del organismo. Pero Creager no está dispuesta a desligar un recuento del organismo modelo del sistema experimental en el que está inmerso precisamente porque las características biológicas, como ella las denomina, sólo

tienen sentido desde una explicación que da cuenta del papel de todo un sistema experimental como ejemplar.

Por otro lado, para Leonelli las características atribuidas al organismo –como ella las denomina– son características importantes en la obtención de un organismo estandarizado y útil para ciertos propósitos investigativos. Desde su perspectiva, que involucra la relación entre las características y su valor dentro de los modelos producidos por NASC; un aspecto a resaltar es el conocimiento corporizado (embodied knowledge) que está involucrado al manipular los especímenes de invernadero a través de habilidades desarrolladas por los investigadores. Con esto, se adquiere conocimiento de tales organismos. Así pues que las características del organismo son importantes en cuanto permiten una forma particular de adquirir conocimiento acerca de los fenómenos biológicos.

Finalmente para Kohler las características propias del organismo son un componente esencial de su recuento. Para él, el organismo estándar es el resultado de reconstruir un organismo que contenga dichas características. Si la mosca silvestre presenta una serie de comportamientos y características particulares, el organismo experimental estándar presenta un rediseño de tales características; de manera que el organismo es un subconjunto de las características que los investigadores quieren que tenga. El investigador utiliza, por ejemplo, tecnologías experimentales de hibridación para seleccionar sólo aquellos individuos que expresen ciertas características.

Los tres autores estarían de acuerdo en que las características particulares de cada organismo modelo tienen importancia en la constitución de un organismo estandarizado, pero la forma de abordar la discusión sobre las características de los organismos está acotada al caso de estudio que analizan. Por esto en el siguiente capítulo recojo apartes de lo que estos y otros autores discuten acerca de las características para desarrollar una discusión en torno a ellas.

Capítulo II. Características atribuidas a los organismos

En el capítulo anterior mostré diferentes enfoques sobre los organismos modelo y el rol relativo de las características de acuerdo a cada recuento de los diferentes autores. Mi intención en el presente capítulo es desarrollar una discusión sobre las características a partir de lo que diferentes autores mencionan al respecto en sus recuentos para resaltar una distinción entre características que denomino comunes a los organismos modelo y características conspicuas y únicas en cada organismo modelo. Al final del capítulo destaco la importancia que las características conspicuas tienen en la práctica experimental como parte fundamental del proceso de construcción de organismos modelo. En primer lugar destaco algunos aspectos importantes de la forma en que se ha abordado la discusión sobre las características atribuidas a los organismos. En segundo lugar hago una separación que es necesaria para mis propósitos entre características comunes a todos los organismos modelo y características únicas y conspicuas de los organismos modelo en cada caso particular. Finalmente resalto la importancia de estas últimas características en la construcción de organismos modelo.

Para comenzar utilizaré una estrategia que consiste en hablar de las características atribuidas a los organismos desde las discusiones más comunes entorno a éstas y son las que se refieren a los criterios que influyeron en la selección de un organismo y la importancia relativa de dichas características en tal recuento.

Los recuentos histórico-sociales sobre casos de estudio de organismos modelo analizan frecuentemente entre otros aspectos los criterios que contribuyeron al establecimiento de un organismo como modelo experimental. Un interés en este tipo de trabajos es analizar para un caso de estudio particular las relaciones entre los criterios referentes al contexto social y político en los que se encuentra la comunidad científica y los referentes a las cualidades de los organismos. Estos dos componentes son inseparables en una explicación que dé cuenta del conjunto

de factores que contribuyeron al establecimiento del organismo como modelo. La explicación del éxito o estatus de organismo como modelo es pues una conjunción de criterios donde las cualidades atribuidas al organismo no explican de manera suficiente tal éxito. El estudio del contexto social e histórico en el que se desarrolla la comunidad científica es necesario para dar un recuento adecuado que ubique al organismo dentro de una problemática que se quería resolver explicando la importancia de ciertos actores, intereses, recursos y cierta forma de manejar la información por una comunidad científica.

Radder (2004) quien hace un recuento sobre el ratón como organismo modelo desde una perspectiva histórico-social pone de manifiesto un punto de desacuerdo entre la perspectiva de los científicos que trabajan con el organismo y la perspectiva de los filósofos y sociólogos. Radder dice que según los científicos la elección de un organismo y no otro se remite a una lista de propiedades biológicas de los organismos que son amigables con la investigación: *“Exactamente cómo y por qué son elegidos ciertos animales para cierta clase de investigación experimental mientras otras criaturas y otras preguntas de investigación obligadas son ignoradas, es una pregunta a la que la mayoría de los científicos que trabajan con el ratón responden apelando a la parte material de esta pregunta, citando una “lista de lavandería” de propiedades de sus criaturas que son amigables con la investigación”* (Radder, 2004, p. 11). Según Radder considerar las cualidades atribuidas a los organismos abstraídas de un contexto social y político en el que se mueve la comunidad científica es un enfoque muy reducido. Estoy de acuerdo con Radder y con muchos otros autores en que la elección y el mantenimiento de su estatus como modelo no están basados única ni principalmente en estas cualidades, muchos otros criterios son necesarios para explicar tal complejidad del éxito de los organismos modelo. Además tiene razón en que un patrón de preguntas conlleva cierto tipo de hipótesis y por consiguiente a cierto tipo de organismos seleccionados.

Radder por ejemplo dice que hablar únicamente de las cualidades atribuidas a los organismos apela a medidas aparentemente objetivas del éxito científico, tal como lo dice respecto al ratón como organismo modelo: *“desde una perspectiva científica, enumerar tales variables provee una oración concisa de cualidades pragmáticas importantes de un animal experimental en biomedicina. Pero desde una perspectiva histórica, esas medidas aparentemente universales de trabajo científico exitoso descontextualizan a los ratones mismos de los lugares y las circunstancias bajo las cuales ellos fueron desarrollados y usados como animales experimentales”*. (Radder, 2004, p. 13).

Es cierto que los enfoques históricos han traído a la discusión aspectos relevantes a la forma en que se realiza un consenso de tales criterios en una comunidad científica que hace parte de un contexto sociopolítico; en el caso del ratón, esto es mucho más importante pues dicha elección estuvo atravesada por las discusiones sobre el uso de animales para experimentación. Pero esto no elimina la importancia de esas cualidades en el contexto experimental donde la relación entre: 1) las formas de razonamiento y las representaciones de los investigadores de la comunidad científica y 2) el fenómeno por investigar experimentalmente es importante. Mi punto de vista es que también descontextualizamos si presentamos dichas cualidades como desprendidas de los intereses de una práctica experimental que ha optado por dicha estrategia experimental, práctica que tiene una forma de relacionarse con los fenómenos que investiga.

Desde otra perspectiva Burian (1993) apunta también a la importancia de factores diferentes a las características de los organismos que tienen influencia en la permanencia del uso de un organismo modelo en particular. Él se refiere a todos aquellos factores que tienen que ver con la información acumulada sobre un organismo modelo. Él dice que lo que nos lleva a seguir trabajando con un organismo modelo ya conocido es, no solamente sus características, sino también otros factores involucrados en la tradición experimental, como por ejemplo los relacionados con el manejo de la información sobre el organismo: *“pero los*

problemas involucrados en tratar con un nuevo organismo, las ventajas de trabajar con uno ya familiar o usado a gran escala, la importancia de datos confiables sobre el comportamiento del organismo y de la disponibilidad de las razas apropiadas caracterizadas confiablemente para propósitos particulares. Todas esas consideraciones predisponen la evaluación de la adecuabilidad del organismo lejos de una deliberación abstracta basada meramente en criterios puestos idealmente por las preguntas a ser investigadas y las propiedades conocidas de los organismos relevantes” (Burian, 1993, p. 4).

Ambos, Radder y Burian, hacen evidente el valor de otros factores distintos a las características mismas de los organismos, en esto que mencionan en particular. He utilizado esta estrategia de mencionar las características atribuidas a los organismos ya que me interesa dejar muy claro que, aunque estoy de acuerdo en que hay muchos factores entorno al éxito y mantenimiento del estatus como modelo de un organismo particular, mi interés se centra precisamente en la importancia que dichas cualidades atribuidas a los organismos puedan tener.

2.1. Características comunes a los organismos modelo

Al hablar de las características que son comunes a los organismos me refiero a todas aquellas características que constituyen un común denominador en todos los organismos modelo utilizados y que son importantes en el desempeño de un organismo en el ámbito experimental, tales características son: los ciclos de vida corto, la disponibilidad del organismo, tamaño pequeño, tasa de reproducción alta, distribución amplia en diferentes ecosistemas, simplicidad relativa de las estructuras, adaptabilidad a medios experimentales (ej. cultivo o cría artificial), entre los más mencionados. Todas estas cualidades son importantes para que un organismo pueda desempeñarse experimentalmente. Independientemente de cómo se agrupen tales características, éstas son comunes a la mayoría de organismos modelo.

Bahls, Weitzman y Gallagher (2003) se refieren a este conjunto de características como los atributos comunes de los organismos. Ellos dicen que los organismos modelo tienen atributos comunes por los cuales han sido seleccionados. Ellos presentan una lista que incluye atributos comunes: mantenimiento económico, disponibilidad de propagación, cortos períodos de gestación, gran número de crías, facilidad para manipular en el laboratorio y un genoma moderadamente pequeño y (relativamente) no complicado. Estos atributos son, pues, según ellos comunes a la mayoría si no a todos los organismos modelo utilizados y representan cualidades importantes en la práctica experimental en general. Además estos autores hacen una distinción entre características comunes y características únicas. Yo comparto esta manera de distinguir las características atribuidas a los organismos y es la forma en que desarrollo este capítulo.

Muchos otros autores discuten sobre las características atribuidas a los organismos. La forma como ellos desarrollan esta discusión es una forma común de abordar el tema y que desde mi perspectiva complica tal discusión de manera innecesaria. Por ejemplo Kellogg y Shaffer (1993) se hacen la pregunta siguiente: ¿Cómo se eligen los organismos que llegan a ser sistemas modelo? Ellos responden de la siguiente manera: muchos fueron elegidos inicialmente con base en dos parámetros la accesibilidad y la tratabilidad.

La accesibilidad se refiere a la amplia distribución de un organismo, es decir, si el organismo está disponible en grandes cantidades y en los diferentes lugares donde se encuentran los laboratorios. Kellogg y Shaffer dan como ejemplos de la importancia de la accesibilidad en el establecimiento de un organismo como modelo experimental a la mosca *Drosophila* y el ratón.

El segundo parámetro es la tratabilidad de los organismos. La tratabilidad según mi interpretación de estos autores se relacionaría más precisamente con la manipulabilidad aunque ellos no hacen esta precisión. Ellos colocan dos ejemplos, *Arabidopsis* y *Xenopus*. *Arabidopsis* es tratable según ellos en el sentido de que

se puede manipular de tal manera utilizando técnicas sencillas de reproducción en laboratorio : “*Arabidopsis es fácil de reproducir y hacer crecer en el laboratorio*” (Kellogg y Shaffer, 1993, p.410). Por otro lado *Xenopus* es tratable debido a tres aspectos: 1) sus grandes huevos son visibles y de esta forma manipulables fácilmente 2) porque producen crías a menudo y son fáciles de mantener.

Sin embargo frente a lo que dicen Kellogg y Shaffer considero que el parámetro de la tratabilidad es ambiguo ya que puede explicar la adecuabilidad de un organismo en relación con muchas características y en cada caso particular su tratabilidad se explica de forma diferente. Además dentro de estas razones, los autores dejan a un lado particularidades como tener uno de los genomas más pequeños entre las plantas lo cual también hace tratable el organismo para la manipulación de su genoma.

Por lo tanto mi propuesta parte de seguir lo que Bahls, Weitzman y Gallagher (2003) describe a continuación las características únicas, que yo denomino conspicuas para agregar otro atributo de tales características.

2.2 Características conspicuas de los organismos modelo

Las características conspicuas serán en mi recuento ciertas características únicas y sobresalientes encontradas en un organismo modelo que son identificadas en la práctica experimental rutinaria con organismos. Al menos para los casos de organismos modelo que expongo aquí es posible encontrar características conspicuas que se relacionan únicamente con cada organismo en particular. Un ejemplo sencillo que muestra a que me refiero es el caso de *Arabidopsis* planta que posee la característica de que su genoma es el más pequeño entre las plantas conocidas genéticamente.

Bahls, Weitzman y Gallagher, (2003) se refieren a características únicas de los organismos modelo que ayudan a mantener el estatus como organismos modelo.

Para ellos las características únicas son características importantes encontradas en los organismos que hacen a cada organismo único y apropiado para cierto conjunto de preguntas. Ellos dicen por ejemplo que *C. Elegans* tiene ciertas características que permiten el seguimiento al microscopio de los procesos de desarrollo: “*el gusano, elegido como modelo a principio de los años 60’s, es manejable genéticamente y transparente, así cada división celular y evento de diferenciación puede ser seguido directamente bajo el microscopio*” (Bahls, Weitzman y Gallager, 2003, p.2).

Yo me acojo a la definición que estos autores dan pero prefiero denominarlas características conspicuas y no únicas debido a que si nos referimos a características únicas quedarían incluidas todas las características del organismo, puesto que son únicas en él. Yo quiero enfatizar la referencia a algunas características únicas pero que además son sobresalientes frente a otras encontradas en otros organismos.

Para dejar más claro a qué hacen referencia las características conspicuas quiero presentar otros ejemplos distintos a los que presentan Bahls, Weitzman y Gallager (2003). Para el caso de *Arabidopsis* Meinke y otros autores en 1998 mencionaban las diferentes cualidades de *Arabidopsis* como organismo modelo en estudios relacionados con la biología de plantas. Meinke y otros autores destacan que la planta ganó *momentum* cuando se liberó su mapa genético detallado y cuando diferentes publicaciones destacaban su valor para investigación en fisiología de plantas, bioquímica y desarrollo. Esto estuvo seguido de dos avances, uno fue el establecimiento de protocolos de transformación genética, el otro fue la demostración de que *Arabidopsis* tenía un genoma pequeño tratable para análisis molecular detallado. (Meinke *et. al.*, 1998, p. 678). Otros factores que influyeron fueron los relacionados con aspectos biológicos, como su ciclo de vida corto y el tamaño pequeño de la planta y de sus estructuras.

De todas estas características importantes que señalan Meinke y otros, quiero resaltar que una de las características conspicuas es el genoma muy pequeño conformado sólo por cinco cromosomas, cualidad que no es trivial. Las ventajas que esto otorgó para los trabajos moleculares en un momento donde las técnicas disponibles permitían la transformación genética usando *Agrobacterium tumefaciens* es algo que permitió a los investigadores tener acceso al estudio de fenómenos como la mutagénesis, las secuencias genéticas, epigénesis, silenciamiento genético, entre otros. (Meinke *et. al.*, 1998, p. 680). Al menos esta característica es una buena razón en la práctica experimental para que la planta sea considerada muy útil para observar y estudiar estos fenómenos. Destacar esta cualidad no significa ocultar las desventajas que el organismo modelo presenta en muchos aspectos; por ejemplo Meinke *et al.* Mencionan que la ausencia de un sistema eficiente de remplazamiento genético a través de recombinaciones homólogas es una limitación compartida con otros organismos modelo como *Drosophila* y *Caenorhabditis elegans* (Meinke *et. al.*, 1998, p. 679), para citar una sola desventaja. Se trata de mostrar que las características conspicuas son una ventaja que predomina sobre las desventajas que presenta.

Otro ejemplo puede ser *Drosophila*. Como mencioné en un párrafo anterior Kohler destaca la característica de mutantes que expresaban de manera definida en algún rasgo morfológico la mutación producida: "*Drosophila* reveló su capacidad de producir amplio numero de mutaciones bien-definidas" (Kohler, 1994, p. 50). La cualidad de la expresión fenotípica de la mutación es una característica que permite el acceso a fenómenos tales como fenómenos genéticos. De igual forma, reconocer esta cualidad no significa desconocer desventajas. Una desventaja es la dificultad en las manipulaciones embriológicas como lo mencionan Bier y McGinnis (2003), pero la característica que señalo representa una ventaja notoria en la interacción con gran cantidad de fenómenos genéticos.

Un tercer ejemplo puede ser el nematodo *C. Elegans*. La invarianza en el desarrollo¹ y su cuerpo transparente son algunas cualidades conspicuas que permiten acceso a fenómenos como la apoptosis, características citadas por Bahls, Weitzman y Gallager (2003) y Ankeny (2006). Otras características son su simpleza, su tamaño pequeño, su ciclo de vida corto, que como he dicho constituyen características comunes y mínimas en el trabajo experimental. Como mencioné anteriormente este nematodo es un buen ejemplo de cómo algunas características del organismo pueden ser verse como cualidades que permiten observar mejor en estos organismos el proceso de desarrollo.

El último ejemplo que presento es el del pez cebra donde algunas características como son la transparencia en los embriones y larvas permiten acceso a fenómenos como el desarrollo de las patologías. Lieschke y Curie (2007) mencionan : *“la biología de pez cebra permite rápido acceso a todas las etapas del desarrollo y la claridad óptica de los embriones y las larvas permite la imaginación en tiempo-real de las patologías desarrollándose”*. (Lieschke y Curie,2007, p. 353). Otra característica común relacionada con el manejo en laboratorio es pues su tamaño pequeño. Lieschke y Curie mencionan, además de esta cualidad tan importante en la práctica experimental, otras que ofrecen ventajas en cuanto a la manipulación.

La conjunción en estos organismos modelos de las características conspicuas para cada caso son un encuentro no trivial que tiene relación con la utilidad de las mismas dentro de la práctica experimental. Pero dicha utilidad se da respecto a la manipulabilidad del fenómeno donde hay un organismo que permite observar o analizar fácilmente un fenómeno a estudiar por una comunidad científica.

¹ Que se refiere por ejemplo a que el momento y la localización de la células muertas es idéntico durante el desarrollo del nematodo.

2.3. Características comunes y conspicuas

Los recuentos de Kohler, Leonelli y Creager por ejemplo, no profundizan en la diferenciación que he presentado en este capítulo de características comunes y conspicuas. Por qué sería importante tal separación y detalle de tales características?.

Como dije anteriormente características como por ejemplo: tamaño pequeño, ciclos de vida corto, alta tasa de reproducción, cosmopolita o que tengan una distribución amplia en diferentes ecosistemas son características generales a los organismos modelo seleccionados. Estas características sólo explicarían la manipulabilidad de los organismos como tal. Las exigencias de un medio experimental en cuanto a eficiencia de espacios y prontitud de resultados hacen deseables toda esta serie de cualidades generales en los organismos experimentales. Muchos organismos pueden presentar una o varias de estas características. En torno a estas características convergen muchos organismos porque precisamente son parámetros importantes en el espacio experimental y de la forma de producción de conocimiento que requiere resultados rápidos. De acuerdo a un espacio experimental reducido y a una necesidad de producir datos los organismos deseables deben tener estas características que denomino comunes que son condiciones mínimas para ser un organismo con buen desempeño experimental.

Pero además de presentar estas cualidades comunes que son importantes factores para la selección, establecimiento y permanencia de los organismos modelo hay ciertas características conspicuas que unos organismos presentan y otros no, las cuales hacen una diferencia a la hora de buscar acceso a un fenómeno dado en un campo particular de estudio. Tanto las características comunes como las conspicuas tienen un papel en las formas como se usa el organismo modelo visto como estrategia experimental para abordar fenómenos biológicos.

Capítulo III. Características e idealización

En este capítulo me detengo a analizar las características y la idealización. En primer lugar digo que los investigadores a través de la práctica experimental buscan seleccionar organismos con características conspicuas a través de la manipulación rutinaria de organismos experimentales los cuales pueden llegar a constituirse en organismos modelo. En segundo lugar digo que las características comunes y conspicuas conforman una representación donde las características conspicuas son una versión más perfecta (si se permite usar el término “más perfecto que”) de la forma cómo se encuentra la característica en otros organismos que la posean. En tercer lugar digo que este grado de perfección puede ser visto como una idealización ya que un grado de perfección puede ser entendido como un alejamiento de las características comúnmente encontradas. Finalmente digo que los organismos modelo pueden ser ideales en dos sentidos aparentemente contradictorios; por un lado, típicos representando así el ideal encarnado en una entidad; por otro lado, excepcionales en ciertas características representando el ideal en el sentido de alejarse de lo comúnmente encontrado. En ambas formas la idealización juega parte fundamental en la construcción de tal representación y por lo tanto en el uso de tal estrategia experimental.

Para comenzar es importante anotar que cada campo de estudio tiene sus propias necesidades de acuerdo a su desarrollo en un momento dado como práctica experimental. Al elegir para ciertos propósitos la estrategia experimental de los organismos modelo los diferentes campos de estudio como por ejemplo campos de estudios genéticos, de desarrollo, patológicos, embriológicos, entre otros y sus diferentes estados transdisciplinarios, desearían trabajar con algunos organismos que permitieran interactuar con el fenómeno a estudiar. Si la práctica experimental tiene un objetivo entre otros como es la relación con organismos que puedan ser las mejores herramientas de acceso a los fenómenos entonces valorará ciertas características conspicuas como cualidades útiles en la práctica experimental.

3.1 Características como constitutivas de una representación

El organismo está embebido en una práctica experimental, que involucra la interacción entre investigador-organismo-técnicas. En ese espacio de representación, como puede ser vista la práctica experimental, las herramientas que se elijan permitirán acceso al fenómeno y darán cierto tipo de resultados. Un objetivo de la práctica experimental es buscar pues este tipo de cualidades debido a que uno de los propósitos principales en la práctica experimental es interactuar con los fenómenos.

El campo experimental no es sólo un espacio donde confluyen intereses e instancias materiales, teorías e hipótesis, es también en si mismo un campo epistémico que tiene sus propias preguntas referentes al fenómeno experimental. Ciertas cualidades perseguidas nos hablan de la forma como la comunidad está interactuando con el fenómeno. Por ejemplo respecto a fenómenos relacionados con la patología unas décadas antes pudo haber un interés en estudiar ciertos fenómenos como por ejemplo la relación de los genes con la patologías, de manera que cierto tipo de características conspicuas eran deseables. Pero en otro momento posterior puede ser más relevante ver fenómenos relacionados con el desarrollo en tiempo real de las patologías lo cual conlleva a la búsqueda de organismos con otras características conspicuas distintas para acceder a dicho tipo de fenómenos. Este aspecto es analizado por Lieschke, G. y Currie, P. (2007).

Esta búsqueda es posible sólo a través de la experimentación. En la práctica experimental se tiene la oportunidad de interactuar con los organismos y con las técnicas para llegar a identificar aquellos organismos promisorios con características conspicuas. En este marco contextual, los organismos son, en este sentido, un recurso más entre muchos que utiliza la práctica experimental. Otros recursos pueden ser las técnicas y sus instrumentos. Nos interesa ver los

organismos como recursos disponibles en un momento dado para la práctica experimental.

La manipulación experimental con el organismo es pues parte fundamental de esta búsqueda. En esta interacción las técnicas disponibles convierten en cierto grado a un organismo como el adecuado para cierto trabajo tal como lo argumenta Burian (1993). Aunque no profundizaré en esta discusión si quiero resaltar que las técnicas y los instrumentos son parte fundamental de reconocer o no las características conspicuas.

Por ejemplo Kohler destaca la relevancia de características de *Drosophila* evidenciadas a través de su manipulación experimental. Kohler dice que la mosca fue rediseñada de acuerdo a los propósitos experimentales pero valiéndose de las cualidades del organismo y las técnicas disponibles, convirtiéndola en un “*breeder reactor*”. Kohler destaca el valor en la práctica experimental de características atribuidas al organismo como la capacidad de una alta velocidad de reproducción y de producción de mutantes que podían ser seleccionados para los propósitos de la investigación.

Estas características en el caso de *Drosophila* serían evidentes sólo a través de su manipulación experimental. Kohler afirma que cuando apenas se comenzó a experimentar con las moscas, éstas presentaban características fenotípicas diferentes a las que luego se obtendrían en el laboratorio y que lo único que se evidenciaba era una alta variabilidad del organismo: “*Las variaciones naturales de Drosophila consistían pues en diminutas diferencias que se mezclaban entre ellas a lo largo de un espectro continuo y que variaba ampliamente con las condiciones medioambientales*” (p. 29). Kohler habla pues de la reconstrucción de la *Drosophila* como una reconstrucción que involucra los caracteres deseados y reconoce que para esto es necesaria la manipulación experimental: “*Ya que no era un animal domesticado, no tenía aún construidos dentro de ella caracteres*

visibles y convenientemente distintos. La naturaleza no proveyó Drosophilas albino, amarillo o negras....”.(Kohler, 1994, p. 28-29).

En el caso de *Drosophila*, ésta se introdujo al laboratorio también por su gran disponibilidad y su rápida reproducción y ciclo de vida corto que se adecuaba a los calendarios de estudio de las universidades. Pero esto fue sólo un factor para que se constituyera en un organismo experimental. Su importancia creciente para la genética vino luego de que se evidenció a través del trabajo de laboratorio su capacidad para producir mutantes que expresaran las características fenotípicas deseadas, unido a su gran fertilidad. La mutagenesis inducida es particularmente una actividad experimental que relaciona la propiedad del organismo con potencialidad para mutar y las técnicas adecuadas para provocar mutaciones.

Los investigadores seleccionan pues ciertas características que serán útiles en el estudio de fenómenos comunes a los organismos en general. Esta selección implica entonces que los investigadores no están interesados en todas las características, funciones y procesos del organismo a través de su manipulación experimental. De tal manera que el organismo modelo es pues una representación donde ciertas características son eliminadas y otras son seleccionadas. La representación incluye sólo ciertas características del organismo. Todo lo que está fuera de ella son características y procesos del organismo que no interesan, por lo tanto son controladas en el sentido de minimizar su expresión. Dentro de esta representación están al menos: el conjunto de características comunes, las características conspicuas del organismo y aquellas que identifican al organismo como perteneciente a una clase de organismos dentro de la clasificación aceptada y usada por la comunidad científica.

3.2 Características conspicuas e idealización en la representación

Me interesa destacar que dicha representación es el producto de una actividad de seleccionar un tipo de organismo que posee dichas características. Mi interés a continuación está en analizar qué involucra la selección de las características conspicuas. Si hacemos la siguiente pregunta: ¿Qué particularidad tienen estas características conspicuas en relación con características presentes en otros organismos que no son usados como organismos modelo? Estos organismos tienen características conspicuas que se encuentran en una forma más perfecta a como se encuentran en otros organismos.

Por ejemplo analicemos el caso del nematodo *C. Elegans*. Este nematodo tiene una característica conspicua y es presentar un cuerpo transparente. Muchos otros animales tienen la cualidad de la transparencia en su cuerpo. Si nuestro interés investigativo está relacionado con el estudio de fenómenos relacionados con la biología de los animales en general, un animal que posea un cuerpo transparente es un animal singular que servirá en principio para buscar responder a un gran número de preguntas relacionadas por ejemplo con los procesos que se pueden observar directamente en el interior del animal. Si bien ésta no es la única característica presente en *C. Elegans* esta característica tiene gran importancia en la representación se está construyendo, esto hace la representación particularmente útil para tales fines. La selección adecuada de cierto organismo que posee cierta característica conspicua provee entonces al investigador de una representación apropiada para investigar ciertos fenómenos biológicos.

En este caso podríamos hacer una abstracción y colocar en un mismo conjunto a todos los organismos y conceder que los organismos que poseen cuerpo transparente pueden representar un grado de perfección frente a otros y en relación con propósitos específicos de investigación, como por ejemplo los fenómenos como la apoptosis. Dicha representación no es pues una construcción teórica donde adicionamos propiedades y valores, es un organismo. Pero el

trabajo importante en dicha representación está dedicado a la selección adecuada en el ámbito experimental de un organismo que contenga ciertas características.

Harré (1989) analiza lo que constituye la actividad de seleccionar un objeto que sirva como modelo idealizado. Éste es un sentido muy particular de entender las idealizaciones a diferencia de otros sentidos con los que estamos más comúnmente familiarizados. Harré expone de manera muy breve en la página 184 dos formas diferentes de idealizar para enfatizar dos sentidos diferentes. Una forma, según él, puede ser por ejemplo la representación pictórica de un lago con las líneas que representarían la diferencia de gravedad específica en el lago. En esta representación estas líneas son ideales en el sentido de que presentan regularidad geométrica y por tanto son más perfectas que las líneas reales que se observan en el lago debido a tales diferencias de gravedad. Él afirma que hay idealización aquí porque hay una representación perfecta de algo que realmente no tiene tal perfección sino pequeñas irregularidades en su estado natural.

El otro sentido es el que quiero analizar aquí que es el que Harré describe a través de la selección de un objeto. Esta actividad tiene principalmente la función de representar características de este objeto seleccionado en un grado más perfecto que las encontradas en otros objetos similares a aquel. Él describe tal proceso de la siguiente manera: *“tenemos algo que sirve como modelo, este modelo tiene las propiedades $P_1...P_n$, donde cada propiedad del objeto fuente correspondería a una propiedad del modelo, esto implica que las propiedades del modelo que han sido seleccionadas se pueden distinguir por ser de acuerdo a una escala de valores más perfectas, refinadas o puras que las propiedades del objeto fuente”*. (Harré, 1989, p. 184).

En el caso que estamos analizando de los organismos modelo encuentro interesante la relación que hace Harré entre un objeto que representa un modelo y la idealización. Harré menciona en este párrafo que cité anteriormente que seleccionar un objeto de acuerdo a ciertas propiedades es una actividad que lleva

a que el objeto seleccionado se convierta en una representación o modelo respecto a ciertas propiedades de una manera idealizada. Hay una actividad de selección que un agente realiza (podría ser cualquier persona interesada en tal actividad por ejemplo en mi caso de estudio, un investigador). Este agente tiene un universo de objetos identificado y realiza una labor de comparación entre ellos respecto a ciertas cualidades. Para esto el agente necesita tener conocimiento sobre los objetos que conforman dicho universo. En nuestro caso analizado el investigador realiza una actividad de selección de ciertos organismos que conoce y manipula de manera rutinaria en la práctica experimental, que es lo que he mencionado anteriormente. En esta parte de la selección, el investigador está interesado en la búsqueda de ciertas características, entre ellas las conspicuas que tienen una relación con la perfección.

Si el objeto seleccionado representa de una forma más perfecta ciertas cualidades de una clase de objetos que la poseen entonces esto es básicamente una actividad que involucra una idealización respecto a los objetos que poseen dichas cualidades. Una forma idealizada es entendida aquí como una forma excepcional o no comúnmente encontrada. Un organismo que posee tal característica que no fácilmente se encuentra en la población. Por lo tanto el organismo no constituye un modelo típico de acuerdo a estas características sino una instancia excepcional.

3.3 Características e idealización

De esta manera los organismos modelo pueden ser vistos como una representación donde tenemos características comunes y características conspicuas y obviamente aquellas características propias que caracterizan a un organismo como perteneciente a una clase de organismos. Las características que identifican al organismo como perteneciente a una clase o conjunto de organismos (de acuerdo a una forma aceptada de clasificar) son sólo una parte constituyente de tal representación seleccionada. Por ejemplo el organismo *Arabidopsis thaliana*

es un organismo perteneciente a la clase de organismos clasificados como plantas. Como tal dicha planta tiene características en común con otras plantas. Un comentario común sobre los organismos modelo es que el que un organismo sea representativo de una clase de organismos –es decir, que sea típico en formas o comportamientos de esa clase de organismos– es un factor muy importante en el valor que el organismo modelo tiene al ser usado como modelo para realizar inferencias válidas hacia los demás organismos relacionados con él.

Por otro lado características conspicuas tienen un valor en las inferencias que se realizan a partir de los resultados obtenidos con los organismos y que son útiles por su excepcionalidad para abordar fenómenos comunes a un grupo más amplio que los organismos pertenecientes a una clase o reino. Por ejemplo, el genoma de *Arabidopsis* no es el genoma típico de las plantas en el sentido de que reúna y represente todas las posibles complejidades de los posibles genomas encontrados en las plantas descritas. Lo particular en el genoma de *Arabidopsis* es que es un genoma muy pequeño, relativamente sencillo y que no presenta muchas particularidades o complejidades como otros. Con este genoma es posible estudiar fenómenos relacionados con la genética y realizar inferencias hacia otros organismos relacionados.

De tal forma que en una representación de un organismo modelo es compatible tener por una parte un organismo que en algunos aspectos cumpla una función como modelo experimental relacionada con la tipicidad entorno a ciertas características y por otra parte un organismo que es atípico o excepcional en torno a otras características. En *Arabidopsis* cuya representación como organismo modelo muestra que en unos aspectos constituye una planta típica o representativa y en otros aspectos constituye una planta excepcional por ejemplo respecto a su genoma.

La representación del organismo modelo es compleja en el sentido de que no se trata de decir que los organismos modelo son elegidos por su valor como

representantes típicos de una clase de organismos o por sus cualidades en el desempeño experimental. Tampoco debe constituir un problema pensar en que la atipicalidad en ciertas características que son razón importante en su elección sea un aspecto contradictorio en tal búsqueda. De tal forma que en una representación de un organismo modelo es compatible tener por una parte un organismo que en algunos aspectos cumpla una función como modelo experimental relacionada con la tipicalidad en torno a ciertas características y por otra parte un organismo que es atípico o excepcional en torno a otras características. Tales objetivos no son pues incompatibles en muchos casos siendo la idealización parte fundamental de tal estrategia experimental.

Los organismos modelo pueden ser ideales en dos sentidos distintos, por un lado típicos representando lo ideal encarnado en una entidad, por otro lado excepcionales en ciertas características representando lo ideal en el sentido de alejarse de lo comúnmente encontrado. Si la representación que tenemos del organismo contiene estos tipos de características habría dos formas de accionar distintas. Por un lado la selección de un organismo modelo puede estar influenciada por la búsqueda de la tipicalidad del mismo. Por otro lado la selección de un organismo modelo puede estar constituida en parte por la búsqueda de características conspicuas que son más cercanas a una excepcionalidad.

Conclusiones

El papel de las características atribuidas a los organismos modelo constituyen el tema de muchas discusiones sobre el estatus de tales organismos. Un breve análisis a diferentes estudios de caso sobre organismos modelo permite ver cómo cada autor da un tratamiento diferente a las características correspondientes a los organismos y su papel dentro de la explicación sobre el éxito o estatus de los organismos experimentales como organismos modelo. En especial mi interés se centra en entender el papel de características conspicuas en cada organismo modelo, como las denomino. En este trabajo menciono a Bahls, Weitzman y Gallager (2003) quienes distinguen entre características comunes y únicas en los organismos modelo. Mi recuento parte de considerar los organismos modelo como un conjunto de características que conforman una representación. En primer lugar digo que tal representación es consecuencia de un proceso de selección de un organismo particular con ciertas características de interés lo cual se construye a través de la manipulación con los organismos experimentales. Esta representación está conformada por características del organismo, entre éstas están las características comunes y las características conspicuas. Las características comunes son en este recuento las que constituyen un común denominador en todos los organismos modelo utilizados y que son importantes en el desempeño de un organismo en el ámbito experimental, tales características son: los ciclos de vida corto, la disponibilidad del organismo, tamaño pequeño, tasa de reproducción alta, distribución amplia en diferentes ecosistemas. Las características conspicuas van a ser aquellas que corresponden de manera única al organismo modelo en particular y son sobresalientes en la forma como se pueden presentar en otros organismos. La construcción de tal representación implica principalmente una actividad de selección de organismos con ciertas características, entre estas están las características conspicuas. En segundo lugar afirmo que tales características tienen una relación con un grado de perfección, de manera que la transparencia en el cuerpo del nematodo *C. Elegans* puede ser considerada una cualidad sobresaliente entre muchos organismos manipulados y es una característica más

perfecta que otras encontradas en otros organismos respecto a ciertos propósitos investigativos y un conjunto particular de preguntas relacionadas con fenómenos biológicos de interés. Este grado de perfección puede ser visto como una idealización ya que un grado de perfección puede ser entendido como un alejamiento de las características comúnmente encontradas. En tercer lugar, digo que si la representación que tenemos del organismo contiene estos tipos de características habría dos formas de accionar distintas. Por un lado, la selección de un organismo modelo puede estar influenciada por la búsqueda de la tipicidad del mismo. Por otro lado, la selección de un organismo modelo puede estar constituida en parte por la búsqueda de características conspicuas que son más cercanas a una excepcionalidad. Los organismos modelo pueden ser ideales en dos sentidos distintos, por un lado típicos representando lo ideal encarnado en una entidad, por otro lado excepcionales en ciertas características representando lo ideal en el sentido de alejarse de lo comúnmente encontrado.

Referencias

Ankeny, R. (2006): "Wormy logic: model organisms as case-based reasoning". Working papers on the nature of evidence: How well do facts travel?. N. 7/06.

Bahls, C., Weitzman, J. y Gallager, R. (2003): "Biology's models". *The Scientist*, 17 (supplement 1), 2 June.

Bier y McGinnis. (2003): "Model organisms in the study of development and disease". En: *Basis of inborn errors of development*. Eds. Epstein, R.P. Erickson, A. y Wynshaw-Boris. Oxford University Press.

Burian, R. (1993): "How the choice of experimental organism matters: epistemological reflections on an aspect of biological practice". *Journal of the history of biology*. Vol. 26. N. 2. pp. 351-367.

Creager. (2002). *The life of a Virus: Tobacco Mosaic Virus as an experimental model, 1930-1965*. The university of Chicago Press.

Harré, R. (1989): "Idealization in scientific practice". *Poznan Studies Philosophy of the Sciences and the Humanities*. Vol. 16, pp. 183-191.

Kellogg, E. y Shaffer, B. (1993): "Model organisms in evolutionary studies". *Systematic biology*. 42(4):409-414.

Kohler, R. (1994). *Lords of the Fly: Drosophila, genetics and the experimental life*.

Leonelli, S. (2007). *Weed for Thought: using Arabidopsis thaliana to understand plant biology*. Doctoral Thesis. Vrije Universiteit. Amsterdam.

Lieschke, G. y Currie, P. (2007): "Animal models of human disease: zebrafish swim into view". *Nature reviews*. Vol. 8.

Meinke, D., Cherry, M., Dean, C., Rounsley, S. y Koornneef, M. (1998): "Arabidopsis thaliana: a model plant for genome analysis. *Science*. 662-682.

Radder, K. (2004): *Making mice*. Princeton University Press.