

Biología de sistemas y biología sintética como tecnociencias emergentes*

Systems and synthetic biology as emerging technosciences**

KAREN KASTENHOFER

Institut für Technikfolgen-Abschätzung, Österreichische Akademie der Wissenschaften

RESUMEN. La biología de sistemas y la biología sintética pueden ser consideradas como ejemplos de tecnociencias emergentes. Están esencialmente marcadas por promesas de futuro y por visiones, por una cierta lógica y uso de términos, por determinadas formas de organización social, por la integración en un régimen específico de fomento e innovación, así como por una matriz característica de orientaciones para la praxis de investigación. Esta constitución específica de la biología de sistemas y de la biología sintética tiene, por su parte, consecuencias fundamentales para la práctica científica, su análisis y su gobierno.

Palabras clave: biología de sistemas; biología sintética; tecnociencia; cultura tecno-epistémica; comunidad tecno-epistémica.

ABSTRACT. Systems and synthetic biology can be understood as emerging technosciences. Both are characteristically shaped by promises and visions, a certain logic and function of labelling, specific forms of social organisation, an embedding in specific regimes of funding and innovation as well as a characteristic matrix of orientations within research practice. This characteristic constitution of systems and synthetic biology has fundamental consequences for scientific practice, its analysis and its governance.

Key words: systems biology; synthetic biology; technoscience; techno-epistemic culture; techno-epistemic community.

1. INTRODUCCIÓN

La biología de sistemas y la biología sintética representan dos campos de investigación que cristalizan en torno al último cambio de siglo. En muchos aspectos pueden ser consideradas como representantes de una forma específica

* Trad. del alemán de José A. Zamora.

** El presente artículo se basa en el proyecto de investigación “(Techno)epistemische Kulturen der Lebenswissenschaften im 21. Jahrhundert” [Culturas (tecn)epistémicas de las ciencias de la vida en el siglo XXI], octubre 2014-septiembre 2018, financiado por los Fondos para la Promoción Científica de Austria-Österreichischer Wissenschaftsfonds (FWF).

Copyright: © 2016 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución *Creative Commons Attribution* (CC-by) España 3.0

de ejercer la ciencia, que ha de ser contemplada bajo la categoría de “tecnociencias emergentes”. Su caracterización como “emergentes” apunta a un cierto carácter procesual, pues en la representación de ambos campos nos encontramos a menudo aún con un índice temporal, un “todavía no”, con visiones, paradigmas y promesas para orientar la actuación, con la calificación de campos de investigación y disciplinas “todavía jóvenes”. A las características específicas que poseen en cuanto tecnociencias hay que añadir una lógica particular de conceptualización, un desacoplamiento entre la denominación y la organización social, la inserción en un régimen específico de financiación, la integración en un amplio desarrollo de la *Big Science* en las ciencias de la vida (grandes proyectos como principio de organización, multidisciplinariedad, una praxis cotidiana de investigación impulsada por la técnica y los datos) y, unido a ello, un reajuste de las “orientaciones primarias de actuación” en la praxis de investigación, así como un reajuste de la asignación de función social en el discurso de política científica.

En resumen, lo que hoy se practica bajo el enunciado de investigación tiene que volver a ser explicado (de nuevo) – especialmente en los campos como la biología de sistemas y la biología sintética, que en cuanto formaciones de nuevo cuño representan nuevos paradigmas de investigación y pueden desembarazarse (o presumen de desembarazarse) (más) fácilmente –quizás también de manera (más) explícita– del lastre de viejas tradiciones.¹ Esto vale tanto para contextos intracientíficos como extracientíficos. La realización de la ciencia y de su relación con la sociedad ya no puede seguir rutinas explícitas o implícitas sin tener problemas. Lo cual se refleja en un malestar experimentado en todos los ámbitos (ciencia, política científica, esfera mediática), que ya no puede comprenderse adecuadamente en marcos argumentativos tradicionales como, por ejemplo, el de la crítica clásica y la exigencia de regulación de la investigación en cuanto que entraña riesgos o no es ética, y solo aparentemente es recogido en empeños actuales como, por

¹ Existen dos relativizaciones dignas de consideración en relación con la significación y el alcance del concepto de tecnociencia. Por una parte, se puede discutir si la tecnociencia es “nueva” o si estuvo presente desde siempre (en forma comparable) – si hay que registrar o no una, como suele llamarse, “ruptura epocal” en la historia de la ciencia y la técnica (cfr. Forman 2007). En segundo lugar –y esto se puede conectar con el primer argumento–, no está claro si la tecnociencia apunta a la descripción de la constitución de un tipo específico de investigación o si representa un marco interpretativo diferente del mismo tipo de investigación (paradigmático en este sentido: Hacking 1983); en definitiva, si se trata de prácticas de investigación esotéricas o de una comprensión externa de la investigación. Me gustaría arriesgar aquí un posicionamiento discutible, esto es, que el concepto puede representar con justicia una ruptura epocal; de manera más precisa: una ruptura en el plano discursivo y un cambio consecutivo de época en el plano práctico e institucional.

ejemplo, la que podría llamarse epidemia de participación en el plano nacional e internacional. No en vano, está llevando a esfuerzos explícitos por renegociar la relación entre ciencia y sociedad y, especialmente, el “contrato social” que le sirve de fundamento.²

En lo que sigue se ilustrarán y se discutirán detalladamente las características universalizables de la biología sintética y la biología de sistemas. Al hacerlo me referiré sobre todo a ejemplos empíricos tomados de la biología de sistemas. Estos raramente se discuten en la bibliografía secundaria y, aunque esté menos aparentemente conectada con el concepto de tecnociencia, realmente puede ilustrar muy bien este concepto. El material utilizado comprende 38 entrevistas semiestructuradas³, observación participativa e investigación documental en Austria, Alemania y Gran Bretaña en el marco de los proyectos “Towards a Holistic Conception of Life?” (2010-2013) y “Culturas (tecno)epistémicas de las ciencias de la vida en el siglo XXI” (2014-2018). La bibliografía de referencia para los diferentes aspectos concretos completa el análisis con base empírica que abarca cuestiones de la praxis, de la organización y de la representación discursiva. En la discusión final volveré a abordar otra vez lo que podría ser la relevancia de la forma transformada de practicar, organizar y representar la investigación en la ciencia, la investigación sobre la ciencia y el gobierno de la ciencia.

2. “WHAT’S IN A NAME?” *BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y BIOLOGIA SINTÉTICA COMO CONCEPTOS*

Poner nombre a nuevas actividades de investigación no es un asunto trivial. Al menos eso se percibe sin dificultad en ambos estudios de caso. Ya existen análisis relativos a la historia de los nombres de ambos campos (p.ej., respecto a la biología sintética, Bensaude-Vincent 2013, respecto a la biología de sistemas, Powell et. al. 2007⁴). En lugar de poner el acento en la denominación de disciplinas

² Con diferentes orientaciones, Gibbons (1999) y Lubchenco (1998) representan de modo paradigmático la repetida exigencia en la (política de) ciencia de conectar con imperativos sociales como la democracia y el desarrollo sostenible; Guston (2000) analiza el giro de política científica en los EEUU de los años 1980 y 1990; de modo semejante Demeritt (2000) comparando EEUU y Reino Unido; Winickoff et al. (2005) finalmente se centran en el cambio específico de la praxis de investigación en el ámbito del genoma y exigen una reformulación que ha de realizarse en un régimen de propiedad transformado.

³ Especialmente con representantes de la actual biología de sistemas, pero también con representantes de la biología sintética, biólogos y biólogas de anteriores generaciones de científicos y con personas expertas procedentes del ámbito del gobierno de la ciencia (financiación, evaluación y regulación).

⁴ Es interesante que en ambos estudios se ponga el acento en el papel de personas concretas a la hora de poner el nombre.

establecidas en la biología siguiendo los campos de objetos –como la botánica, la zoología o la microbiología⁵– en ambos campos la denominación apunta a un determinado enfoque –el sistémico o el sintético–, que después, al menos teóricamente, se puede aplicar a todos los campos de objetos biológicos.

La definición del ámbito de investigación está vinculada con la denominación. En contraposición con la denominación orientada por el campo de objetos (que puede apelar a la evidencia de la definición de plantas, animales o microorganismos en cuanto objetos de investigación), esa cuestión se vuelve aquí esencialmente más frágil –¿qué significa “sistema” o “sintética”?–. A eso se añade que la definición tiene que estar a la altura de un espacio de comunicación multidisciplinar, lo que erosiona los marcos de comprensión compartidos. Actualmente existe un consenso amplio, por un lado, sobre la (aceptable) falta de definiciones unitarias y claras (cf. p.ej., Nature Biotechnology 2009) y, por otro, sobre ciertos usos establecidos de definición. De manera que, la mayoría de veces, en la definición de la biología de sistemas se sigue una vía histórica que apunta a un desarrollo impulsado por los datos y la técnica proveniente de la investigación sobre el genoma⁶; de igual manera se tiene por válida la acentuación de unos “bucles (loops) iterativos” interdisciplinares entre el experimento de laboratorio y la modelización teórica como paradigma metodológico. A ello se unen la referencia a concepciones *top-down*, *bottom-up* y *middle-out* (“escuelas” particulares) y los proyectos insignia como la modelización *in silico* de células “completas” (cf. Vermeulen 2011), órganos o incluso organismos.⁷ Por el contrario, no existen irrupciones epistémicas o técnicas indiscutibles cuyo efecto en ambos ámbitos pudiera ser el de darles su identidad.⁸

En conexión con la lógica de caracterización basada en el enfoque se puede observar también una consideración explícita de paradigmas y visiones en el discurso sobre la investigación (Powell et al. 2007, Kastenhofer 2013c), que se conecta con la lógica específica del régimen reciente de financiación (sobre esto vol-

⁵ Resulta reseñable que en la biología no es frecuente una división fundamental en “teórica” y “experimental”, como en la física, o en “pura” y “aplicada”, como en la matemática.

⁶ La referencia a desarrollos científicos anteriores y a otras especialidades proviene casi exclusivamente de no-biólogos: de la química teórica o la matemática. *Post factu* se iguala la biología de sistemas con la fisiología “tradicional”.

⁷ La referencia a la “totalidad” en el sentido de “generalidad” (en menor medida y frecuentemente de manera controvertida en el sentido de holismo) juega efectivamente un papel considerable en la representación de la biología de sistemas.

⁸ Cf. p.ej., comentarios como “*I can't point to a single great discovery in this field – synthetic biology is really more about a redefinition of biotechnology.*” (Andrew D. Ellington en *Nature Biotechnology* 2009:1071). La producción semi-sintética de artemisininas quizás puede considerarse una excepción (cf. Paddon & Keasling 2014).

veré más adelante). Además, una formación de los conceptos “contrapuesta” a las categorizaciones tradicionales lleva a complicaciones en la clasificación de los nuevos planteamientos en tanto que disciplina y comunidad científica independiente en el canon actual de disciplinas. La “biología de sistemas” no puede representar otra disciplina o subdisciplina junto a la zoología, la botánica o la microbiología, si es que quiere ocuparse (potencialmente) de todos los campos de objetos biológicos. Igualmente en la enseñanza solo se ha establecido en el ciclo de posgrado. Por tanto, solo puede agrupar una comunidad científica diferenciada más allá de los ciclos de estudios fundamentales y los límites de las disciplinas. La atribución de ser, por ejemplo, “bióloga de sistemas” compite siempre con otras posibles asignaciones como, p. ej., la de ser “botánica”.

Estas dificultades de clasificación y adscripción prolongan una senda iniciada con las denominaciones relativamente más antiguas de biología molecular y de genética (cf. Strasser 2002). En razón de su enfoque, ambas pudieron nivelar la diferencia y la diferenciación entre los campos de objetos de la antigua historia natural (reunidos hasta poco antes bajo el término de biología). De un lado, los objetos de todos los campos disponen de células y genes, de otro lado, con frecuencia se investiga sobre un objeto (en cuanto organismo modelo) desde el punto de vista molecular o genético para averiguar algo sobre otros objetos en parte muy alejados taxonómicamente o para quedarse finalmente en el plano teórico general “sin objetos”. Con la aparición de organismos modelo instrumentales, no solo se ha separado sustancialmente el objeto de conocimiento del objeto de investigación, sino que también ha surgido una nueva forma de formación de comunidades científicas –como la de los investigadores de la *drosophila* o la *arabidopsis*, que solo se interesan por las moscas de la fruta o los berros de campo en cuanto estructuras funcionales modélicas⁹–.

No puede extrañar que, en las entrevistas realizadas, la referencia a los conceptos de la biología de sistemas y la biología sintética generalmente acabe por requerir aclaraciones. Esto no solo afecta a la significación del concepto y a su “uso inapropiado” como “palabra de moda” sin contenido, sino también a cuestiones de la propia identidad. Por ejemplo, a lo largo de una misma entrevista, un científico se denomina a sí mismo no solo “biólogo de sistemas”, sino también “químico de formación”, “como bioquímico”, como “biólogo molecular propiamente hablando” y finalmente “también en cierto sentido [como] orgánsmico”¹⁰. Al mismo tiempo ostenta funciones en redes internacionales de investigación sobre organismos ómicos y prototípicos y supedita su trabajo en

⁹ Para esto puede resultar prototípico eventualmente el “Grupo Fago”, que se compone principalmente de no-biólogos y no-biólogas.

¹⁰ “... porque yo aplico esas tecnologías en determinados organismos.” (I 6)

grandes proyectos internacionales a los planteamientos específicos y en parte también al parque local de equipos disponibles.¹¹ Prácticamente ninguno de los entrevistados se autodenomina exclusivamente “biólogo de sistemas” o “biólogo sintético”. La inclinación o el rechazo a denominarse así depende de otro componente esencial: la funcionalización del concepto como etiqueta (label), que refleja las singularidades del actual régimen de financiación.

3. ¿CAMPO DE INVESTIGACIÓN O CAMPO DE FINANCIACIÓN? BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y BIOLOGÍA SINTÉTICA COMO ETIQUETAS

Hace ya tiempo que la categorización de los campos de investigación no solo sirve a objetivos internos de organización de la enseñanza y la investigación en instituciones científicas o a objetivos de comunicación pública en los medios. Con la centralidad que hoy tienen los denominados “fondos de terceros” para financiar las actividades de investigación ha crecido masivamente el influjo de la política de financiación sobre la ciencia. Sin embargo, las dimensiones y la profundidad de este influjo apenas han sido analizadas. Esto podría tener que ver (como también la falta de conciencia para otros desplazamientos fundamentales en las últimas décadas) con la falta de diálogo intergeneracional dentro de la ciencia, algo que se vislumbra en mis entrevistas. Hace ya tiempo que la biología de sistemas y la biología sintética ya no designan solo campos de investigación y especialidades de posgrado, sino ante todo quizás campos de financiación. Representan etiquetas que pueden hacer suyos los programas de financiación y que en definitiva están entretejidos con modas discursivas. En ese sentido es en el que se habla de “buzzwords”, “rebranding”, “jumping on bandwagons” y “bubbles, that may burst” (cf. entrevistas y también comentarios en revistas especializadas como *Nature Biotechnology* 2009).

Para poder comprender esta situación resulta útil diferenciar entre diversos modelos de financiación (cf. Blümel 2011): la financiación de la ciencia o en general de las actividades de I+D siguen modelos diferentes. Las *agencias de financiación de investigación bottom-up* como el Fondo Austriaco para la Ciencia (FWF) o la European Research Council (ERC) de la UE toman sus decisiones de financiación en función de la valoración de solicitudes individuales a través de Peer Review. Categorías disciplinares solo juegan un papel indirecto en la elección de los evaluadores. También otras categorizaciones de la investigación son secundarias. Se financia aquello que es evaluado por los peers científicos como especialmente positivo. *Agencias y programas de financiación orientadas a un objetivo* definen en su mayoría un problema social general que debe ser abordado

¹¹ Con lo que no solo se vuelve precaria la adscripción personal a la biología de sistemas, sino a todos los conceptos de órdenes científicos.

en la investigación a financiar. La investigación orientada a objetivos se financia a escala nacional (por ejemplo, a través de la Sociedad Austriaca del Fomento de la Investigación, FFG) e internacional (como ocurre de modo creciente por los programas marco de la EU). De esta manera ha de posibilitarse una investigación que contribuya al bien común (competitividad, sostenibilidad, salud) y que de lo contrario quedaría descuidada. Junto a los criterios de valoración de la calidad científica aparece el criterio de la plausible contribución al objetivo especificado de carácter no científico. Estos dos modelos abarcan la representación clásica de la financiación de la investigación.

En el presente contexto resulta importante hablar sobre otro modelo, que en principio parece ser una mezcla de los dos primeros (cf. Kastenhofer et al. 2012): *iniciativas de financiación orientadas a etiquetas* apuntan a campos o enfoques de investigación concretos y poseen una referencia implícita o directa a un objetivo o tarea concretos. Ejemplos de esto serían la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de EEUU, pero también las iniciativas británica y alemana de financiación de la biología de sistemas y de la biología sintética¹², o la iniciativa austriaca para financiar la investigación del genoma GEN-AU. Junto al criterio de valoración de la calidad científica aparece aquí el criterio de selección de la pertenencia a un campo determinado de investigación. Que el campo de investigación merezca ser financiado es algo que se discute en otro ámbito, esto es, en la antesala del desarrollo del programa. En el contexto del modelo de financiación orientado a etiquetas resultan imprescindibles dos estrategias discursivas: los investigadores y las investigadoras individuales deben argumentar de manera creíble que ellos o su trabajo se inscriben en un determinado campo y, en segundo lugar, deben aparecer como lobby de ese campo y convencer a los financiadores de que ese campo de investigación es *per se* útil para el objetivo específico y, por tanto, debe ser antepuesto a otros campos. Este doble despliegue de construcción discursiva es lo que hace retroceder a ciertos científicos ante el uso de una etiqueta de ese tipo y lo que atrae y consigue conectar a otros como jugadores activos.¹³

¹² Anteriores iniciativas alemanas de financiación se dirigían a la biónica, la cibernética y la inteligencia artificial (cf. Aumann 2011).

¹³ “Esto es también uno de los problemas más grandes de la biología de sistemas *per se*. Ahora hay más biólogos de sistemas en el mundo que investigadores, porque de pronto cualquiera es un biólogo de sistemas, porque la gente se ha dado cuenta de que ahí hay una presión política muy fuerte por invertir dinero. En principio eso también es bueno. Así es como funciona en el ámbito de la UE y así es como funciona en el ámbito nacional. Pero mucho de lo que se hace no tiene nada que ver con biología de sistemas.” (I 7) Mi material empírico sugiere que en diferentes países se aborda esta circunstancia de manera diferente. En Austria los científicos y científicas la usan para evitar esa etiqueta; en Gran Bretaña y Alemania, por el contrario, no existe ningún temor al contacto, y las etiquetas se usan de manera bastante más natural. A esto se suman estructuras de política científica y panoramas de financiación diferentes.

Austria ofrece el ejemplo de un país en el que no se han desarrollado iniciativas de financiación de la biología de sistemas y de biología sintética (cf. Kastenhofer et al. 2012 para una presentación detallada). Por una parte, hasta la fecha no se ha realizado ningún trabajo exitoso de lobby para esa etiqueta¹⁴; por otra parte, a consecuencia de esto, el uso de la etiqueta no se puede traducir en capital de financiación. Los científicos y científicas residentes en Austria tratan el concepto de biología de sistemas de manera vacilante. Si se prescinde de dos profesores individuales, no hay instituciones (redes o centros de investigación) que recojan ese concepto en su denominación¹⁵. En las entrevistas la mayoría de científicos y científicas se resiste a autodenominarse biólogos o biólogas de sistemas, y a menudo señalan que una adscripción de ese tipo sería “excesiva”, o rechazan ese concepto como “palabra de moda” sin contenido. Reacciones parecidas se encuentran en entrevistas con científicos residentes en Alemania o Gran Bretaña; pero esas reacciones se ven compensadas por un optimismo generalmente mayor en relación con las oportunidades de éxito del proyecto colectivo de la biología de sistemas (aunque siga sin precisarse mucho de qué tipo de éxito se trata).

Aunque el material empírico disponible no permita esclarecer las causalidades reales y los factores efectivos en los entramados nacionales de política científica, además de la relevancia del régimen de financiación para la creación y uso de los conceptos, resulta reseñable otro aspecto: la financiación de la biología de sistemas y de la biología sintética, organizada fundamentalmente a escala nacional (lo que apunta dentro de la orientación hacia un objetivo de hacer más competitivos los sistemas nacionales de innovación), lleva a un increíble aumento de la significación del plano nacional en la ciencia. Las comunidades científicas convergen en actividades de lobby comunes de carácter nacional, se organizan a través de programas nacionales de financiación a nivel nacional y las potenciales cooperaciones transnacionales también dependen de decisiones nacionales (por ejemplo, a través de la participación en los programas de la ERA-NET de la UE). Así, también en las entrevistas, junto a los planteamientos propios de personas e institutos, cuando se trata de describir la situación de la investigación en biología de sistemas, un punto de referencia esencial es el plano nacional.

¹⁴ Ciertamente se puede preguntar por qué. Junto a la atribución (no comprobada) de que los científicos austriacos son más bien conservadores conceptualmente hablando, habría que pensar que en Austria posiblemente falta la masa crítica de científicos y científicas de las correspondientes disciplinas y, más allá de ello, los presupuestos de financiación en general son muy escasos (tras la finalización de la iniciativa de la GEN-AU no existe en este momento en biología ninguna vía de financiación orientada por una etiqueta (label)).

¹⁵ Una excepción reseñable representa el “Center for Organismal Systems Biology” (COSB), que, sin embargo, debe ser visto más bien como una contra-iniciativa frente a la corriente molecular mayoritaria establecida en la biología de sistemas.

4. *BIOLOGÍA SINTÉTICA Y BIOLOGÍA DE SISTEMAS COMO “COMUNIDADES SIN MIEMBROS”*

Las circunstancias descritas aquí, la formación de conceptos guiada por el enfoque y el uso de conceptos guiado por los financiadores, están vinculadas estrechamente a la pregunta por la formación y constitución de las comunidades científicas, que están relacionadas con esas dos etiquetas. Ambas circunstancias se disocian de la socialización durante el estudio que configura y estabiliza la comunidad científica, tal como todavía fue esencial para las (sub)disciplinas de la segunda mitad del siglo XX. Hasta hoy, el estudio de la biología en Viena está dividido en una fase común de iniciación para todos los aspirantes a biólogos y biólogas y una fase de especialización para las áreas de estudio de antropología, botánica, biología genética y microbiología, ecología, paleobiología y zoología. La dirección responsable del programa define el objetivo programático de la fase de iniciación al estudio de la siguiente manera:

Los graduados y graduadas del primer tramo de estudios están familiarizados con la forma de pensamiento y observación biológicos, el uso del lenguaje biológico y las características esenciales de las subdisciplinas biológicas. Se han apropiado de una visión general suficiente del área general de la biología, para poder tomar una decisión sobre uno de los estudios especializados ofrecidos en el segundo tramo de estudios.¹⁶

Así pues, han de ejercitarse en formas generales de pensamiento, modos de observación y usos lingüísticos genéricamente “biológicos” y más tarde complementarlos por medio de “contenidos teóricos de conocimiento”, “destrezas” y “profundizaciones” en las áreas especializadas de estudio y finalmente trasladarlos a trabajos autónomos (ibíd.). Este planteamiento didáctico representa la situación de una biología unificada, que se guía por cuestiones genéricamente biológicas y se va subdividiendo, como quien dice, a través de nuevas especializaciones referidas a diferentes objetos. De poco sirve esto para una socialización e inculcación en un enfoque inespecífico respecto a un tipo de objetos, como es el caso de la biología de sistemas o la biología sintética, y tampoco refleja la cotidianeidad de la investigación de hecho fuertemente marcada por habilidades técnicas, datos disponibles y proyectos financiables. Efectivamente se van perdiendo los planteamientos genéricos en biología y también los específicos de especializaciones y subdisciplinas. No solo faltan cada vez más profesores que den (o puedan dar) clases de “biología general”, sino también

¹⁶ <http://www.wegweiser.ac.at/univie/studieren/lewi/A437.html?klapp=7>, consultado el 8 de junio de 2015.

aquellos que den (o puedan dar) clases de “ecología general” o de “zoología general”, y con ello la opción realista de un aseguramiento de formas generales de pensamiento, de modos de observación y de usos lingüísticos que sean transversales a las generaciones de científicos y científicas. A esto se une que, en la actualidad, el estudio de la biología en Viena está escindido significativamente en un estudio de biología y un estudio de biología molecular.

La situación se vuelve todavía más complicada por la centralidad que posee la interdisciplinariedad en la biología de sistemas y la biología sintética. De ese modo, la función de formar y estabilizar una comunidad científica, característica de la formación de los jóvenes investigadores, apenas puede incidir en la biología de sistemas y la biología sintética, o bien se pone en marcha muy tarde, esto es, en el posgrado.¹⁷ Da la impresión que alguien se convierte en biólogo de sistemas o en biólogo sintético no *a través* de la carrera universitaria, sino *a pesar* de ella. Por supuesto, la biología sintética intenta cerrar este “vacío en la socialización” por medio de iniciativas como iGEM*. La identificación de los científicos y científicas jóvenes con la biología de sistemas y con la biología sintética después de participar en las correspondientes ofertas de posgrado también es relativamente más alta que entre sus viejos colegas. Otras ocasiones para formar redes pese a ese trasfondo individualizante se encuentran en el intercambio de conocimiento, de *know-how* y de visiones en la praxis de investigación a nivel de posgrado (a través de proyectos comunes, congresos, revistas), así como también en la mencionada necesidad de hacer lobby en favor del propio planteamiento frente a financiadores potenciales.

En última instancia estos son los lugares en los que también se realiza y/o negocia lo que es la biología de sistemas y la biología sintética, aunque la praxis cotidiana de investigación, con sus exigencias específicas, apunte más bien a la diversificación que a la formación de una comunidad científica. Correspondientemente alta es la participación en los esfuerzos para formar esa comunidad en la producción bibliográfica sobre evaluación y financiación. El vínculo discursivo en esas presentaciones hay que buscarlo generalmente en el plano de las visiones. Se moviliza una plétora de vocablos que hacen referencia a ese plano: “*approach*”, “*perspective*”, “*vision*”, “*paradigm*”, “*view*”,

¹⁷ Lo que queda fuera de la socialización universitaria es una idea de aquello que pueda ser “una cuestión biológica”. Pues mientras que pueden suministrarse métodos, habilidades, lenguaje o paradigmas provenientes de diferente ámbitos, para todos los biólogos y biólogas de sistemas sigue valiendo como esencial que con su investigación se abordan “cuestiones biológicas” (independientemente de cómo se definan esas cuestiones, cf. más abajo las citas de I 29).

* La Fundación iGEM se dedica a la educación, la competitividad y la promoción de la biología sintética, así como al desarrollo de una comunidad científica abierta y de colaboración [nota del trad.].

“project”, “focus on [the development of well-characterized parts]”, “type [of research]”, “moving towards [a specific goal]”, “effort to apply engineering principles” o “immediate goals” y “ultimate goal” (cf. Nature Biotechnology 2009). El plano visionario implica un discurso sobre ideales que todavía no se han alcanzado o nunca podrán ser alcanzados y una cierta aceptación de la tensión resultante entre la sobria realidad y la meta visionaria.

Hemos tenido a doscientas personas en una gran discusión de tres hora [sobre la meta de modelar] The Virtual Human. Gente que realmente proviene de la especialidad y que discute en qué medida es realista prometer The Virtual Human. Existe una sociedad internacional que ha sido fundada y que tiene como objetivo prometer The Virtual Human. Y mucha gente del campo de la especialidad cree que esto es extremadamente dañino. Precisamente porque detrás de esto hay infinidad de promesas que no pueden ser cumplidas. Y, por desgracia, habría que dar un paso atrás y decir no, no podemos todavía. Hay que asumir que no estamos de momento en condiciones de hacerlo. Pero quizás pueda realizarse en algún momento. Esto no quiere decir que haya que parar la investigación. Al contrario. Ahora hay que activarla mucho más para alcanzarlo. Yo debo ser cuidadoso con aquello que prometo. (I 7).

El hecho de que se desplace la creación de identidad al plano visionario también coloca en el foco de atención la cuestión de la orientación primaria del negocio de la investigación (sobre lo que volveré más abajo), puesto que no existen bases alternativas que sirvan para guiar la investigación cotidiana (junto a puntos de vista pragmáticos como la capacidad técnica de realización o la disponibilidad de datos). De modo que la biología de sistemas y la biología sintética representan formas específicas de formación de comunidades científicas y no puede extrañar que en las entrevistas las referencias a personas centrales, planteamientos y bibliografía en la biología de sistemas varíen considerablemente y que a falta de clasificaciones endógenas y exógenas unitarias e inequívocas la biología de sistemas pueda parecer como una “comunidad sin miembros”.

5. LA BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y LA BIOLOGÍA SINTÉTICA COMO “DISCIPLINAS CON FECHA DE CADUCIDAD”

El establecimiento de la biología de sistemas y de la biología sintética sigue un modelo de ciencia que se corresponde en lo esencial con las características de “Big Science” (cf. Vermeulen 2009) y que se ha incorporado a la biología más tarde (y con otra cualidad) que a la disciplina emblemática de la teoría clásica de la ciencia, la física (Vermeulen et al. 2010). La investigación se realiza en

grandes proyectos internacionales en colaboración (cf. Vermeulen et al. 2013), que construyen redes temporales y frente a los que pasan a un segundo plano los individuos (o incluso las antiguas cátedras de la Europa continental), las comunidades disciplinares y las instituciones locales (lo que influye a su vez sobre la relación de investigación y enseñanza y transforma la significación de las disciplinas). La investigación se realiza además en las constelaciones más variadas de actores públicos y privados y en un amplio espectro de instituciones híbridas (para la biología en general, Shorett et al. 2003; para la biología de sistemas, Thiel 2006; para la biología sintética, Rai et al. 2007; para ambas, Calvert 2008). En resumen, la organización de las tecnociencias emergentes sigue nuevas lógicas: la configuración colectiva no se consigue solo a través de las carreras universitarias y las instituciones de investigación tradicionales, sino también a través de las visiones y colaboraciones multidisciplinares; la diferenciación no solo se consigue a través de una especialización creciente en subdisciplinas basadas en un objeto, sino también por medio de una ampliación del espectro de formas de institucionalización, de la orientación por tecnologías más variadas y yacimientos de datos y por medio de una praxis cotidiana de investigación en forma de proyectos. Con esto último se produce una transformación de la temporalidad de la institucionalización de la investigación: los proyectos de investigación y últimamente también los centros de investigación están sometidos al vencimiento (de la financiación).

Se pueden citar como paradigmáticos en relación con estos aspectos los seis grandes centros para “biología de sistemas integrativa” (CISBs) del BBSRC y EPSRC en Gran Bretaña, la Iniciativa HepatoSys y la Red Hígado Virtual así como la iniciativa Centros de Investigación de la Biología de Sistemas (FORSYS) del Ministerio de Educación e Investigación alemán y los programas de la ERA-Net: ERASySBio+, ERASyZMO, ERASysAPP y ERASCoSysMed. Todas estas iniciativas –estén dedicadas a la construcción de centros de investigación, a la constitución de redes de investigación o la financiación de proyectos individuales– tienen como objetivo la colaboración y están limitadas en el tiempo. El vencimiento temporal ha facilitado una transformación en el etiquetado del foco de financiación, por ejemplo, en los últimos años desplazándose de la biología de sistemas *per se* hacia las aplicaciones de la biología de sistemas (especialmente como medicina de sistemas) y la biología sintética. Sin embargo, esto significa también que se ha introducido la unidad de organización científica “(sub)disciplina con fecha de caducidad”.

Con esta praxis cotidiana de investigación impulsada por la tecnología y los datos no solo está conectado un fomento del corto plazo de las constelaciones de investigación, sino también una determinada lógica de innovación: la entrada de aparatos caros y de archivos voluminosos de datos en la biología es valo-

rado de un modo tan decisivo, que el mito colectivo fundacional se identifica principalmente con innovaciones en esos ámbitos. La creación de archivos de datos o el desarrollo de artefactos tecnocientíficos en sí mismos representan, además, una legitimación suficiente de los proyectos científicos (para lo primero resulta paradigmático el Proyecto Genoma Humano, para lo segundo quizás la célula *in silico* de la biología sintética o la *Cynthia* de Craig Venter). Datos, sistemas experimentales o actividades *proof of principle* son igualados o, al menos, equiparados con conocimiento (Kastenhofer 2013b: 19). De modo que se plantea la pregunta de si el supuesto siempre implícito en la modernidad de una orientación básica de la praxis científica hacia la obtención de conocimiento no ha sido sustituida hace tiempo por otras orientaciones rivales.

6. BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y BIOLOGÍA SINTÉTICA COMO CIENCIAS FUNCIONALES

La pregunta por la orientación básica de la praxis científica cuestiona nada menos que la concepción moderna de la ciencia. En la biología de sistemas y la biología sintética se manifiesta la lucha por arrancar a la naturaleza la verdad, o por responder a las cuestiones básicas que afectan a la naturaleza de la naturaleza, complementada¹⁸ por otros objetivos como el de la visión de construir naturalezas alternativas (o ampliadas), tal como aparecen en el contexto de la ingeniería de la biología sintética (Calvert 2013, Kastenhofer y Schmitt 2011, Kastenhofer 2013b, Kastenhofer 2013c) o también a través de establecimiento de un objetivo de momento instrumental como la producción de una célula *in silico* que, sin embargo, se vuelve finalmente en un fin en sí mismo.

Así que en las exposiciones de los biólogos y biólogas de sistemas y sintéticos entrevistados se habla explícitamente de guiarse por la curiosidad científica y las cuestiones biológicas (un topos que se ha estabilizado en los últimos tiempos considerablemente como *curiosity driven research* y que actúa produciendo estabilidad). Ese topos se puede diferenciar en una doble orientación –por un lado, la obtención de conocimiento y, por otro, la construcción–, para así resaltar la identidad singular de la biología sintética, o bien para caracterizar la biología de sistemas y la biología sintética como pareja de rivales. Algunas veces esto se ve complementado por objetivos sociales, sin que se puedan reconocer aquí modelos precisos. Además, unos científicos abogan por la investigación aplicada y una cooperación con empresas privadas, otros rechazan esto como algo que básicamente no es interesante.

¹⁸ En sentido estricto el discurso sobre la naturaleza ha sido sustituido completamente por el discurso sobre la biología.

Si se da un paso más en la interpretación del texto, la cuestión se vuelve un grado más complicada: no es solo que aparezcan los intereses individuales bien conocidos por la sociología de la ciencia (la ambición de capital social, cultural y económico), sino que también la orientación por el conocimiento o la construcción se revela demasiado genérica para explicar semejanzas y diferencias en la praxis de investigación. Lo que el investigador o la investigadora singular consideran obtención de conocimiento o construcción se rige por paradigmas diferentes –y eso dentro de mismo campo de investigación, en científicos y científicas de la misma “disciplina troncal” y sin evocar conflictos visibles. De esta manera resume un entrevistado el planteamiento de la biología sintética como siguiendo un paradigma químico, el “razonamiento sintético-constructivo”. En ese paradigma se difuminan las fronteras entre comprender, construir y “hacer manejable” (de manera semejante al modelo de ciencia diseñado por Bacon), entre investigar y jugar, entre entendimiento e intuición a través de una focalización en el “funcionar” mecanístico de la célula:

Porque en última instancia se quiere averiguar *cómo funciona la célula*. Y este planteamiento de la cuestión solo puede resolverse en conexión con planteamientos evolutivos. En consecuencia he de poder plantear de alguna manera la pregunta de si la red, tal como yo la veo, es robusta. Y por qué es robusta. Y si es óptima. Y si no es *óptima en un sentido técnico*, si hay razones concretas de por qué la naturaleza hace aquí un *trade off* entre lo óptimo y la *funcionalidad* de la red. Posiblemente se pueda ampliar más fácilmente la red a través de la evolución, si no es completamente óptima, y así sucesivamente. Todo esto son planteamientos muy muy importantes, que hay que abordar para comprender por qué los organismos vivos están *construidos* de esa forma específica y no de otra manera. (...)

En la química también se ha visto esto. El ejemplo clásico que siempre se menciona es Wöhler, que fue el primero en *construir* por primera vez una molécula orgánica a partir de sustancias anorgánicas. Y en ese momento los químicos han descubierto que no es suficiente con establecer grandes sistemáticas, es decir, hacer la tabla periódica de los elementos y estudiar las propiedades y hacer sistemáticas gigantes, tal como lo hace hoy en gran medida la biología, sino que es extremadamente importante asumir *ese razonamiento sintéticamente constructivo*. Por tanto, intentar *construir* moléculas y en ese proceso, cuando se intenta construir moléculas, se *aprende* mucho más sobre cómo se comportan los átomos singulares y cuándo se producen nexos estables, y así sucesivamente, (...)

Y justo este planteamiento es el que sigue también la biología sintética. Lo que desea es *aprender* a través de esa *construcción*, a través de ese planteamiento sintético, *cómo funcionan* los sistemas. Y *hacer manejables* los sistemas. (...) Y cuando se contempla la química, entonces se ve que [ha realizado] un desarrollo vertiginoso. (...) Y esto se ha producido en gran medida porque la gente simple-

mente ha intentado, ha *jugado*, esto es, *ha intentado construir algo*, y al hacerlo se han visto confrontados con problemas que a su vez han implicado nuevos conceptos. Y por este medio han tenido *una forma muy muy intuitiva* de aprender cómo *funcionan* las moléculas y como puedo yo *construir* moléculas. Y un planteamiento similar es el que se necesita también en la biología. (I 14)

El mismo interlocutor entrevistado contempla la biología de sistemas atrapada por un problema típicamente fisicalista:

Construir modelos es también algo constructivo, pero ahí tenemos también el problema de que hay que acertar con el nivel correcto de abstracción. Por tanto, si esto se vierte ahora en formalismos matemáticos, naturalmente hay que abstraer dejando mucho fuera que posiblemente juega un papel. Entonces nos volvemos a encontrar en el problema clásico de la física, en el que se puede describir el movimiento de los planetas en efecto de modo muy bonito por medio de ecuaciones abstractas, la ecuación de Newton, si se abstrae convirtiendo a los planetas en pequeños puntos matemáticos, y así sucesivamente; pero todos los fenómenos interesantes como las caídas de asteroides y demás, cuando se trata precisamente de que el objeto que se describe no es justamente un punto matemáticamente perfecto, sino que tiene asimetrías y demás, esto no puede ser explicado naturalmente de esa manera. Y necesita de nuevo una reducción del nivel de abstracción y nuevos métodos con los que poder contemplarlo. (I 14).

Como resultado se produce una distribución en nichos de los investigadores y las investigadoras individuales no solo o precisamente no por disciplinas, sino por paradigmas e intereses epistémicos, técnicos y sociales, que habitualmente se reflejan en la elección de los socios de cooperación y tienen efectos sobre dicha elección. Esa forma de distribución recuerda más a las diferenciaciones fundamentales tal como aparecen en la física y las matemáticas (en teórica y experimental, pura y aplicada) o a aquellas entre la biología académica y la biotecnología próxima a la industria, que a la diferenciación de la biología en subdisciplinas referida tradicionalmente a un tipo de objeto. Así, los biólogos y las biólogas sintéticos hablan de una “MIT-Bubble”, que en lo fundamental estaría formada por el Massachusetts Institute of Technology y el Imperial College London y representaría un tipo completamente específico de ingeniería¹⁹, que siguen científicos y científicas de disciplinas troncales completamente diversas. De manera semejante se encuentran en la biología sintética redes informales que siguen un determinado paradigma teórico que de modo

¹⁹ “El MIT es clásico; clásicamente influido por los ingenieros en una medida muy fuerte. Y esto es justamente también la gente que ahora [va a la biología sintética].” (I 14)

habitual entrecruza (determinadas configuraciones de) la biología, la química teórica y la matemática de manera tan intensa, que resulta difícil la adscripción disciplinar de los participantes individuales. En paralelo con esto encontramos redes de investigación de ómicos, en las que la investigación de laboratorio y los datos generados en él juegan un papel fundamental y difuminan las fronteras entre (determinados tipo de) ecología, fisiología, bioquímica y bioinformática.

Así pues, mientras que en la biología sintética la apropiación o no apropiación de un determinado planteamiento de ingeniería (en el contexto de un paradigma químico-sintético) tiene un efecto diferenciador, en la biología de sistemas lo tiene la apropiación o no apropiación de un planteamiento matemático o de biología de medición en el laboratorio (en el contexto de un paradigma fisicalista y mecanista). Un biólogo de laboratorio describe así el “ojo de aguja” (con caracterización nacional) de la apropiación del planteamiento matemático:

Hemos tenido hasta ahora dos *meetings* [entre los grupos matemáticos y biológicos de trabajo] y le digo que ahí se encuentran Afganistán y Austria. No nos entendemos. Mis estudiantes no entienden a los matemáticos, porque nuestra formación matemática simplemente es mala. Tengo gente de Hungría en el grupo que son fantásticos matemáticos, que aunque no han hecho una carrera de matemáticas, sin embargo, son fantásticos. Y nosotros tenemos que ir cada vez más en esa dirección. Tenemos que contemplar ya en la carrera universitaria, que los biólogos piensen de modo más cuantitativo y los matemáticos hagan algo desde el punto de vista biológico. Para aquellos que quieran hacerlo. Pero la sintaxis es tan diferente, es increíble. Incluso yo, debo decirlo, en muchas cosas matemáticas simplemente desconecto, porque ya no lo entiendo. La forma de pensamiento, la capacidad de pensar de modo abstracto y de manera matemática, es una forma completamente diferente de pensar a la biológico-experimental. Y eso debe ser armonizado en algún sitio. (I 7)

Si se contrastan esas formas de comprender con el planteamiento seguido por la biología de la historia natural para comprender la naturaleza (¡no la biología!) a través de descripciones singulares y sistemas de órdenes (cf. la cita más arriba de I 14), entonces resulta claro el enorme margen de fluctuación de las posibilidades de interpretar el “comprender”. Desde la perspectiva moderna, esa forma anterior del comprender, considerada más bien como un describir, se contrapuso al comprender, dado que no permite realizar ningún enunciado sobre el funcionamiento (o esos enunciados solo se añaden posteriormente en conexión con la pregunta por el “funcionar” de la evolución). Sin embargo, desde la misma perspectiva moderna también se plantea la pregunta de si la capacidad de construcción (de un objeto o un fenómeno) representa forzosamente su comprensión.

Coloquemos de nuevo el foco en la cuestión de la comprensión del comprender, esta vez no en una comparación de épocas tan alejadas como la historia natural del siglo XVIII y XIX y lo biología (post-)moderna del siglo XX y XXI. Un interlocutor entrevistado que simplemente se sitúa en una generación anterior a la de la mayoría de los biólogos y biólogas de sistemas actuales (aprox. de 1940, los más jóvenes de entre 1950 y 1970) lo formula así:

Estoy convencido de que solo se puede *entender* realmente un sistema si el punto de partida se sitúa en un plano relativamente elevado desde un punto de vista jerárquico. No puedo *entender* un banco de peces o una sociedad de hormigas, si solo me planto allí y hago biología molecular o genética. Puedo *entender aspectos importantes*. Sin duda. Y hoy en día eso también tengo que aplicarlo. Hemos aplicado el análisis de la radiación y no sé cuántas cosas más para investigar sensores individuales. Pero *entendido*, solo hemos entendido *la verdadera gracia del principio* cuando lo hemos puesto en relación con el comportamiento. Con el comportamiento en el biotopo. (I 35)

Para él es tan esencial la diferencia entre la comprensión del sistema y la comprensión de un aspecto de ese sistema como la diferencia entre la comprensión de una función y la comprensión de aquello que es “la gracia del principio”. Esa “gracia del principio” solo es comprensible en el contexto del comportamiento de un organismo en el biotopo. Unido a esto está una cierta atribución de valor, una distinción entre como si dijéramos una “pequeña comprensión” y una “gran comprensión”.

Con otra generación anterior (año aprox. 1920) ya el mismo acto de entendimiento entre la entrevistadora y el interlocutor entrevistado se vuelve precario. Así de diversa cristaliza la comprensión del comprender. Comprensión, búsqueda de sentido y asombro parecen estar muy próximos, comprender y describir se funden en el topos del “ver” y en lugar del concepto mecanicista de sistema se coloca el concepto de figura (Gestalt).²⁰ Lo esencial sigue conectado al ser vivo:

Lo que pertenece a la vida es tan complicado y tan sensible y presupone tantas leyes, que todas... ¿Quién ha concebido todo esto? ¿De dónde vienen los...? Vaya pensamientos. ¿De dónde provienen? (...) ¡Qué simples [=espíritus sencillos] son [esos biólogos de sistemas]! Vaya, son realmente gente que no tienen idea de biología. Esto se ve claramente. (...) Se reconoce que es un químico en que hace un par de reacciones, y es algo que efectivamente ve, y entonces cree, que ha visto

²⁰ Al mismo tiempo se vuelve impensable la emergencia y con ello la nivelación de la diferencia entre la ciencia de la vida biología y las ciencias naturales física y química. En ausencia de una explicación vitalista, al interlocutor entrevistado no le queda más que la repetida referencia a un creador al que él a su vez, en cuanto científico, se ve obligado a negar.

algo esencial. Evidentemente no tiene nada esencial... No, la vida debe ser considerada en dimensiones completamente diferentes. Y con ojos completamente distintos. Yo he tenido cierta dependencia de la palabra morfogénesis. Cuando no entra en las cabezas, entonces es que no han observado nunca un ser vivo. Vaya, esto es verdaderamente un fallo fundamental, (...) Cuando se disecciona un ratón, un gusano de lluvia, un escorpión – entonces se queda uno aturdido [=asombrado]. ¡Perfecto! En el escorpión no encuentran nada que no sea “escorpiónico”. En el gusano de lluvia todo es “gusánico”. ¿Cómo... quién ha hecho esto? (...) La escapatoria barata es el creador, ¿no? Naturalmente esto no es suficiente para una persona inteligente. (I 29)

Estas tres secuencias de entrevistas de interlocutores muy diferentes requieren grandes esfuerzos interpretativos si se las quiere comparar metódicamente. Esto debe ser tema de un trabajo particular en otro lugar. En este punto de la argumentación basta utilizarlas como ilustraciones para mostrar la distancia que puede separar las distintas orientaciones basadas en la comprensión y de qué manera esas concepciones específicas de la comprensión son apropiadas de manera diversa para conectarlas con objetivos de intervención y en definitiva de construcción.

Las nuevas orientaciones para la acción en la ciencia están vinculadas con un reajuste de la función social que se atribuye a la investigación, que apunta cada vez más al desarrollo de sistemas de innovación competitivos. Sin embargo, no se abandonan explícitamente objetivos alternativos (p.ej., la obtención de conocimiento como cultivo o piedra angular de una sociedad abierta) y se introducen otros objetivos como opción complementaria aparentemente no conflictiva (entre ellas como temas permanentes de la investigación orientadas a una misión: la lucha contra el cáncer, epidemias, la degeneración por la edad y las enfermedades civilizatorias, la solución del problema del hambre, impedir el cambio climático).

7. RESUMEN Y DISCUSIÓN: LA REVOLUCIÓN SILENCIOSA DE LAS TECNOCIENCIAS REVOLUCIONARIAS

El objetivo de este estudio ha sido delinear los desplazamientos fundamentales en el sistema de la praxis, la organización y el discurso en la biociencias del siglo XXI a partir de los ejemplos de la biología de sistemas y de la biología sintética, analizando también su conexión mutua. En parte, se trata de desplazamientos que ya han sido descritos para la física bajo el lema de “*Big Science*”, y que siguen siendo discutidos bajo los conceptos de tecnología y de investigación post-académica. En parte, aparecen en ese contexto

reciente de las biociencias también aspectos específicos esenciales. Aquí no se pueden discutir los aspectos concretos en detalle. A modo de conclusión, queda apuntar al menos de manera puntual a las relevancias que corresponden a esos desplazamientos.

Ya se señaló en la introducción la conexión entre esos desplazamientos y un malestar social difuso con la constitución actual de la ciencia o, en su caso, también con las tentativas de transformación de la estructura de gobierno de la ciencia. Hasta ahora parece que las tentativas que quieren reaccionar especialmente a las transformaciones fundamentales están siendo infructuosas. Hay una carencia de modelos exitosos radicalmente nuevos que permitan regular la investigación, así como de una participación de la sociedad en la investigación. Al menos desde mi perspectiva, los nuevos modelos de financiación como el de la *Responsible Research and Innovation* de la UE, con una orientación basada en paradigmas, así como el modelo nuevo de participación “directa” de los grandes proyectos de participación, parecen comprensibles en su motivación y orientación, pero inmaduros en su realización y su efectividad. Al mismo tiempo parece que la política científica no cree que la sociedad sea capaz de discutir más a fondo sobre la constitución de la ciencia actual y la política científica.

En la valoración de los efectos de la técnica, considerada como un campo de actores del gobierno de la investigación y el desarrollo, también se encuentran ya reacciones puntuales a los cambios fundamentales. Después de una breve fase en que se hablaba de *Science Assessment* (cf. Gill 1994), ahora se habla de *Vision Assessment* y de gestión de riesgos hermenéutica (cf. Grin y Grunwald 2000, Grunwald 2013), que toma en serio los aspectos visionarios del discurso científico (o de política científica) y los tematiza. Para una empresa de este tipo será esencial no perder de vista la estructura global de la praxis, la organización y el discurso de la investigación (cf. Kastenhofer 2010).

Para el análisis de la ciencia en la investigación sobre ella es asimismo importante la significación creciente y modificada del plano visionario. No solo es que el análisis de ese plano represente ya un ámbito prometedor de la investigación sobre la ciencia (cf. Nordmann 2015), también en los planteamientos tradiciones de la filosofía de la ciencia resulta prometedora una consideración reforzada de la orientación (desde ahora claramente plural) de la praxis de investigación. De un lado, se pueden considerar comparativamente los diferentes objetivos epistémicos (cf. p.ej., Brigandt 2010) y, de otro, también las diferentes finalidades alternativas (epistémicas, técnicas, etc., cf. Kastenhofer y Schmidt 2011) y las distribuciones de los roles sociales (cultivo, innovación, solución de problemas, etc., cf. Pickstone 2001).

BIBLIOGRAFÍA

- Aumann, P., 2011, Die Automatisierung des Denkens, Sehens und Hörens. Kybernetik und Bionik als alte Neue Technologien, en: Kehrt, C., Schüßler, P., Weitze M.-D. (Eds.): *Neue Technologien in der Gesellschaft. Akteure, Erwartungen, Kontroversen und Konjunkturen*, Bielefeld: transcript, 207-222.
- Bensaude Vincent, B., 2013, Discipline-building in synthetic biology, *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44(2), 122-129
- Blümel 2011, Dynamiken förderpolitischen Wandels in der Nanotechnologie, en: Kehrt, C., Schüßler, P., Weitze M.-D. (Eds.): *Neue Technologien in der Gesellschaft. Akteure, Erwartungen, Kontroversen und Konjunkturen*, Bielefeld: transcript, 287-302.
- Brigandt, I., 2010, The epistemic goal of a concept: accounting for the rationality of semantic change and variation, *Synthese* 177(1), 19-40.
- Calvert, J., 2008, The Commodification of Emergence: Systems Biology, Synthetic Biology and Intellectual Property, *BioSocieties* 3, 383-398.
- Calvert, J., 2013, Engineering Biology and Society: Reflections on Synthetic Biology, *Science, Technology & Society* 18(3), 405-420.
- Demeritt, D., 2000, The New Social Contract for Science: Accountability, Relevance, and Value in US and UK Science and Research Policy, *Antipode* 32(3), 308-329.
- Forman, P., 2007, The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Postmodernity, and of Ideology in the History of Technology, *History and Technology* 23(1/2), 1-152.
- Gibbons, M., 1999, Science's new social contract with society, *Nature Supp* 402(Supp Dec 1999), C81-C84.
- Gill, B., 1994, Die Vorverlegung der Folgenerkenntnis. Science Assessment als Selbstreflexion der Wissenschaft, *Soziale Welt* 45(4), 430-454.
- Guston, D. H., 2000, *Between Politics and Science. Assuring the Integrity and Productivity of Research*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Grin, J. und Grunwald, A. (Eds), 2000, *Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society*, Heidelberg: Springer.
- Grunwald, A., 2013, Techno-visionary Sciences: Challenges to Policy Advice, *Science, Technology & Innovation Studies* 9(2), 21-38.
- Hacking, I., 1983, *Representing and Intervening*, New York: Cambridge University Press.
- Kastenhofer, K., 2010, Do we need a specific kind of technoscience assessment? Taking the convergence of science and technology seriously, *Poiesis & Praxis* 7(1-2), 37-54.
- Kastenhofer, K., 2013a, Die Governance neuer Technowissenschaften zwischen Risiko- und Ethik-Frame, in: Bogner, A. (Ed.): *Ethisierung der Technik - Technisierung der Ethik*, Baden-Baden: Nomos, 69-94.

- Kastenhofer, K., 2013b, Synthetic biology as understanding, control, construction *and* creation? Techno-epistemic and socio-political implications of different stances in talking and doing technoscience, *Futures* 48, 13-22.
- Kastenhofer, K., 2013c, Two sides of the same coin? The (techno)epistemic cultures of systems and synthetic biology, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44(2), 130-140.
- Kastenhofer, K. und Schmidt, J. C., 2011, 'Technoscientia est Potentia'? Contemplative, interventionist, constructionist and creationist idea(l)s in technoscience, *Poiesis & Praxis* 8(2-3), 125-149.
- Kastenhofer, K., Torgersen, H., Klein, F. und Klement, L.-L., 2012, *Systems Biology in Austria 2011. The establishment of a new field in a national context (project report)*, commissioned by: Institute of Technology Assessment, Vienna: Institute of Technology Assessment (ITA) <<http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/e2-2c28.pdf>>.
- Lubchenco, J., 1998, Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science, *Science* 279(23 January), 491-497.
- Nature Biotechnology 2009: What's in a name?, *Nature Biotechnology* 27(12), 1071-1073.
- Nordmann, A., 2015, Synthetic Biology at the Limits of Science, en: Giese, B., Pade, C., Wigger, H. und Von Gleich, A. (Eds): *Synthetic Biology: Character and Impact*, Berlin: Springer, 31-58.
- Paddon, C. J. und Keasling, J. D., 2014, Semi-synthetic artemisinin: a model for the use of synthetic biology in pharmaceutical development, *Nat Rev Micro* 12(5), 355-367.
- Pickstone, J. V., 2001, *Ways of Knowing. A New History of Science, Technology, and Medicine*, Chicago: University of Chicago Press.
- Powell, A., O'Malley, M., Müller-Wille, S., Calvert, J. und Dupré, J., 2007, Disciplinary baptisms: a comparison of the naming stories of genetics, molecular biology, genomics, and systems biology, *History and Philosophy of the Life Sciences* 29(1), 5-32.
- Rai, A. und Boyle, J., 2007, Synthetic Biology: Caught between Property Rights, the Public Domain, and the Commons, *PLoS Biol* 5(3), 389-393.
- Shorett, P., Rabinow, P. und Billings, P. R., 2003, The changing norms of the life sciences, *NatBiotech* 21(2), 123-125.
- Strasser, B.J., Institutionalizing molecular biology in post-war Europe: a comparative study, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 33 (2002) 515-546.
- Thiel, K., 2006, Systems Biology, Incorporated?, *Nat Biotech* 24(9), 1055-1057.
- Vermeulen, N., 2009, *Supersizing science. On building large-scale research projects in biology*, Maastricht: Maastricht University Press.
- Vermeulen, N., 2011, Growing a cell in silico. On how the creation of a bio-object transforms the organisation of science, in: Vermeulen, N., Tamminen, S. and Webster, A. (Eds): *Bio-Objects. Life in the 21st Century*, Aldershot: Ashgate, 171-186.

- Vermeulen, N., Parker, J. N. und Penders, B., 2010, Big, small or mezzo?, *EMBO reports* 11(6), 420-423
- Vermeulen, N., Parker, J. N. und Penders, B., 2013, Understanding life together: A brief history of collaboration in biology, *Endeavour* 37(3), 162-171
- Winickoff, D. E. und Neumann, L. B., 2005, Towards a Social Contract for Genomics: Property and the Public in The 'Biotrust' Model, *Genomics, Society and Policy* 1(3), 8-21.