

EL PROBLEMA DEL CONOCIMIENTO TECNOLÓGICO: UNA CARACTERIZACIÓN EPISTEMOLÓGICA GENERAL DE LA BIOTECNOLOGÍA

THE PROBLEM OF TECHNOLOGICAL KNOWLEDGE:
A GENERAL EPISTEMOLOGICAL CHARACTERIZATION OF BIOTECHNOLOGY

ROBERTO LÓPEZ MAS

Universidad de las Islas Baleares, ESPAÑA
robertolopezmas@gmail.com

Abstract. The technology as applied science approach constituted, since the middle of the 20th century, the hegemonic view regarding the issue of technological knowledge. Although several alternatives to this more traditional proposal have been developed since the 1970s, the nature of the knowledge required to design and produce bioartefacts still has not been studied in sufficient depth. This article addresses the matter of technological knowledge with the aim of proposing a general epistemological characterization of biotechnology. The results show that biotechnological knowledge is formed by different types of knowledge that incorporate, on the one hand, prescriptive and, to some extent, tacit content and, on the other one, representational knowledge that is not necessarily provided by previous scientific research. The conclusion is that a characterization of the nature of biotechnological knowledge that exceeds the technology as applied science thesis is feasible by means of the analysis of the prescriptive knowledge from biotechnology that is not limited by a set of technological rules, its fundamental tacitness in contexts of design innovation, and the representational knowledge that may be generated in the process itself of creating bioartefacts.

Keywords: Technological knowledge • applied science • prescriptive nature • tacitness • biotechnology.

RECEIVED: 02/12/2019

REVISED: 29/07/2020

ACCEPTED: 30/10/2020

1. Introducción

La epistemología de la tecnología es un tema filosófico relativamente novedoso. Destaca, como una de las primeras propuestas sobre la cuestión que sigue teniendo algún tipo de repercusión actualmente, la concepción de la tecnología como ciencia aplicada. A pesar de que este planteamiento ya ha sido en gran medida superado, la discusión en torno a la definición de la tecnología como ámbito de conocimiento sigue abierta a nuevas aportaciones que permitan comprender en mayor grado su compleja naturaleza. En este artículo, se va a intentar responder una pregunta: ¿cómo se puede caracterizar epistemológicamente la biotecnología?



Respecto a la literatura sobre el tema, cabe destacar *What engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history* (1990) de Walter Vincenti y *The nature of technological knowledge: extending empirically informed studies into what engineers know* (2003) de Marc J. de Vries, pues constituyen estudios que han contribuido enormemente a la epistemología de la tecnología. *The nature of technological knowledge* (2009) de Wybo Houkes recoge una parte de los trabajos que se han llevado a cabo sobre la naturaleza del conocimiento tecnológico. Por lo que hace a los estudios históricos, es necesario resaltar el valor de *The evolution of biotechnology: from natufians to nanotechnology* (2006) de Martina Newell-McGloughlin y Edward Re y *Dolly at 20: the inside story on the world's most famous sheep* (2016) de Ewen Callaway, que exponen, desde distintos enfoques, la investigación biotecnológica que llevó a la creación de Dolly.

El método adoptado consiste, en primer lugar, en el análisis de textos filosóficos e históricos con el fin de examinar diferentes aportaciones que se han realizado acerca del problema del conocimiento tecnológico. En la reciente historia del estudio epistemológico de la tecnología, se pueden identificar dos posturas relevantes: el conocimiento tecnológico se ha definido como un producto de la aplicación de las teorías científicas, o se ha caracterizado teniendo en cuenta una parte de su compleja naturaleza. Desde una revisión crítica de distintas nociones, se va a analizar lo primero mientras que se va a desarrollar en más profundidad lo segundo con el objetivo de plantear así una posible caracterización general del conocimiento tecnológico. Finalmente, a través del estudio de un caso específico, se van a definir determinados rasgos generales del conocimiento requerido en un tipo concreto de desarrollo biotecnológico.

Los resultados de la investigación se pueden resumir en tres puntos. El primero es que una parte significativa del conocimiento tecnológico tiene una naturaleza prescriptiva fundamental que no se limita al contenido de las reglas tecnológicas basadas en leyes científicas, sino que también está presente en las reglas prácticas reunidas en los manuales de ingeniería. El segundo punto es que el conocimiento tecnológico puede adoptar una forma tácita, necesaria para proceder eficientemente a la invención de tecnología y superar posibles dificultades en relación al diseño. Por último, el conocimiento representacional de la tecnología puede, en ocasiones, entrar en conflicto con algunas teorías científicas a causa de las diferencias que se pueden generar entre objetivos en las distintas disciplinas.

El caso de la oveja Dolly ilustra que se puede aplicar a la biotecnología una taxonomía general que distinga los diferentes tipos de conocimiento tecnológico y sus rasgos principales. En este sentido, se puede observar que el conocimiento prescriptivo es básico para la creación de bioartefactos, si bien la forma de reglas prácticas solo es adecuada en ciertos contextos. El conocimiento tácito no es solo importante en relación al manejo hábil de los instrumentos requeridos para realizar la clonación, sino

que también es decisivo cuando los biotecnólogos tienen que tratar con problemas inesperados durante la investigación. Por otro lado, se aprecia que el conocimiento representacional de la biotecnología no tiene por qué proceder de estudios biológicos previos. Como conclusión se establece que, aunque hay aspectos del conocimiento biotecnológico que todavía deben ser estudiados, se ha creado una base sólida sobre la que construir una epistemología de la biotecnología.

2. Tipos de conocimiento tecnológico

La naturaleza del conocimiento tecnológico es un tema que no había sido tratado en profundidad hasta hace relativamente poco (Houkes 2009; Meijers y De Vries 2009). Determinados filósofos e historiadores han podido mostrar una falta de interés o predisposición para llevar a cabo estudios dedicados a analizar el problema del conocimiento tecnológico (Bunge 1985). En esta línea, resulta ilustrativo cómo Samuel Florman critica a Walter Vincenti por dedicar una excesiva atención a los aspectos epistemológicos de la tecnología (Houkes 2009). Anthony W. M. Meijers y Marc J. De Vries consideran que una de las razones por las que se ha concebido el conocimiento tecnológico como algo carente de importancia es la preeminencia de la que llegó a disfrutar la tesis de la tecnología como ciencia aplicada, ya que, desde esta visión, lo que merece ser estudiado no es la tecnología en sí, sino su relación con la ciencia.

La concepción de la tecnología como ciencia aplicada ha constituido, desde mediados del siglo XX, la posición predominante respecto al tema del conocimiento tecnológico (Scharff 2009). A partir de esta postura, se cree que la ciencia se dedica a establecer qué es lo que hay en el mundo mientras que la tecnología simplemente decide cómo utilizar este conocimiento de una forma práctica. En consecuencia, dentro del proceso de investigación, se daría primero un descubrimiento teórico realizado desde el ámbito científico para, solo posteriormente, conseguir beneficios prácticos gracias a la tecnología y a su aplicación del conocimiento obtenido por la ciencia. Por esta razón, la disciplina tecnológica no ha sido concebida como un ámbito de conocimiento propio, sino como algo sencillamente derivado de la ciencia (Meijers y De Vries 2009). En este marco teórico, el interés de los filósofos e historiadores de la tradición analítica se ha centrado en dos cuestiones principales: cómo la tecnología contribuye al conocimiento científico proporcionando artefactos usados en la experimentación de las ciencias naturales, y, por otro lado, cómo la ciencia aporta a la tecnología las teorías y los conceptos que son necesarios para diseñar y fabricar artefactos.

Una de las caracterizaciones más importantes de la tecnología como ciencia aplicada es la realizada en la década de 1960 por Mario Bunge (1966; 1969), quien

expone que hay una diferencia fundamental entre ciencia pura y ciencia aplicada: mientras que la primera tiene un objetivo cognitivo básico, la segunda se caracteriza por poseer un fin práctico. En la ciencia pura, se lleva a cabo una tarea de búsqueda de leyes de la naturaleza. En las ciencias aplicadas, se desarrollan artefactos mediante el uso de las leyes propuestas desde la ciencia pura. Las ciencias aplicadas están divididas en dos tipos de teorías tecnológicas: las sustantivas y las operativas. Las teorías sustantivas son aquellas que constituyen la aplicación de teorías científicas suficientemente consolidadas a situaciones prácticas. Por otra parte, las teorías operativas son las que surgen como resultado de aplicar el método científico en lugar de una teoría científica. En este último tipo de teorías tecnológicas, no se aplica el contenido de la ciencia sino su modo de proceder. Bunge defiende que la aplicación de la ciencia como tecnología se consigue exitosamente mediante la transformación del enunciado nomológico de la ciencia al enunciado nomopragmático de la tecnología. Lo que se obtiene con este proceso es pasar de un enunciado que describe cierto hecho a uno que hace referencia a una operación humana, es decir, se pasa de una ley a una regla. Cuando se dispone del enunciado nomopragmático, basta con seguir las reglas que guían la acción humana para llegar a la producción de artefactos.

A partir de la década de 1970, la tesis de la tecnología como ciencia aplicada empieza a ser muy cuestionada (De Vries 2003; Scharff 2009). Desde entonces, muchos filósofos han coincidido en que la tecnología no puede ser considerada ciencia aplicada. Defienden que la tecnología es un fenómeno muy complejo, pero queda excesivamente simplificado por la visión de que el desarrollo tecnológico solo es conocimiento científico aplicado (Cuevas 2000). Además, se ha remarcado que algunos proyectos tecnológicos se han llevado a cabo antes de que puedan ser comprendidos científicamente (Vermaas *et al.* 2011). Las máquinas de vapor, por ejemplo, fueron inicialmente creadas sin que los científicos fueran capaces de describir cómo funcionaban (Vermaas *et al.* 2011, p.56). Aunque la tecnología puede ocasionalmente aplicar ciencia, ello no significa que su identidad se reduzca a ciencia aplicada (Vincenti 1990). Con tal cambio de perspectiva, incluso la postura de Bunge (1980; 1985) evolucionó considerablemente a partir de la década de 1980, llegando a afirmar que “la tecnología no es ajena a la teoría ni es una mera aplicación de la ciencia pura: tiene un componente creador” (1980, p.195). En términos generales, ha crecido el interés por las reflexiones en torno a la tecnología como ámbito donde hay cuestiones sociológicas y filosóficas que deben ser discutidas.

En este contexto, destaca el estudio que realiza De Vries (2003) sobre el diseño de Circuitos Integrados y la naturaleza del conocimiento tecnológico. Expone que, en el desarrollo de la tecnología LOCOS (*LOCAl Oxidation of Silicon*), utilizada para hacer transistores, intervinieron distintas clases de investigación: desde una fundamental hasta otra consistente en la localización y resolución de problemas. Con esto, De Vries señala que el trabajo de investigación que se produjo con LOCOS no se limitaba a su

dimensión fundamental, sino que fue más práctico de lo que se puede suponer. Lo interesante es que, dentro del propio laboratorio en el que se inventó la tecnología LOCOS, hubo un debate en torno a la *investigación fundamental* y a la *investigación aplicada* que llegó a ser demasiado ambiguo.

A partir del caso de LOCOS, De Vries distingue cuatro tipos diferentes de conocimiento que se dan en la invención de tecnología. En primer lugar, está el *conocimiento de la naturaleza funcional*, que tiene que ver con la función que un material concreto puede cumplir — siempre en relación a las intenciones de los agentes. Desde el momento en que se determina que un material puede cumplir una cierta función dentro del proceso de desarrollo de una tecnología, interviene un *conocimiento de la naturaleza funcional*. El segundo tipo que identifica De Vries es el *conocimiento de la naturaleza física*, que es aquel que hace referencia a la naturaleza física del material en cuestión. Se caracteriza por tratar las propiedades del material, independientemente de las funciones que pueda satisfacer. El *conocimiento de los medios-fines* forma el tercer tipo y se distingue por evaluar en qué medida la propiedad de un material es adecuada para determinada estructura. Por último, está el *conocimiento de la acción*, que define qué acciones conducen al resultado deseado, lo que es fundamental para guiar el trabajo del ingeniero a la hora de desarrollar una tecnología.

De Vries afirma que lo más relevante es que, en tecnología, se da una combinación de los diferentes tipos de conocimiento. Ningún artefacto es inventado y producido mediante un exclusivo conocimiento de la acción o con un aislado conocimiento de la naturaleza física, sino que estos deben relacionarse a lo largo de todo proceso tecnológico. De Vries comenta que la separación entre investigación fundamental e investigación aplicada que se llevó a cabo en el laboratorio donde se desarrolló LOCOS fue conflictiva.

El hecho de que mucho después Meijer se diera cuenta de que sus mediciones de las propiedades de la superficie podrían haber sido útiles para Kooi, pero, al mismo tiempo, no supiera qué ocurría en el grupo de Kooi, muestra cuán artificial e inconveniente puede ser esta separación entre investigación *fundamental* y *aplicada* cuando se usa como principio organizador para un programa de investigación industrial. (De Vries 2003)

A través de este caso, De Vries muestra cómo una forma de organización que fuerza la separación de diferentes tipos de conocimiento tecnológico dificulta enormemente la tarea de los ingenieros. Dado que los cuatro tipos distintos de conocimiento en tecnología se relacionan y combinan, no pueden ser aislados si se pretende evitar complicaciones innecesarias.

3. Rasgos del conocimiento tecnológico

La taxonomía de De Vries es un punto de partida para proceder a un análisis epistemológico de la tecnología, porque establece una base sobre la que poder proponer una caracterización general que defina los rasgos principales de los distintos tipos de conocimiento tecnológico y la relación que hay entre ellos. De este modo, la naturaleza prescriptiva del conocimiento de los medios-fines y del de la acción constituye un primer elemento fundamental para la creación de artefactos. También destaca el posible carácter tácito de los mismos tipos de conocimiento, ya que es esencial para que los tecnólogos puedan hacer un uso hábil de instrumentos o resolver problemas de diseño. Por último, es necesario tener en cuenta que el conocimiento de la naturaleza física y el de la naturaleza funcional son, principalmente, representacionales y no vienen necesariamente proporcionados por la investigación científica previa.

En primer lugar, una parte crucial del conocimiento tecnológico tiene una naturaleza prescriptiva, lo que supone que la tecnología no se limita a describir las cosas, sino que, para llegar a fines prácticos, considera cómo deberían ser (Houkes 2009). El conocimiento de los medios-fines y el de la acción son prescriptivos a causa de su objetivo de modificar algunos aspectos de la realidad, pues, aunque también pueden desarrollar un conocimiento descriptivo de los artefactos, los ingenieros al final determinan cómo fabricarlos. Uno de los análisis más importantes de este rasgo del conocimiento tecnológico ha sido planteado mediante la noción bungeana de *regla tecnológica* (Bunge 1966; 1969), que se define como una instrucción para realizar una serie de acciones en un orden concreto con un objetivo determinado y que, a diferencia de las otras clases de reglas, está basada en leyes científicas que dan cuenta de su efectividad.

En *Technology as applied science* (1966), Bunge sostiene que el trabajo de los tecnólogos no debe depender de las reglas prácticas (*rules of thumb*) no fundamentadas sobre el conocimiento científico. Dado que una regla concreta puede funcionar con éxito en un alto número de casos debido a ciertas coincidencias, es crucial saber por qué es empíricamente efectiva, ya que, de lo contrario, no se puede juzgar su efectividad en el proceso de desarrollo tecnológico. En consecuencia, la mejor estrategia que pueden adoptar los tecnólogos es, según Bunge, transformar leyes científicas en reglas tecnológicas. Algunos autores han criticado esta postura, alegando que las reglas prácticas no necesariamente basadas en conocimiento científico son usadas por los ingenieros (Vermaas *et al.* 2011). Los manuales de ingeniería que reúnen tales reglas son útiles para proporcionar soluciones a problemas confusos, transmitir el conocimiento del experto a un agente que no es suficientemente competente, o conseguir el éxito en un proceso con resultado incierto (Norström 2011). Aunque presentan evidentes inconvenientes, las reglas prácticas también ofrecen ventajas que definen en qué situaciones puede resultar beneficioso su uso. En definitiva, como la prácti-

ca tecnológica puede llegar a ser de gran complejidad, los tecnólogos, en ocasiones, necesitan proceder mediante el uso de reglas que no están necesariamente fundamentadas sobre un posible conocimiento científico.

Además de una naturaleza prescriptiva, el conocimiento tecnológico de los medios-fines y el de la acción pueden poseer un carácter tácito, que hace referencia a la imposibilidad de formular explícitamente a través de enunciados una parte indispensable del conocimiento que requieren los ingenieros para diseñar y fabricar artefactos (Houkes 2009). Este conocimiento depende en gran medida de la situación en la que se desarrolla y, aunque su importancia puede ser señalada a los estudiantes de ingeniería, al final solo se obtiene mediante la experiencia personal (Vincenti 1990). Michael Polanyi (1965; 1969) defiende que el conocimiento tácito implica un proceso de integración que no se puede dar teniendo en cuenta los diferentes elementos aisladamente, porque conlleva una fusión de distintos componentes que genera un nuevo fenómeno cognitivo irreductible a la suma de sus partes. Esto se puede observar en el uso que los tecnólogos expertos hacen de los instrumentos. Al utilizar un destornillador, por ejemplo, no se fijan de forma dispersa en la posición de los dedos que sujetan el tornillo, el movimiento de la muñeca al emplear la herramienta o la fuerza que aplican en todo momento, sino que incorporan todos estos elementos en una imagen más general. El tecnólogo experimentado posee un amplio conocimiento tácito que le permite actuar con habilidad y eficacia.

El conocimiento tácito también adquiere relevancia en los procesos de innovación tecnológica donde hay problemas de diseño que deben ser resueltos (Nightingale 1998; 2009). Ya sea para enfrentarse a dificultades inesperadas o a problemas iniciales, los diseñadores tienen que actuar tomando decisiones que no pueden ser reducidas a reglas tecnológicas. En estos casos, en lugar de realizar una investigación exhaustiva con el objetivo de alcanzar una respuesta definitiva, suelen operar mediante ensayo y error, proponiendo hipótesis de solución y sometiéndolas a prueba. Qué conjeturas se plantean como posibles soluciones es algo que depende en gran medida del conocimiento tácito de fondo que posee el ingeniero. A través de la experiencia personal, el diseñador aprende en qué circunstancias la aplicación de ciertas soluciones puede resultar útil — incluso si estas tienen que ser creadas porque no estaban disponibles previamente. Aun cuando la conjetura formulada no suponga directamente la superación del problema, sigue siendo valiosa para entender en mayor profundidad la naturaleza de la cuestión, pues muestra cómo determinados cambios en las condiciones iniciales afectan al resultado. Los ingenieros toman en consideración el conocimiento conseguido durante cada ciclo del proceso de ensayo y error para seleccionar la siguiente hipótesis, con la que se puede acabar obteniendo el efecto deseado.

Aunque el conocimiento prescriptivo y tácito es esencial en tecnología, no suele ser suficiente para llegar a la creación de artefactos, ya que el conocimiento de

la naturaleza física y el de naturaleza funcional tienen carácter representacional: “representa o explica las propiedades, características y regularidades de entidades o procesos” (Quintanilla 2005, citado en Cuevas 2000, p.161). Ana Cuevas (2005) analiza la parte representacional del conocimiento tecnológico proponiendo un estudio epistémico de la resistencia de materiales. Parte de la idea de que, debido a la complejidad del mundo, un mismo fenómeno puede ser explicado satisfactoriamente por dos modelos distintos, de manera que los investigadores tienen que tomar en consideración ciertos valores como la precisión o el rigor para seleccionar el modelo preferible. En consecuencia, son cruciales los objetivos por los que unos modelos pueden ser escogidos en lugar de otros, pues ello determina cuáles son preferibles para los investigadores.

Cuevas apunta que la resistencia de materiales contiene idealizaciones y simplificaciones que pueden entrar en conflicto con las conclusiones planteadas por otras teorías científicas, lo cual es advertido y aceptado por los mismos ingenieros, que alegan que el distanciamiento que se puede producir respecto al conocimiento científico más descriptivo queda justificado por su objetivo de crear artefactos eficientes y seguros. Las diferencias que se pueden dar en los fines perseguidos por distintas teorías marcan, según Cuevas, una distinción en los valores que pueden llegar a adoptar científicos y tecnólogos. Generalmente, lo que se busca, tanto en ciencia como en tecnología, es que el conjunto de modelos adoptado aporte grandes beneficios sin suponer demasiado coste, presentando el máximo número de rasgos deseables y el mínimo de aquellos que los investigadores intentan evitar. Las características deseables que tiene el conjunto de modelos de la resistencia de materiales pueden diferir de aquellas que residen en determinados modelos de las ciencias naturales, ya que se definen a partir de los objetivos en los casos concretos de cada disciplina, que pueden llegar a ser considerablemente distintos. En definitiva, el conocimiento representacional de la tecnología puede entrar en conflicto con el adoptado en las ciencias naturales.

4. El caso de la oveja Dolly

La caracterización general propuesta puede constituir un punto de partida para comprender la naturaleza del conocimiento biotecnológico. No obstante, ¿qué se entiende por *biotecnología*? Desde la concepción de la tecnología como ciencia aplicada, la biotecnología sería una suma de técnicas resultado de la aplicación del conocimiento científico descriptivo. Otros enfoques identifican una mayor complejidad en esta disciplina, definiéndola como un conjunto de tecnologías en el que se pueden hallar elementos procedentes de una gran variedad de ámbitos, como la medicina, la agricultura, la ingeniería, la química, o las ciencias de la vida (Newell-McGloughlin y Re

2006). En cualquier caso, se ha destacado, como factor característico de la biotecnología, la manipulación de organismos vivos o de sus componentes subcelulares con el fin de generar productos o procesos concretos.

Una de las tecnologías principales relacionadas con la biotecnología es la ingeniería genética, a través de la cual se puede alterar un organismo para producir otro completamente nuevo. En este contexto, un análisis epistemológico del célebre caso de la clonación de la oveja Dolly puede ayudar a profundizar en ciertos rasgos del conocimiento que hace posible el diseño y producción de, al menos, un tipo de bioartefacto. En primer lugar, se advierte la naturaleza prescriptiva de una parte del conocimiento biotecnológico que no se limita a simples reglas tecnológicas. Además, el conocimiento tácito del equipo dirigido por Ian Wilmut adquirió especial importancia cuando surgieron complicaciones inesperadas durante el proceso de trabajo. Por último, cabe señalar que hay un conocimiento representacional relevante que no fue proporcionado desde unos descubrimientos teóricos previos, sino que fue generado a partir de la propia investigación que llevó a la creación de Dolly.

En febrero de 1996, Ian Wilmut y sus compañeros del Instituto Roslin estaban centrados en una investigación sobre transferencia nuclear de células somáticas cuyo desarrollo se volvió excesivamente problemático cuando encontraron que las células que esperaban poder usar habían sido contaminadas (Callaway 2016). Tras buscar alternativas para no desperdiciar los ovocitos que tenían (Walker citada en Callaway 2016), lo único que lograron conseguir en tales circunstancias fueron células adultas de oveja (Scott citada en Callaway 2016). Alan Colman, que había trabajado anteriormente con John Gurdon en la Universidad de Cambridge, consideraba que utilizar células adultas de oveja no iba a funcionar, ya que Gurdon nunca había conseguido una rana adulta mediante transferencia nuclear. Sin embargo, como no tenían otra línea de células que usar, decidieron que lo intentarían con las que poseían en aquel momento y observarían qué ocurría (Colman citado en Callaway 2016).

El equipo del Instituto Roslin (Wilmut *et al.* 1997) procedió a la transferencia nuclear siguiendo un protocolo que había sido elaborado previamente (Campbell *et al.* 1996). Tras una fase de cultivo, realizaron la enucleación de los ovocitos e indujeron a quiescencia las células donantes. Posteriormente, efectuaron la transferencia de 277 núcleos de la línea celular mamífera a los huevos, y llevaron a cabo el cultivo *in vitro* de los embriones reconstruidos, de los cuales 29 acabaron siendo introducidos a madres gestantes. Aunque muchos de los embriones clonados abortaron en una fase temprana del desarrollo, en febrero de 1997, la oveja Dolly fue introducida como el primer animal producido a partir de la transferencia del núcleo de una célula somática adulta a un óvulo no fecundado y enucleado.

El descubrimiento resultó enormemente novedoso porque hasta la fecha se había considerado que la transferencia nuclear solo podía tener éxito si era realizada con células embrionarias (Westhusin *et al.* 2001; Newell-McGloughlin y Re 2006). El

nacimiento de Dolly supuso que el citoplasma de un óvulo puede *reprogramar* un núcleo adulto induciendo la totipotencia en la célula (Houdebine 2003), lo que significa que los núcleos de las células diferenciadas, que están especializadas en ejecutar una función concreta y solo pueden expresar los genes requeridos para la misma, pueden volver a la expresión genética necesaria para que se genere el desarrollo embrionario completo de un animal adulto (National Research Council 2002). El trabajo de Wilmut y sus compañeros mostró que la diferenciación de la célula no implica que la modificación del material genético sea irreversible.

La posibilidad de reproducir determinados genotipos mediante transferencia nuclear depende de diferentes variables: “estas incluyen especie, origen de los óvulos receptores, tipo celular del donante de los núcleos, tratamiento de las células donantes anterior a la transferencia nuclear, y las técnicas empleadas para la transferencia nuclear” (Westhusin *et al.* 2001, p.35). Se ha planteado que un factor relevante para favorecer la clonación es el ciclo de las células donantes (Wilmut *et al.* 2002), razón por la que Dolly fue producida a partir de una célula inducida a la fase G0 del ciclo celular. En cualquier caso, el logro del equipo de Wilmut originó grandes expectativas respecto al potencial de la transferencia nuclear (National Research Council 2002). La promesa de permitir la propagación de animales con rasgos deseables llevó a que el desarrollo de esta tecnología fuera acelerado y se realizaran pruebas de la misma técnica de clonación en otros vertebrados como ratones, conejos, caballos, etc. En términos generales, la creación de Dolly aportó mucho a la ingeniería genética y a la investigación de nuevas técnicas y procedimientos para trabajar con animales (Newell-McGloughlin y Re 2006).

5. Epistemología de la biotecnología

El proceso tecnológico que llevó a la producción de Dolly fue posible gracias a un complejo sistema epistémico cuyos rasgos fundamentales pueden ser presentados y analizados a través de la caracterización general planteada. En el trabajo de Wilmut y sus compañeros se pueden apreciar los cuatro tipos de conocimiento distintos que expone De Vries. Por un lado, habría un conocimiento de la naturaleza funcional en relación a los pulsos eléctricos aplicados para inducir la fusión de la célula donante en el ovocito enucleado y provocar la activación de este último (Wilmut *et al.* 1997, p.813). También se hallaría un amplio conocimiento de la naturaleza física: se conocen las propiedades del DNA, las células, los embriones, etc. El conocimiento de los medios-fines intervendría cuando se determina que los embriones clonados tienen que haber alcanzado la etapa de mórula o blástula para poder ser introducidos a una madre gestante (Wilmut *et al.* 1997, p.813). Por último, está el conocimiento de la acción, que se encontraría a lo largo de todo el proceso: al transferir los núcleos a los

óvulos enucleados, al realizar el cultivo in vitro de los embriones reconstruidos, al monitorizar el estado de las ovejas preñadas, etc. Los cuatro tipos de conocimiento se combinan y se relacionan a lo largo de todo el desarrollo tecnológico.

El conocimiento de los medios-fines y el de la acción tienen una naturaleza prescriptiva en biotecnología. El fin último que persiguen Wilmut y su equipo no es especificar las características de un mamífero adulto clonado, sino conseguir producirlo y, además, definir qué acciones llevan a dicho objetivo. De este modo, cuando establecen que se obtienen células en la fase G0 del ciclo celular al reducir la concentración de suero durante días (Wilmut *et al.* 1997, p.813), lo que buscan es prescribir cómo hay que proceder para modificar una parte de la realidad. En este sentido, el conocimiento sobre las acciones es crucial en la transferencia nuclear de células somáticas, si bien cabe apuntar que la forma de reglas prácticas puede no ser la más adecuada dependiendo de las circunstancias. En un contexto en el que se quiere aumentar la eficiencia de la clonación animal y, para ello, se buscan los mejores resultados respecto al ratio de embriones que llegan a convertirse en crías vivas, el uso de reglas prácticas no es una opción viable, ya que estas sacrifican la optimización para conseguir un éxito aceptable en el número máximo de situaciones distintas (Norström 2011). No obstante, cuando la baja probabilidad de éxito al usar unas reglas prácticas concretas para realizar la transferencia nuclear es aceptable o irrelevante, su aplicación puede ser beneficiosa. En relación a la instrucción de aprendices, por ejemplo, seguir indicaciones sencillas puede ser útil para llegar a adquirir un conocimiento prescriptivo básico.

La forma que adoptan el conocimiento de los medios-fines y el de la acción puede ser explícita o tácita. Los métodos específicos expuestos por Wilmut y sus compañeros (1997, pp.812–3) o los artículos y manuales que describen el trabajo práctico realizado para alcanzar la clonación de Dolly (Westhusin *et al.* 2001; National Research Council 2002; Callaway 2016) muestran que el conocimiento ligado a las decisiones y las acciones ejecutadas durante el desarrollo biotecnológico es parcialmente formulable a través de un conjunto de afirmaciones. No obstante, hay una parte esencial del conocimiento en biotecnología que es tácita y, por tanto, solo se adquiere mediante la experiencia personal porque no puede ser formulada explícitamente con enunciados. Esto significa que, aunque un aprendiz llegara a disponer de todo el conocimiento sobre biotecnología que se haya expresado por medio de afirmaciones, ello sería insuficiente para realizar con éxito las tareas que conlleva la transferencia nuclear, pues hay un conocimiento fundamental que Wilmut y su equipo han podido conseguir únicamente en el proceso de trabajo. El uso eficaz y hábil de los instrumentos necesarios para obtener un animal clonado solo es posible gracias al conocimiento tácito adquirido a través de la práctica.

Resulta relevante cómo el grupo del Instituto Roslin afrontó problemas imprevistos durante el proyecto tecnológico. En el momento en que hallaron que las células

que esperaban usar habían sido contaminadas, decidieron que, para no desaprovechar los ovocitos que tenían, iban a utilizar células adultas de oveja, pese a que, según creían, no tendrían éxito (Callaway 2016). Si el equipo estaba convencido de que no se podía lograr la transferencia nuclear con células adultas, ¿por qué llevar a cabo un intento aparentemente inútil? La respuesta la proporciona Alan Colman: “todos acordamos que usaríamos esas células de la glándula mamaria para ver qué ocurría y conseguir así experiencia” (citado en Callaway 2016, p.605). Ante problemas inesperados en circunstancias complejas, Wilmut y sus compañeros procedieron mediante ensayo y error. Si bien consideraron que recurrir a células adultas no iba a conducir a resolver el problema, juzgaron que la experiencia del previsible fracaso podía acabar siendo útil, ya que podrían observar cómo afecta al resultado el uso de tales células y, de este modo, llegar a una mayor comprensión de la tecnología en la que trabajaban. Al someter a prueba hipótesis de solución altamente improbables, los diseñadores adquieren, a través de la experiencia personal, un conocimiento tácito crucial para la selección de las conjeturas siguientes. Además, en contextos de innovación tecnológica, las propuestas planteadas pueden acabar llevando a logros inesperados en la investigación del diseño.

Wilmut y su equipo pudieron necesitar aplicar conocimiento procedente de diversos ámbitos durante el desarrollo que condujo al nacimiento de Dolly. Por ejemplo, cuando los embriones fueron transferidos a ovejas gestantes vigiladas y monitorizadas, resultó fundamental el conocimiento de las ciencias naturales para evaluar el estado nutricional, la condición corporal, las posibles enfermedades, etc. Los biotecnólogos precisan considerar y utilizar el conocimiento representacional que pueda proceder de la investigación científica previa para alcanzar exitosamente la producción de bioartefactos. No obstante, que la biotecnología pueda aplicar conocimiento biológico no significa que se reduzca a biología aplicada. La tesis de que se crean bioartefactos mediante la simple aplicación de las ciencias puras debe ser cuestionada sobre la base de lo advertido en el trabajo llevado a cabo por el equipo dirigido por Wilmut, ya que ni todo el conocimiento representacional procede de una investigación biológica anterior, ni el conocimiento prescriptivo se deriva en su totalidad de la biología.

Respecto a la parte representacional del conocimiento biotecnológico, se observa que la reprogramación de los núcleos de las células diferenciadas en el citoplasma del óvulo, lo que lleva de nuevo a la expresión de todos los genes necesarios para que se dé el desarrollo embrionario completo de un animal adulto, era, hasta la fecha, algo desconocido por los biólogos. Existe un conocimiento representacional crucial que Wilmut y sus compañeros adquirieron únicamente como resultado de su propia investigación. Esto no constituye un conflicto entre diferentes modelos como en el caso de la resistencia de materiales (Cuevas 2005), pero sí coincide con el planteamiento de Cuevas en la idea más básica: el conocimiento representacional de la tecnología

no viene necesariamente proporcionado por estudios científicos previos. De hecho, aunque el trabajo del equipo del Instituto Roslin supuso un importante logro biotecnológico por la creación de un bioartefacto nuevo e inesperado, podría no haberse limitado a tal ámbito, pues también acabó produciendo un conocimiento biológico de gran relevancia. En este sentido, la interrelación entre la práctica biológica y la biotecnológica puede llegar a ser de una enorme complejidad, por lo que no puede reducirse a la idea de que se llevan a cabo unos descubrimientos teóricos en biología que, posteriormente, la biotecnología aplica para alcanzar objetivos prácticos.

Desde la concepción de la tecnología como ciencia aplicada, se considera que el conocimiento prescriptivo de la tecnología se obtiene al transformar los enunciados nomológicos de la ciencia en enunciados nomopragmáticos. Sin embargo, este planteamiento se vuelve especialmente problemático al referirse a biotecnología, ya que se ha llegado a argumentar que no existen leyes biológicas en sentido estricto (Smart 1963), lo que llevaría a una pregunta: ¿de qué enunciados nomológicos se derivan las reglas diseñadas por los biotecnólogos? Incluso ignorando esta cuestión, el proceso de transformación de leyes no pudo tener lugar en el desarrollo de Dolly, porque una parte esencial del conocimiento científico requerido para ello no se había formulado previamente. En definitiva, la investigación realizada por Wilmot y sus compañeros no puede ser entendida a partir de la noción bungeana de regla tecnológica, puesto que esta debe estar basada en un conocimiento biológico central del que no se disponía con anterioridad a la creación de Dolly.

La idea de que el trabajo de los ingenieros solo debe depender de la transformación de las leyes científicas en reglas tecnológicas ignora la gran complejidad de la práctica biotecnológica. No se trata únicamente de la imposibilidad de, en ocasiones, dar con reglas basadas en un conocimiento científico consolidado, sino que también resultan significativos los contextos en los que los diseñadores deben tomar decisiones que no se pueden reducir a reglas tecnológicas. Cuando el equipo del Instituto Roslin se encontró con la contaminación de las células que esperaban usar, decidieron dejar de seguir las reglas de las que habían dispuesto hasta el momento para proceder mediante ensayo y error, lo que les habría proporcionado conocimiento tácito a través de la experiencia personal. En circunstancias de innovación tecnológica, Wilmot y sus compañeros no se limitaron a actuar basándose en un conocimiento explícito que podría ser insuficiente, sino que juzgaron que debían someter a prueba una hipótesis improbable con la finalidad de obtener una mayor comprensión de la transferencia nuclear de células somáticas.

6. Conclusión

El análisis del caso de la oveja Dolly muestra, en primer lugar, que en biotecnología hay un conocimiento de los medios-fines y un conocimiento de la acción que poseen una naturaleza prescriptiva y no se limitan a adoptar la forma de reglas tecnológicas. Si bien estos tipos de conocimiento tecnológico sobre las acciones y las decisiones son parcialmente formulables mediante un conjunto de enunciados, en biotecnología hay una parte crucial que es tácita, lo que significa que solo se puede obtener a través de la experiencia personal. Este conocimiento tácito es fundamental para los biotecnólogos en al menos dos sentidos: para poder proceder con habilidad y eficacia, y para afrontar problemas inesperados en situaciones complicadas. Por último, el trabajo realizado por el grupo del Instituto Roslin ilustra que el conocimiento de la naturaleza física y el de la naturaleza funcional tienen un carácter representacional y no vienen necesariamente proporcionados por estudios científicos anteriores, ya que se pueden adquirir a partir de la investigación llevada a cabo por los propios biotecnólogos. Aunque la biotecnología puede necesitar aplicar conocimiento biológico, ello no implica que quede definida como biología aplicada.

El proceso biotecnológico que llevó a la creación de Dolly podría ser entendido como ciencia aplicada si — entre otras muchas condiciones necesarias — todo el conocimiento representacional relevante para conseguir con éxito la transferencia nuclear de una célula somática adulta hubiera sido proporcionado por la investigación biológica previa, si Wilmut y su equipo hubieran logrado obtener las reglas tecnológicas basadas en unas leyes científicas consolidadas, y si su trabajo se hubiera limitado a diseñar y seguir una serie de reglas para enfrentarse a problemas imprevistos en un contexto difícil. Sin embargo, ninguna de estas tres condiciones se cumplió, pues la actividad biotecnológica es enormemente más compleja que lo planteado desde la tesis de la tecnología como ciencia aplicada. Hay factores epistémicos, sociales, políticos y económicos que pueden ser decisivos en la invención de tecnología. De este modo, son significativas las palabras que Wilmut dirigió a Angelika Schnieke tras haber acordado utilizar células de mamífero adulto: “Me sorprendería que funcionara, pero PPL paga por los experimentos, así que vamos a realizarlos” (Schnieke citada en Callaway 2016, p.606).

La caracterización general propuesta posibilita una aproximación a la naturaleza del conocimiento biotecnológico, pero este ámbito no queda completamente definido por los elementos expuestos. El estudio del caso de la oveja Dolly permite distinguir ciertos tipos de conocimiento tecnológico con unos rasgos relevantes para una determinada clase de proceso biotecnológico. No obstante, el análisis de otras investigaciones con desarrollos diversos podría requerir caracterizaciones epistemológicas alternativas que den cuenta de posibles diferencias epistémicas, inadvertidas en algunos contextos. En consecuencia, aún resulta necesario un mayor estudio de

los distintos tipos de conocimiento tecnológico y sus relaciones particulares dentro de los procesos de trabajo en ingeniería genética y, de forma más general, en biotecnología.

Asimismo, futuras investigaciones en epistemología podrían mostrar que la caracterización general planteada no se limita a la biotecnología, sino que se puede llegar a aplicar a otras disciplinas tecnológicas, así como en el análisis del conocimiento científico. En este sentido, el desarrollo de la ciencia experimental también podría necesitar un conocimiento de los medios-fines y un conocimiento de la acción con una naturaleza prescriptiva y una forma parcialmente tácita. La ciencia reguladora (Luján y Todt 2018), por ejemplo, podría utilizar conocimiento prescriptivo tácito para llevar a cabo pruebas con el fin de generar datos relevantes que, en último lugar, deben fundamentar la toma de decisiones reguladoras. Por lo tanto, si bien la caracterización epistemológica presentada hace referencia a un determinado tipo de proceso biotecnológico, su alcance podría extenderse más allá de este ámbito.

En la epistemología de la biotecnología, algunas preguntas todavía no han recibido ninguna respuesta, y otras ni tan solo han sido planteadas. La escasez de estudios sobre el tema sigue siendo actualmente el mayor obstáculo para comprender en profundidad qué conocimiento hace posible el diseño y la fabricación de bioartefactos. Por ello, este artículo propone que una caracterización epistemológica general de la biotecnología en tanto que disciplina tecnológica que muestra sus rasgos más esenciales debe ser la base sobre la que se construyan las próximas reflexiones filosóficas sobre el tema en cuestión. Esta investigación constituye el primer paso para entender la naturaleza del conocimiento biotecnológico.

Referencias

- Bunge, M. 1966. Technology as applied science. *Technology and culture* 7(3): 329–47.
- Bunge, M. 1969. *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*. México: Siglo XXI.
- Bunge, M. 1980. *Epistemología: curso de actualización*. México: Siglo XXI.
- Bunge, M. 1985. *Treatise on basic philosophy. Vol. 7, part II: life science, social science and technology*. Dordrecht: Reidel.
- Callaway, E. 2016. Dolly at 20: the inside story on the world's most famous sheep. *Nature* 534(7609): 604–8.
- Campbell, K. H. S.; McWhir, J.; Ritchie, W. A.; Wilmut, I. 1996. Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. *Nature* 380(6569): 64–6.
- Cuevas, A. 2000. *Caracterización del conocimiento tecnológico y su desarrollo: hacia una epistemología de las ciencias ingenieriles* (Tesis doctoral). UPV-EHU.
- Cuevas, A. 2005. A model-based approach to technological theories. *Techné: research in philosophy and technology* 9(2). Acceso: 03/11/2020.
<https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/SPT/v9n2/cuevas-badallo.html>.

- De Vries, M. J. 2003. The nature of technological knowledge: extending empirically informed studies into what engineers know. *Techné: research in philosophy and technology* 6(3). <http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/SPT/v6n3/devries.html>. Acceso: 03/11/2020.
- Houdebine, L. 2003. *Animal transgenesis and cloning*. [Versión Adobe Acrobat Document]. doi:10.1002/0470867280
- Houkes, W. 2009. The nature of technological knowledge. En: A. W. M. Meijers (ed.) *Philosophy of technology and engineering sciences*, pp.309–50. Amsterdam: Elsevier.
- Meijers, A. W. M.; De Vries, M. J. 2009. Technological knowledge. En: J. K. B. Olsen; S. A. Pedersen; V. F. Hendricks (eds.) *A companion to philosophy of technology*, pp.70–4. Singapur: Wiley-Blackwell.
- National Research Council. 2002. *Animal biotechnology: science-based concerns*. Washington, DC: National Academies Press.
- Newell-McGloughlin, M.; Re, E. 2006. *The evolution of biotechnology: from natufians to nanotechnology*. Dordrecht: Springer.
- Nightingale, P. 1998. A cognitive model of innovation. *Research policy* 27(7): 689–709.
- Nightingale, P. 2009. Tacit knowledge and engineering design. En: A. W. M. Meijers (ed.) *Philosophy of technology and engineering sciences*, pp.351–74. Amsterdam: Elsevier.
- Norström, P. 2011. Technological know-how from rules of thumb. *Techné: research in philosophy and technology* 15(2): 96–109.
- Luján, J. L.; Todt, O. 2018. Regulatory science: between technology and society. En: B. Laspra; J. A. López Cerezo (eds.) *Spanish philosophy of technology*, pp.59–72. [Versión Adobe Acrobat Document]. doi:10.1007/978-3-319-71958-0
- Pitt, J. C. 2011. *Doing philosophy of technology. Essays in a pragmatist spirit*. [Versión Adobe Acrobat Document]. doi:10.1007/978-94-007-0820-4
- Polanyi, M. 1965. The structure of consciousness. *Brain* 88(4): 799–810.
- Polanyi, M. 1969. *Knowing and being*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Quintanilla, M. A. 2005. *Tecnología: un enfoque filosófico. Y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. México: FCE.
- Ryle, G. 1949. *The concept of mind*. Londres: Hutchinson's University Library.
- Scharff, R. C. 2009. Technology as Applied Science. En: J. K. B. Olsen; S. A. Pedersen; V. F. Hendricks (eds.) *A companion to philosophy of technology*, pp.160–4. Singapur: Wiley-Blackwell.
- Smart, J. 1963. *Philosophy and scientific realism*. Londres: Routledge.
- Vermaas, P.; Kroes, P.; Light, A.; Moore, S. (eds.). 2008. *Philosophy and design. From engineering to architecture*. [Versión Adobe Acrobat Document]. doi:10.1007/978-1-4020-6591-0
- Vermaas, P.; Kroes, P.; Van de Poel, I.; Franssen, M.; Houkes, W. 2011. *A philosophy of technology: from technical artefacts to sociotechnical systems*. [Versión Adobe Acrobat Document]. doi:10.2200/S00321ED1V01Y201012ETS014
- Vincenti, W. G. 1990. *What engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Westhusin, M. E.; Long, C. R.; Shin, T.; Hill, J. R.; Looney, C. R.; Pryor, J. H.; Piedrahita, J. A. 2001. Cloning to reproduce desired genotypes. *Theriogenology* 55(1): 35–49.
- Wilmot, I.; Beaujean, N.; De Sousa, P. A.; Dinnyes, A.; King, T. J.; Paterson, L. A.; Wells, D. N.; Young, L. E. 2002. Somatic cell nuclear transfer. *Nature* 419(6907): 583–7.

Wilmut, I.; Schnieke, A. E.; McWhir, J.; Kind, A. J.; Campbell, K. H. S. 1997. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature* **385**(6619): 810–3.

Agradecimientos

La investigación presentada en este artículo ha sido posible gracias al apoyo financiero del Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la Comisión Europea (FEDER) / Ministerio de Ciencia e Innovación de España – Agencia Estatal de Investigación (AEI) / Proyecto de Investigación “Estándares de prueba y elecciones metodológicas en la fundamentación científica de las declaraciones de salud” (*FFI2017–83543–P*) y de la ayuda predoctoral *PRE2018–085271*, así como de la Universidad de las Islas Baleares.