

LAS IMPLICACIONES SOCIALES DE LA PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA COMO ESPACIO PARA LA REFLEXIÓN FILOSÓFICA EN LA FORMACIÓN DE LOS INGENIEROS*

*The Social Implications of Engineering Practice as a Space for Philosophical
Reflection in Engineering Education*

Santiago CÁCERES GÓMEZ
Universidad de Valladolid
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6284-8056>

Guillermo ALEIXANDRE MENDIZÁBAL
Universidad de Valladolid
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5352-1745>

Francisco Javier GÓMEZ GONZÁLEZ
Universidad de Valladolid
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3558-3790>

Recibido: 24 de mayo 2022
Aceptado: 6 de junio 2022

RESUMEN

Desde el ámbito filosófico cada vez más autores muestran interés por abordar la reflexión filosófica de la ingeniería. Del lado de la ingeniería, existe una demanda definida por las sociedades profesionales y los organismos de acreditación de las titulaciones de ingeniería de inclusión de las ciencias sociales y humanidades en la formación de los ingenieros que, sin embargo, presenta deficiencias en su implantación. El objetivo del presente trabajo es justificar la inclusión de la reflexión filosófica en la formación de los titulados en ingeniería y, para mejorar la situación actual, presentar una propuesta

* Artículo realizado con la contribución del Proyecto Nacional «Praxeología de la cultura científica. Concepto y dimensiones» (FFI2017-82217-C2-1-P).

de asignaturas que muestre cuál pueda ser su espacio. La propuesta consiste en la inclusión de una asignatura específica que relacione la ingeniería y la sociedad, donde la reflexión filosófica juega un papel significativo, como complemento a la inclusión de la reflexión filosófica sobre problemas concretos en asignaturas específicas de corte tecnológico.

Palabras clave: Filosofía; Ingeniería; Implicaciones Sociales; Acuerdo de Washington.

ABSTRACT

From the philosophical sphere, more and more authors show interest in addressing a philosophical reflection of engineering. On the engineering side, there is a demand defined by professional societies and engineering degree accreditation bodies for the inclusion of social sciences and humanities in the training of engineers, which, however, has shortcomings in its implementation. The aim of this paper is to justify the inclusion of philosophical reflection in the training of engineering graduates and, in order to improve the current situation, to present a proposal for subjects that shows what space there might be for it. The proposal consists of including a specific subject that relates engineering and society, where philosophical reflection plays a significant role, as a complement to the inclusion of philosophical reflection on particular problems in specific technological subjects.

Key words: Philosophy; Engineering; Social Implications; Washington Agreement.

1. INTRODUCCIÓN

La fertilización cruzada entre la ingeniería y la filosofía constituye una práctica de interés para una sociedad marcada por el creciente peso de tecnología en todas las esferas de la actividad humana. La interacción entre estas dos disciplinas debe intensificarse por sus posibles sinergias, siendo positivo favorecer el establecimiento de puentes de comunicación entre ambas. Desde el ámbito filosófico cada vez más autores muestran interés por abordar la reflexión filosófica de la ingeniería. Del lado de la ingeniería, junto a la autorreflexión de carácter filosófico sobre la práctica de la profesión, existe una demanda de inclusión de las ciencias sociales y humanidades en la formación de los ingenieros que, sin embargo, presenta deficiencias en su implantación. El objetivo del presente trabajo es justificar la inclusión de la

reflexión filosófica en la formación de los titulados en ingeniería y presentar una propuesta de asignaturas y contenidos que hagan posible esta inclusión. Para desarrollar este objetivo, en el siguiente apartado se presentan de forma concisa reflexiones sobre la pertinencia de la reflexión filosófica de la ingeniería. A continuación, se analizará la inclusión de las ciencias sociales y humanidades en el ámbito formativo de los profesionales de la ingeniería, indicando los problemas de aplicación. Posteriormente, se realiza una propuesta de alternativas para superar esos problemas. Las conclusiones finales cierran este trabajo.

2. FILOSOFÍA DE LA INGENIERÍA

A diferencia de la filosofía de la ciencia y de la filosofía de la tecnología, que constituyen disciplinas consolidadas y con importante nivel de institucionalización, la reflexión filosófica sobre la ingeniería es escasa, habiendo sido inexistente hace unas décadas (van de Poel 2010). A pesar de ello, el reciente interés de la filosofía por la ingeniería ha permitido construir un discurso definido (Mitcham 2020) que reflexiona sobre las múltiples formas en que las innovaciones tecnológicas transforman la sociedad y las instituciones. Este interés se traduce en la necesidad de una comprensión metodológica y conceptual de las actividades y prácticas profesionales de la ingeniería y de sus implicaciones (Michelfelder y Doorn 2021).

Entre los autores que muestran interés por la relación entre la filosofía y la ingeniería destaca van de Poel (2010), que señala un conjunto de temas que pueden servir para delimitar el campo de la filosofía de la ingeniería: la conceptualización de la ingeniería; la relación entre la ciencia, la tecnología y la ingeniería; la naturaleza del conocimiento ingenieril y la justificación de tal conocimiento; los métodos empleados en la ingeniería, su adecuación y justificación; el estatuto del diseño en ingeniería; y los aspectos éticos relacionados con la profesión.

Algunas de las preguntas de interés para la filosofía están relacionadas con el conocimiento, los objetivos y valores desde los que se ejerce la práctica profesional. Pitt (2013) señala algunos ejemplos de este tipo de preguntas: ¿Cuál es la naturaleza del conocimiento que utilizan los ingenieros cuando resuelven problemas de ingeniería?, ¿en qué se diferencia del conocimiento científico?, ¿qué valores se ponen en juego en la toma de decisiones en ingeniería?, o Auyang (2006): ¿Cómo conforma la evolución tecnológica las decisiones que toman los ingenieros? o ¿qué factores ponen en juego los ingenieros cuando diseñan un sistema?

En sentido contrario, la reflexión también proviene desde el ámbito de la ingeniería. Aracil Santoja (1999), en su artículo «¿Es menester que los ingenieros filosofen?» indica que los ingenieros deben aprender de algunos pensadores a comprender lo que hacen, los problemas que encuentran al hacerlo y el sentido de su labor. En su reflexión sobre la ingeniería cuestiona la idea de que esta sea ciencia aplicada. Señala que el profesional de la ingeniería, cuando diseña, concibe o proyecta, está realizando una acción creativa, para la cual se valdrá de conocimientos, algunos provenientes de campos científicos, y usará el método racional que comparte con la ciencia. Esta acción creativa, la concepción de un mundo artificial, es parte de la esencia de la ingeniería.

Aracil Santonja distingue la actividad científica de la actividad de la ingeniería. La primera buscaría saciar la curiosidad y saber cómo son las cosas. En este sentido, el conocimiento se convierte en un fin en sí mismo. Su acción creativa se produciría en el ámbito de la abstracción y la generalidad. Para el ingeniero, el principal objetivo es buscar que lo concebido y realizado cumpla con los propósitos que lo ha originado. La acción creativa se centra en lo singular y concreto. El conocimiento, en este caso, es útil para resolver determinados problemas y, para lograr su objetivo, tiene que tener en cuenta todos los aspectos de la realidad y, además, asumir riesgos. Simpatizaría con la propuesta contra el método de Feyerabend, pues para el ingeniero todo vale con tal de alcanzar la meta propuesta. El funcionamiento es el criterio al que somete su obra.

Bulleit *et al.* (2015), en su trabajo «La filosofía de la ingeniería: qué es y por qué importa» [«Philosophy of Engineering: What It Is and Why It Matters»], señalan la importancia de la filosofía para la ingeniería, sirviendo de ayuda para avanzar en el diseño y en la práctica de esta profesión. De forma similar a Aracil Santonja, buscan desmarcar la ingeniería de la ciencia cuestionando la idea de que la ingeniería sea ciencia aplicada. La ciencia tiene por objetivo el conocimiento mientras que la ingeniería tiene por objetivo el cambio útil. Palabras asociadas a la ciencia son la necesidad, certeza, universalidad y abstracción. Busca el *saber-qué* objetivo. Por su parte la ingeniería se caracteriza por la contingencia, la probabilidad, la particularidad y la concreción. Descansa en el *saber-cómo* y las opiniones basadas en la experiencia personal.

En su reflexión sobre los pasos dados hacia la filosofía de la ingeniería, Mitcham (1998) destaca dos ideas para justificar la importancia de este ámbito de trabajo. La primera idea surge de la necesidad de autodefenderse de las críticas filosóficas de la ingeniería derivadas de actividades tales como la construcción de armas nucleares, que pueden destruir la civilización; el diseño de tecnologías de comunicación, que pueden incrementar el control

autoritario por parte de gobiernos y empresas; la contaminación por elementos químicos y gases de efecto invernadero; o la vinculación de la ingeniería con el patriarcalismo. Mitcham indica que los profesionales de la ingeniería deben tener algunos conocimientos de filosofía para manejar estas críticas adecuadamente. La segunda idea está vinculada con algunos problemas internos y profesionales que la ingeniería no es capaz de resolver con sus propios métodos. Estos problemas están vinculados con temas de seguridad, riesgos o impactos medioambientales; problemas que deben afrontarse desde una perspectiva o juicio ético. La profesión reconoce esta necesidad plasmándola en la elaboración de los planes de estudio conducentes al título de ingeniero.

En los siguientes apartados se profundiza en el análisis de experiencias que existen en este intento de establecer puentes entre filosofía y la ingeniería desde la orilla de la ingeniería y se plantean reflexiones sobre cómo mejorar esa necesaria interacción.

3. CONSIDERACIÓN DE LAS IMPLICACIONES SOCIALES DE LA PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA

La práctica de la ingeniería requiere reflexión sobre sus implicaciones sociales. En este sentido, necesita la participación de las ciencias sociales y humanidades, en general, y de la filosofía, en particular. Esta idea se recoge en los programas de acreditación de las titulaciones de ingeniería (ABET 2019; International Engineering Alliance 2014) y en los trabajos realizados desde la profesión de ingeniería, al menos en el ámbito anglosajón, encaminados a incorporar las ciencias sociales y las humanidades en los currículos de la formación de los ingenieros (American Society of Civil Engineers 2019; National Academy of Engineering 2005; 2016; National Society of Professional Engineers 2013).

3.1. *La integración de los aspectos sociales en la formación de los ingenieros*

La ingeniería es algo más que un conjunto de conocimientos, habilidades y prácticas. Constituye un conjunto de prácticas sociales desarrollada por un grupo humano que comparte una cultura, en este caso profesional, que incluye supuestos, creencias, normas, valores y normas éticas, y que cuenta con un marco institucional y organizativo. A pesar de que la cultura de la ingeniería no es monolítica y varía entre titulaciones y entre países, incorpora un conjunto de elementos que pueden considerarse comunes. Dentro de esos elementos tiene un lugar preminente la definición de la relación de la

ingeniería con la sociedad: qué puede considerarse un problema a ser resuelto desde la ingeniería y qué elementos deben considerarse o no en los trabajos profesionales. Los estudiantes de ingeniería, al realizar los estudios universitarios de grado y máster, además de los contenidos propios de la titulación particular de ingeniería que estén estudiando, aprenden a *ser ingenieros* y a ver el mundo desde una óptica particular común a los miembros de la profesión, en general, y de su especialidad, en particular.

Es dentro del contexto de la profesión donde se reconoce las profundas implicaciones que tiene la actividad de los titulados en ingeniería en la sociedad, tal y como puede observarse actualmente con los profundos cambios que está originando el despliegue de las tecnologías de la información y la comunicación en el desarrollo de las denominadas sociales digitales (WBGU – German Advisory Council on Global Change 2019). Estos cambios están suscitando una gran reflexión sobre temas como la dirección del cambio y las posibilidades y riesgos que genera. Además, afectan a todos los ámbitos, desde las personas y las relaciones sociales, pasando por las comunidades locales y la sociedad en su conjunto, hasta alcanzar al medioambiente, ya sea para mejorar y como fuente de nuevas oportunidades o como amenazas. Los cuestionamientos se plantean en áreas de lo más diversas tales como el ámbito de la justicia, la labor policial, la educación, la salud o la credibilidad política.

Ante los posibles escenarios disruptivos que el desarrollo tecnológico puede generar a nivel local o global, la profesión se plantea la necesidad de abordar y concretar su relación con la sociedad y, también, la conveniencia de incorporar en la formación de los ingenieros un marco de reflexión sobre el alcance de las soluciones de ingeniería en la sociedad. En ambas cuestiones es necesario el concurso de las ciencias sociales y humanidades.

Esta relación y su incorporación a la formación de los ingenieros tiene su materialización en los criterios definidos para la acreditación de las titulaciones que se establecen en los distintos países. Una referencia internacional, que está suscrita por las organizaciones reconocidas para la acreditación de los títulos académicos de ingeniería profesional de grado en distintos países, y que recoge este tipo de cuestiones es el Acuerdo de Washington (International Engineering Alliance 2021). Este Acuerdo, definido por la Alianza de Ingeniería Internacional, fue establecido en 1989 por organizaciones de seis países del ámbito anglosajón y en la actualidad cuenta con la adhesión de 21 países y siete países con un estatus provisional mientras recorren el proceso de convertirse en firmantes de pleno derecho¹.

1. Los países promotores son Australia, Canadá, Irlanda, Nueva Zelanda, Reino Unido y Estados Unidos a lo que se une Corea, Rusia, Malasia, China, Sudáfrica,

Para estos países, el proceso de formación del ingeniero o ingeniera profesional comienza cursando un grado reconocido por el Acuerdo de Washington, continúa mediante la experiencia laboral para desarrollar las competencias profesionales y la madurez personal necesaria, y se prorroga a lo largo de la vida laboral mediante el mantenimiento de las competencias. En la versión del 2021 del Acuerdo se recogen los atributos de los problemas a los que se enfrentan los ingenieros (9 WP, Washington Problems), los atributos de las actividades que realizan (5 EA, Engineering Activities), los conocimientos (9 WK, Washington Knowledge), actitudes (11 WA, Washington Attribute) y competencias profesionales (13 EC, Engineering Competences) necesarias para realizar su actividad y sirve para detectar el papel que juegan las ciencias sociales y las humanidades, en la formación en ingeniería.

Las competencias definidas en el Acuerdo de Washington son genéricas para la profesión de ingeniería y deben concretarse para cada grado particular. Como elemento aglutinador el Acuerdo señala que deben ser *sustancialmente equivalentes* para todos los países, pero no se espera que todos los países tengan idénticos contenidos o que los graduados adquieran el mismo tipo de competencias.

La práctica de la ingeniería implica centrarse en los aspectos concretos del sistema, proceso o dispositivo objetivo. Para la realización de una actividad concreta en el ámbito de la ingeniería se requiere la concurrencia de múltiples factores. Así, desde la perspectiva del *rango de identificación y resolución de problemas* pueden encontrarse características de lo que se puede denominar *tecnología posnormal*, aplicando el término definido por Funtowicz y Ravetz (2000) en el ámbito científico. Así, los problemas a analizar y resolver en el ámbito de la ingeniería son complejos e interdependientes, requieren una aproximación sistémica (WP7), no tienen una solución obvia (WP3), suponen problemas nuevos o infrecuentes (WP4) e involucran asuntos de tipo técnico o no técnico de amplio rango que pueden ser conflictivos en áreas tales como la ética, la sostenibilidad, la política, la economía y la sociedad (WP2). Además, se acepta la necesidad de la integración de otras partes interesadas, ya sean del ámbito de la ingeniería o de otros ámbitos (WP6). Aun cuando no se especifica, estos grupos amplios podrían incluir la participación pública en los proyectos de ingeniería.

En esta misma línea de la *tecnología posnormal*, el *rango de las actividades de ingeniería* suponen la utilización de una variedad de recursos posibles que

Hong Kong, Taipéi, Singapur, Sri Lanka, Japón, India, Turquía, Costa Rica, Pakistán y Perú. Los siete países en situación transitoria son: Chile, Tailandia, Bangladés, México, Filipinas, Myanmar e Indonesia.

incluye personas, información, aspectos financieros, físicos y tecnológicos (EA1), presenta un nivel alto de interacción con elementos de tipo técnico y no técnico (EA2), tiene consecuencias significativas caracterizadas por la dificultad de mitigación y de predicción (EA4) y, finalmente, puede extenderse más allá de las experiencias previas (EA5) lo que implica que no está claro si las competencias de las que se dispone son las adecuadas o no.

La propuesta de la ciencia posnormal, introducida por Funtowicz y Ravetz, plantea que la posnormalidad aparece cuando se trata de resolver problemas con una alta incertidumbre en los sistemas y donde lo que se pone en juego en la decisión es también de alto nivel. Una parte importante del conjunto de problemas a los que se enfrenta la tarea de ingeniería encaja perfectamente en esta tipología.

Uno de los cánones principales del código ético de la ingeniería (National Society of Professional Engineers 2019) es «mantener la seguridad, la salud y el bienestar del público como prioridad». También entre las obligaciones profesionales se indica que «los ingenieros se esforzarán en todo momento por servir al interés público». En este sentido y para conseguir ese objetivo una pregunta relevante a responder sería ¿qué papel juegan y cómo se integran los efectos sociales de la actividad del ingeniero en su formación? En el Acuerdo de Washington se señalan algunos elementos tanto desde la perspectiva del graduado como del ingeniero profesional.

En el caso del graduado el conjunto de conocimientos que debe adquirir incluyen: conciencia de ciencias sociales relevantes (WK1), del papel de la ingeniería en la sociedad y la identificación de estos aspectos en la práctica de la disciplina de ingeniería correspondiente (WK7) y de las normas, responsabilidades y ética profesional (WK9). Incluyen, además, la conciencia de la necesidad de una actitud inclusiva hacia la diversidad de tipo ético, género, edad y capacidad física (WK9) o la responsabilidad de la ingeniería hacia la seguridad pública y el desarrollo sostenible definido a partir de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (WK7). Por otro lado, las competencias a adquirir incluyen: desde la perspectiva del análisis, la consideración holística por el desarrollo sostenible en la identificación y formulación de problemas de ingeniería complejos (WA2); en lo referente al diseño de sistemas, procesos o componentes; que satisfagan un conjunto de necesidades que incluyen la consideración de, entre otros, aspectos culturales, sociales, medioambientales, de seguridad y salud pública y el coste a lo largo de toda la vida (WA3); respecto a la resolución de problemas complejos; el análisis y evaluación de impactos a la sociedad, la economía, la sostenibilidad, la salud y seguridad, el marco legal y el medioambiente (WA6); finalmente, desde la ética, la aplicación de principios éticos y el compromiso ético profesional (WA7).

Desde la perspectiva del ingeniero como profesional es posible encontrar: el diseño y desarrollo de soluciones que tengan en cuenta la perspectiva de las partes interesadas (EC4); el reconocimiento de los efectos económicos, sociales y ambientales y la búsqueda de resultados sostenibles (EC6); desarrollar las actividades de forma ética (EC8); y satisfacer los requisitos legales, regulatorios y culturales, así como proteger la seguridad y la salud pública (EC7).

Por lo tanto, el Acuerdo de Washington traslada de forma clara la tarea de la ingeniería a los conocimientos, habilidades, rango de problemas a resolver y de actividades de ingeniería, incluyendo la perspectiva de la profesión, que el futuro ingeniero debe adquirir en su paso por la academia. Identifica y refleja de manera evidente y rotunda la incorporación de una perspectiva y reflexión de carácter social en el conjunto de las actividades del ingeniero, ya sea el análisis, el diseño, la identificación y resolución de problemas o las consideraciones éticas de las operaciones. Además, estas actividades incluyen parámetros como pueden ser la perspectiva sistémica, la incertidumbre inherente, la ampliación de los puntos de vista a partes no técnicas, etc., que desbordan las herramientas típicas vinculadas con las ciencias naturales y con las actividades de la ingeniería desde una visión restringida.

Desde una perspectiva temporal, la extensión de los elementos vinculados a las ciencias sociales y humanidades en el conjunto del currículo de ingeniería para países signatarios del Acuerdo de Washington es de aproximadamente un cuatrimestre, como ocurre en el caso de Estados Unidos y Canadá (Engineers Canada 2017).

3.2. Aplicación práctica de estas propuestas

El reconocimiento de la importancia de los contenidos de ciencias sociales y humanidades en las titulaciones de ingeniería forma parte de un proceso iniciado en la segunda mitad del siglo XX (Stephan 2002). Si bien la propuesta es clara, los resultados de la materialización en los planes de estudio de las titulaciones de ingeniería distan significativamente de ser los que se esperarían del cumplimiento en los acuerdos internacionales. Estos desajustes se detectan en países como Canadá o Estados Unidos, tal como se presenta a continuación, lo que pone de relieve las dificultades de establecer puentes que integren campos de trabajo hasta ahora distantes.

En Canadá, un estudio realizado sobre la integración de contenidos sociales en las titulaciones de ingeniería refleja una clara separación entre los contenidos científicos y tecnológicos y los contenidos sociales o filosóficos (Vanderburg 2006b; Vanderburg y Khan 1994). Las asignaturas de corte cien-

tífico y tecnológico en el ámbito de la ingeniería se centran principalmente en la tecnología, mientras que no se realiza una conexión adecuada con la tecnología en las asignaturas de corte social y humanístico que se proponen para los estudiantes de ingeniería. Esto supone que los estudiantes no adquieren ningún tipo de habilidad que les permita incorporar estos aspectos a la identificación y definición de las situaciones problemáticas, su transformación en requisitos del diseño y métodos para el diseño de dispositivos, sistemas y servicios que integren esta perspectiva.

Dos estudios longitudinales realizados en Estados Unidos sobre los cambios en las percepciones de los estudiantes sobre la integración de aspectos sociales en la ingeniería (comparando la situación al comenzar una titulación y al finalizarla) reflejan resultados pesimistas, pues indican que los alumnos finalizan los estudios con un menor nivel de concienciación social que cuando empezaron la titulación (Cech 2014a; 2014b; Rulifson y Bielefeldt 2019). Por tanto, la educación real en ingeniería, a pesar de las propuestas realizadas desde los organismos de acreditación, actualmente, promueve una «cultura del desapego» (Cech 2014b), que define el bienestar público como colateral a la práctica de la ingeniería.

Para modificar esta situación, los trabajos analizados apuntan a la necesidad de tener en cuenta varios aspectos. Por un lado, la necesidad de una mayor integración de los aspectos sociales en el núcleo duro de las competencias que un estudiante debe adquirir. Esto se lleva a cabo integrando estos aspectos en el contexto de las asignaturas tecnológicas. Por otro lado, apuntan a la necesidad de revisar los contenidos de las asignaturas del área de artes y humanidades y de ética de forma que se incluya más elementos vinculados con la relación entre la tecnología y la sociedad, contribuyendo a integrar ambas esferas. En este sentido, como se refleja posteriormente, la reflexión filosófica es clave para realizar esa conexión.

4. ASIGNATURAS EN INGENIERÍA Y EL ESPACIO DE LA FILOSOFÍA EN ELLAS

A la luz de las posibilidades que se recogen en el marco del Acuerdo de Washington y las limitaciones prácticas detectadas, se presentan dos modos de llevar a cabo la integración de aspectos sociales y filosóficos en la formación en ingeniería. Por un lado, a través de una asignatura específica sobre la temática de ingeniería y sociedad y, por otro lado, mediante su incorporación en asignaturas técnicas de la titulación de ingeniería que fusionen dichos aspectos. Estos dos enfoques son complementarios, y la opción que generaría unos mejores resultados, que es la propuesta que presentamos en este trabajo,

es la combinación de ambos. El motivo es que, además de promover un pensamiento crítico sobre la relación entre ingeniería y sociedad, los alumnos deben adquirir las competencias necesarias para introducir requisitos y estrategias de resolución de problemas que afronten el impacto social de las soluciones de ingeniería.

4.1. *La inclusión de reflexiones filosóficas en Asignaturas específicas sobre ingeniería y sociedad*

Dentro de la definición de una asignatura específica sobre ingeniería y sociedad, y para lograr que una de las fuentes más significativas de reflexión sea la filosófica, es necesario desarrollar la justificación de la propia asignatura adecuadamente, conectándola con los documentos correspondientes a la acreditación de las titulaciones de ingeniería como el Acuerdo de Washington u otros como: el ABET (2019) de Estados Unidos; el CEAB de Canadá (Engineers Canada 2017); o el EUR-ACE (2015) en el caso europeo. Se trata de reflejar las referencias que en estos documentos se realiza, tal y como se ha mostrado en el apartado anterior, a la conexión con la sociedad y la vinculación de las diferentes actividades del ámbito de la ingeniería relacionadas con la misma tales como: análisis, diseño, solución de problemas, aspectos éticos, etc.

Una vez justificada la asignatura, se deben introducir los conceptos de ciencia, tecnología, ingeniería y cultura, para pasar, posteriormente, a definir la influencia recíproca entre la cultura, incluida la cultura de la ingeniería, y la actividad propia de la ingeniería que es el desarrollo tecnológico y el diseño de bienes y servicios tecnológicos para la mejora de situaciones problemáticas. Es decir, la tecnología configura la cultura y la cultura, a su vez, configura la tecnología. El núcleo de la reflexión sobre la ingeniería y la sociedad se desarrolla en el análisis de esta interrelación.

En un sentido, la tecnología configurando la cultura, puede articularse con dos enfoques principales. Por un lado, por ejemplo, reseñando el cambio cultural que está suponiendo el despliegue de las tecnologías digitales en la sociedad y sus impactos en nuestra privacidad, el ocio, las pautas de interacción y comunicación, el puesto de trabajo en particular y los trabajos en general, la psicología, el gobierno y la propia democracia.

Por otro lado, y como contrapeso a la idea generalizada entre los estudiantes de que la tecnología genera beneficios a la sociedad, es importante explicitar también los efectos perjudiciales y cómo afectan de forma asimétrica a diferentes grupos sociales. Para ello conviene presentar e identificar

algunos de los impactos sociales negativos significativos a lo largo del ciclo de vida de un producto, indicando, por ejemplo, los dispositivos electrónicos, componentes fundamentales en el despliegue de la sociedad digital. Así, en una enumeración breve de impactos sociales negativos estarían: trabajos semi-esclavos y violación sistemática de mujeres y niños relacionadas con la explotación de minas de tántalo, estaño, cobalto, oro, etc. en la República Democrática del Congo (United Nations Security Council 2001); condiciones laborales leoninas (Gallagher y Zarsky 2007) y riesgos para la salud de trabajadores y comunidades cercanas a las plantas de producción derivados de los productos químicos necesarios para la fabricación de los componentes electrónicos (Kim, Kim, y Paek 2014); problemas derivados de la pérdida de privacidad junto con mayor capacidad de modificación del comportamiento asociados a la mayor facilidad de extracción de información privada (Zuboff 2019); y, finalmente, riesgos para la salud y contaminación de terrenos, aguas y aire derivados de la externalización de los residuos electrónicos hacia países de bajos ingresos (Grant *et al.* 2013).

En el otro sentido de la relación, la cultura configura el desarrollo tecnológico y la innovación. Esta perspectiva es más compleja pues colisiona con la visión extendida en la profesión y, en menor medida, en la sociedad de que la tecnología es neutra. Por esta razón, es necesaria una mayor explicación para superar asunciones previas en la comprensión del hecho tecnológico.

El análisis de cómo la cultura en general y la cultura de la ingeniería en particular, contribuyen a conformar el tipo de tecnología se extiende a todas las actividades propias de un ingeniero. En primer lugar, para problemas complejos no está claro si el tipo de intervención debe realizarse en el ámbito de la ingeniería, de otra área de conocimiento, o de un conjunto de las mismas, cada una con su propia visión cultural de la naturaleza del problema.

Cuando se analiza una determinada problemática el experto en un área tiende a percibir especialmente aquellos aspectos de la realidad que ha aprendido a identificar desde su formación especializada y, particularmente, desde la experiencia profesional. Estos aspectos particulares salientes, junto con el conjunto de metodologías apropiadas para abordar la situación, surgen de forma natural desde la perspectiva del experto. El resto de elementos de la situación pasarán desapercibidos o se tratarán de forma muy simplificada. Esto lleva a una visión cultural de la realidad, desde una cultura profesional, que conlleva una inevitable perspectiva distorsionada de la misma. Se produce un triple proceso de abstracción. Por un lado, se consideran aquellos aspectos de la realidad que se corresponden con los familiares de la cultura profesional particular y aquellos aspectos que caen fuera del ámbito de conocimiento se simplifican, incorporándose como entradas y salidas a nuestro sistema. Por

otro, para abordar la situación se utilizan aquellas herramientas con las que el experto está familiarizado. Finalmente, como criterios de mejora se utilizan parámetros culturales como la eficiencia, productividad, o beneficio (Vanderburg 2006a).

Una vez determinado que la situación requiere de la intervención de un profesional del ámbito de la ingeniería, el primer análisis supone la determinación de qué y quienes se incluyen en la definición de la situación y qué y quienes se quedan fuera. Esta es una parte importante de la intervención desde el punto de vista de la ingeniería pues, tal y como se señala en el Acuerdo de Washington, la identificación y formulación es una competencia a ser adquirida por parte de los estudiantes de ingeniería que, además, es una parte significativa de la solución del mismo. Además, determinará las posibles alternativas, partes interesadas y recursos tanto humanos como no humanos necesarios para llevar a cabo la intervención. En este punto, la cultura profesional del ingeniero mediatiza los elementos a considerar y las posibles alternativas. Así, por ejemplo, hasta hace unas décadas, el medioambiente no era un elemento que se considerara en el diseño en ingeniería. Los ingenieros valoraban como no significativos los procesos que involucraban los aspectos medioambientales tales como el posible impacto derivado de la producción de gases de efecto invernadero o potenciadores del agujero de la capa de ozono.

Además de definir el problema, la visión del experto determina cuáles son los métodos, herramientas, roles principales requeridos por la situación y también qué se entiende por una solución adecuada. De nuevo entra dentro de los parámetros propios de la cultura profesional. Aquellas posibilidades no contempladas en la visión cultural del profesional no se considerarán como aspectos a esperar en la solución adoptada.

Entender esta influencia cultural en el despliegue tecnológico es crucial si se quieren abordar la multitud de problemas que afrontamos actualmente. Así, una nueva dimensión a incorporar de forma explícita en la cultura de la ingeniería es la correspondiente a la tercera dimensión del desarrollo sostenible: la sociedad. Una vez identificado el marco cultural como mediador de los desarrollos tecnológicos pueden definirse cuáles son los elementos que definen la cultura de la ingeniería, su pertinencia para abordar las problemáticas ambientales, sociales y económicas actuales y los elementos que deben ser modificados o incluidos para acomodar las tareas de la ingeniería a los grandes retos que se plantean a nivel social y ambiental. En esta línea, entre otros elementos significativos se considera la necesidad de incorporar una visión sistémica, la evaluación de impacto social y la participación pública.

Típicamente, las asignaturas de corte técnico incorporan solamente aquellos contenidos y prácticas que son propios de la materia correspondiente y

los problemas que el alumno aprenderá a resolver requerirán, como elementos nucleares, aquellos conocimientos, metodologías y herramientas definidas en esa parcela de conocimiento. Sin embargo, en la práctica, es necesaria una visión global, sistémica que se aproxime al mundo real de la ingeniería que incorpora una riqueza de elementos mayor de lo que es común incluir en una asignatura de una tecnología específica. Así, por ejemplo, se deben introducir aspectos vinculados a la salud y seguridad en el trabajo, el medioambiente, los efectos o implicaciones sociales y culturales, elementos económicos, temporales, etc. Todo ello unido a la noción de interconexión o relación entre unos elementos y otros junto con las interdependencias creadas por un lado y las nuevas propiedades emergentes del sistema finalmente constituido.

En el caso de los sistemas complejos, estos pueden adquirir lo que Hughes (1989) denomina *momentum*, por su analogía con la magnitud física *momento lineal* o *cantidad de movimiento*. Esta equivalencia se basa en que los sistemas complejos adquieren *inercia* o *masa* vinculada a las tecnologías desarrolladas y a las organizaciones involucradas, equiparable a la masa inercial de un cuerpo. Cuanto mayor sea la masa, mayor dificultad tendrá a cambiar su estado de movimiento (adquisición o pérdida de velocidad). Poseen dirección, en el caso del sistema derivada de los objetivos que se persiguen con el mismo, mientras que en el caso del cuerpo está relacionado con el vector movimiento. Finalmente, el sistema presenta una tasa de crecimiento, sugiriendo velocidad.

Un concepto similar al de momento asociado a una tecnología o sistema tecnológico, es el de bloqueo dependiente de la trayectoria. Este bloqueo puede ser de varios tipos (Seto *et al.* 2016): a) relacionado con la tecnología desarrollada, b) las instituciones y organizaciones implicadas y, finalmente, c) los comportamientos individuales o de una sociedad. Estos bloqueos no son independientes, manifestando su carácter sistémico.

Un elemento sustancial de la visión sistémica es el aspecto relacional y el dinamismo subyacente que este aspecto plantea. En este sentido, pueden producirse retroalimentaciones negativas, esto es, resultados que favorecen la reducción de los efectos de un cambio en una de las entradas del sistema. También retroalimentaciones positivas donde se produce el efecto contrario, los resultados refuerzan el efecto de la variación inicial de la entrada, produciendo con gran rapidez desbordamientos del fenómeno que se esté considerando.

Otro tema que debe introducirse en este tipo de asignatura es la evaluación del impacto social de la tecnología, pues establece una de las metodologías que mejor pueden incluir la reflexión sobre los aspectos sociales en la ingeniería. Se ha desarrollado una metodología (UNEP-SETAC 2009) similar a la de evaluación de los impactos medioambientales que ya se ha ido incorporando

en la ingeniería en general y con profundidad en determinadas ramas como la ingeniería química, donde no se puede aceptar un proyecto sin que tenga asociado el correspondiente estudio de impacto medioambiental.

En un apartado anterior se ha presentado un ejemplo de los posibles impactos sociales asociados a una tecnología concreta. Con esta metodología se trata de definir cómo internalizar estos impactos para eliminarlos, mitigarlos o bien para compensar los posibles efectos negativos, llegando a cancelar la actividad de ingeniería si fuera excesivamente problemático para trabajadores o para la comunidad.

La evaluación de impacto social se realiza, siguiendo la perspectiva sistémica, a lo largo del ciclo de vida de la actividad planificada. Tiene en cuenta ámbitos como los trabajadores, la comunidad local, la sociedad en su conjunto, los actores de la cadena de valor y los consumidores.

Existen otras propuestas y conceptos próximos a la evaluación de impacto social que también contribuyen a la reflexión. Estas propuestas son las siguientes: Evaluación de Tecnologías (constructiva, participativa...), Retorno Social de la Inversión, Evaluación del Riesgo o la Auditoría Social.

Otro elemento más a incluir en la relación entre la tecnología y la sociedad es la participación pública en los proyectos de ingeniería. Esta viene incorporada como un elemento clave y fundamental de la evaluación del impacto social de un proceso planificado. Aun así, la participación pública en los proyectos de ingeniería se promueve desde varias instancias. En primer lugar, desde la gestión de proyectos. El libro de conocimiento de la gestión de proyectos (Project Management Institute 2017) dedica un capítulo entero a la gestión de las partes interesadas en el proyecto. Así, se destaca que:

La Gestión de los Interesados del Proyecto incluye los procesos requeridos para identificar a las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por el proyecto, para analizar las expectativas de los interesados y su impacto en el proyecto y para desarrollar estrategias de gestión adecuadas a fin de lograr la participación eficaz de los interesados en las decisiones y la ejecución del proyecto. (Project Management Institute 2017, 503).

El libro señala que el proceso de gestión de las partes interesadas debe empezar cuanto antes en el desarrollo del proyecto. En este contexto, el objetivo principal detrás de la gestión del proyecto es la consecución del mismo y la gestión se realiza para favorecer ese objetivo, si bien la satisfacción de las partes interesadas debería ser uno de los objetivos del propio proyecto. Las claves propuestas son: comprender las necesidades y expectativas de las partes interesadas; abordar los incidentes en el momento en el que suceden;

gestionar los conflictos; y fomentar un adecuado involucramiento en las decisiones y actividades del proyecto.

Otro enfoque que promueve la participación pública en la realización de proyectos se localiza en los proyectos de minería, donde las propias empresas promueven el concepto de «licencia social para operar» (Moffat y Zhang 2014). En este caso, el objetivo principal es buscar la aprobación social para el establecimiento de una mina, abarcando desde la seguridad de los trabajadores hasta la sensibilidad cultural. El grado de participación va desde la aceptación hasta la colaboración o desde la no aceptación hasta las protestas. En cuanto al enfoque desde la evaluación del impacto social, Vanclay *et al.* (2015) plantean la participación pública como algo necesario y beneficioso para los objetivos del proyecto, buscando integrar su visión y que las partes interesadas se involucren en el proyecto, a pesar de las dificultades que esto pueda plantear en ocasiones.

Existen otros temas significativos a incluir en la asignatura tales como la ética en ingeniería o la perspectiva de género, pero no se desarrollan en este trabajo por ser temas más estudiados y aceptados.

La aportación del pensamiento filosófico en una asignatura de este tipo es directa, contribuyendo a todos los elementos presentados anteriormente: a la definición de los conceptos de ciencia, tecnología, ingeniería y cultura; a reflexionar sobre las implicaciones del desarrollo tecnológico en la sociedad y a analizar los posibles impactos tanto positivos como negativos más allá de los directamente evidentes; a comprender y definir la cultura profesional y cómo, junto con la cultura general, delimitan las líneas de desarrollo de la tecnología; a la justificación de la participación pública en el desarrollo tecnológico donde la propuesta de la ciencia posnormal de inclusión de un conjunto extendido de participantes legítimos, puede ser un ejemplo particular; a reflexiones generales, como la necesidad de consideración de la perspectiva de género en ingeniería o, especialmente, las múltiples reflexiones éticas a nivel micro o macro derivadas de la práctica de la ingeniería.

4.2. *La inclusión de reflexiones filosóficas en asignaturas de las titulaciones de ingeniería*

Que los estudiantes de las titulaciones de ingeniería tengan una asignatura específica donde, de forma general, se relaciona la ciencia, la tecnología, la ingeniería, la sociedad y el medioambiente es manifiestamente insuficiente. Un estudiante puede percibir que las competencias que se manejan en dicha asignatura pueden ser significativas, pero no adquirir la forma de incorporarlas

a la práctica de la ingeniería, donde, por el contrario, está adquiriendo competencias de análisis y diseño en ingeniería que no requiere de ningún tipo de reflexión sobre los aspectos sociales, tal y como aparece reflejado en el trabajo de Vanderburg (1994). Visto de otro modo, el alumno aprende de forma implícita (currículo oculto) que, en el diseño en ingeniería, los aspectos y dimensiones sociales, salvo para situaciones particulares, no tienen nada que ver con el ejercicio de la ingeniería salvo el beneficio que su actividad genera. Esto es así, no porque se haga explícita esa falta de relación, que sí se hace en algunos casos, sino porque estos aspectos no aparecen de forma explícita en el conjunto de conocimientos y experiencias prácticas de las asignaturas científicas y tecnológicas específicas. Por ejemplo, a la hora de diseñar un dispositivo o sistema, al alumno no se le pide que tenga en cuenta las implicaciones sociales de ese diseño o no se expresa como requisito alguna característica social que el diseño tenga que incorporar.

Es por tanto necesaria la inclusión de los aspectos sociales en las asignaturas tecnológicas específicas de la titulación, al menos en parte de ellas. Una herramienta posible y susceptible de adaptarse a las características de las asignaturas de ingeniería es la evaluación de impacto social. Esta metodología puede incorporarse fácilmente en una asignatura de corte transversal y sistémica como puede ser la Gestión de Proyectos, y en asignaturas de diseño propias de cada titulación.

4.2.1. La inclusión en la asignatura gestión de proyectos

La gestión de proyectos es una materia transversal en las titulaciones de ingeniería al ser una de las actividades propias de la profesión. Conlleva implícita la planificación, de principio a fin, de las tareas a desarrollar para lograr los objetivos definidos para mejorar una situación dada, o para desplegar ideas novedosas. Normalmente, aunque no es siempre el caso, un proyecto es la concreción o realización física de una visión estratégica definida por la institución o empresa responsable del mismo.

El desarrollo de un proyecto se realiza en diferentes etapas (Project Management Institute 2017) que, desde una perspectiva muy amplia y para el objetivo de este trabajo, pueden resumirse en tres principales: inicio y planificación, ejecución y cierre².

2. La etapa de inicio supone la definición y el análisis del problema a resolver o la oportunidad a desarrollar, selección de alternativas posibles, análisis de viabilidad y selección de una alternativa concreta, y decisión sobre la realización o no del proyecto.

Las interacciones entre la filosofía y la ingeniería en el ámbito de la gestión de proyectos se realizan, principalmente, en aquellas fases en las que haya que tomar decisiones globales significativas sobre el proyecto, especialmente, las que puedan involucrar un impacto social significativo. Así, la fase de inicio en el momento del análisis del problema y la definición de los requisitos, en la fase de ejecución cuando sea necesario tomar decisiones significativas que alteren lo planificado y, especialmente, a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto en los procesos de evaluación de impacto social y en la participación pública.

La reflexión filosófica es especialmente significativa cuando se analiza la situación, se plantean alternativas y se establecen los requisitos del proyecto. Estos requisitos definen las propiedades, atributos, valores o capacidades que el artefacto, proceso o sistema objeto del proyecto debe incluir, conjuntamente con las personas que pueden considerarse partes interesadas del mismo. La reflexión realizada influye en las capacidades y prestaciones del producto final, así como en sus implicaciones sociales y medioambientales. No puede esperarse que el producto final presente características que no se hayan considerado en este proceso. Por ejemplo, la inclusión como requisito de la fácil reparabilidad del producto. Si esta característica se define dentro de los requisitos del diseño, aparecerá en el producto final, y éste será más fácil de reparar que otros productos, pues así se habrá diseñado. Esta prestación puede tener como contrapartida la pérdida de eficiencia de alguna funcionalidad del producto. En la definición de requisitos del proyecto, además del cliente y de la comunidad tecnológica, el contexto, entendido como aspectos políticos, culturales, económicos, normativas y estándares, organizativos, etc. influyen en la definición final de los requisitos del sistema objeto del proyecto de ingeniería. De hecho, según quienes participen en el análisis inicial del

Una vez tomada la decisión de realizar el proyecto, se planifica el mismo con el máximo grado de detalle posible para prever todas las contingencias posibles. Al finalizar esta etapa se dispondrá de toda la información necesaria para la ejecución física del proyecto.

La segunda etapa del ciclo de vida del proyecto consiste en efectuar lo planificado tal y como se ha previsto en la primera etapa, prestando atención y resolviendo las posibles contingencias que pudieran suceder derivadas de las incertidumbres de la información de la que se disponía durante la fase de planificación o bien por efecto de la alteración no prevista de las circunstancias bajo las cuales se debe desarrollar el proyecto.

Una vez finalizada la ejecución del proyecto, se procede a la etapa de cierre del mismo donde, además de la entrega del objeto del proyecto, entre otras actividades, se realiza la evaluación tanto de la ejecución del proyecto en sí mismo, con objeto de obtener aprendizajes del proceso, como de la adecuación del resultado del proyecto a los objetivos iniciales establecidos.

proyecto, éste se podrá orientar en una dirección u otra, o tendrá en cuenta unos elementos u otros a los que se asignará un grado de importancia diferente.

Un ejemplo de la importancia de la reflexión filosófica sobre el establecimiento de requisitos se puede encontrar en el diseño del coche autónomo. Esta tecnología hace necesario reflexionar sobre cómo programar su comportamiento ante situaciones que reflejen posibles dilemas morales. En este caso, el dilema filosófico del tranvía se traduce a la versión del coche autónomo, y consiste en determinar cómo debe responder el coche en una situación de fallo del sistema de frenado cuando tiene dos posibles alternativas: arroyar a un grupo de personas, o desviarse de la trayectoria impactando con un muro con el resultado del fallecimiento de los pasajeros del coche («Moral Machine» s. f.). Otros ejemplos de reflexión filosófica que se pueden traducir en requisitos del proyecto son: el diseño de sistemas que puedan atentar contra la privacidad de las personas; el alcance del diseño de sistemas que utilicen sistemas de inteligencia artificial para la toma de decisiones en los sistemas judicial y de salud; diseños que incrementen la inseguridad de personas vulnerables como pueden ser los valores biométricos de personas refugiadas o emigrantes; dilemas significativos como la toma de decisión sobre determinados compuestos químicos, como el PFOA, que son básicos para la industria electrónica y para los que no se dispone de compuestos con los que se les pueda sustituir y, a la vez, son extraordinariamente perjudiciales para la salud humana y el medioambiente y cuyo uso, por ley, se está eliminando gradualmente. Una reflexión filosófica, particularmente de carácter ético, es necesaria y pertinente en estas y otras situaciones concretas.

Otra actividad del proyecto donde la reflexión filosófica es pertinente es la asociada con la evaluación del impacto social, que se lleva a cabo en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto. Así, por ejemplo, al realizar los estudios de viabilidad del proyecto es necesario comprender el alcance y las implicaciones sociales de las diferentes alternativas.

El desarrollo del proyecto debe contar con la participación de las partes afectadas y las interesadas. Si bien este es un aspecto intrínseco a la evaluación de los impactos sociales, la participación de las partes interesadas, entendida desde la gestión de las mismas, es una dimensión propia de la gestión de proyectos, tal y como se ha reseñado anteriormente.

Tanto la participación pública como la evaluación de los impactos sociales deben mantenerse a lo largo del ciclo de vida del proyecto para abordar las posibles nuevas situaciones, anticipadas al comienzo del proyecto o no, que puedan surgir como resultado de la variación de los valores de alguno de los parámetros o de cambios en las circunstancias del proyecto y que pueden

suponer desde ligeras variaciones respecto a lo planteado al comienzo del mismo hasta auténticas amenazas para su consecución, con la correspondiente toma de decisiones que debería ser socialmente informada.

4.2.2. La inclusión en asignaturas técnicas

De todas las alternativas posibles para introducir reflexiones filosóficas en las enseñanzas universitarias de ingeniería, esta es la más complicada, pues implica tener que reorganizar y reorientar una asignatura ya existente para que incluya una perspectiva holística que incorpore aspectos sociales y ambientales además de los tecnológicos, entendidos estos últimos en el sentido restringido que señala Pacey (1983). El planteamiento que se realiza a continuación es genérico y requeriría una adaptación concreta a cada ámbito de la ingeniería y a cada asignatura.

Una posibilidad es la introducción de pequeños contenidos donde se reflexione sobre la relación de la asignatura específica con sus implicaciones sociales. Por ejemplo, en una asignatura del ámbito de la electrónica pueden plantearse cuestiones relacionadas con las condiciones sociales en los contextos de obtención de minerales, la fabricación y la generación de residuos; o en una asignatura vinculada a la ingeniería de organización puede reflexionarse sobre el diseño saludable del puesto de trabajo. El principal problema con esta alternativa es que tiene un alcance limitado, pues requiere la sustitución de contenidos clásicos de la asignatura por este tipo de reflexiones.

Otra posibilidad, más ambiciosa y adecuada, es considerar, para el conjunto de la titulación, qué contenidos y habilidades vinculadas a aspectos sociales concretos son especialmente significativos y programar su introducción involucrando varias asignaturas durante los cursos que dure la titulación. Así, pensando en la perspectiva de ciclo de vida puede introducirse propuestas relacionadas con: las condiciones sociales relacionadas con la obtención de los materiales en asignaturas como ciencia de materiales o procesos de fabricación; en las condiciones del puesto de trabajo y sus repercusiones en la salud de los trabajadores en asignaturas dedicadas a la organización de la producción; reflexiones sobre qué objetivos y características sociales se deben incluir en el diseño de productos, sistemas o servicios en asignaturas orientadas al diseño; el desarrollo integral de un proyecto donde se tengan en cuenta estos aspectos en una asignatura como gestión de proyectos; etc. Se trataría de pensar globalmente, para cada titulación, la inclusión de la perspectiva social y planificar a lo largo de las diversas asignaturas de una titulación según encajen en el contexto de las mismas. Un caso particular es la inclusión de

aspectos éticos, pues existen múltiples situaciones correspondientes a hechos históricos, que se pueden presentar como posibles ejercicios para las asignaturas de corte tecnológico.

A la hora de pensar en el diseño de un bien o servicio tecnológico, muchos de los elementos deben corresponderse con el conjunto de conocimientos propios de la disciplina y, también, con aspectos ambientales y sociales vinculados a esa misma área. Así, por ejemplo, si se está considerando la selección del tipo de materiales que se tienen que usar en un diseño particular, pueden hacerse preguntas vinculadas con parámetros técnicos tales como (Graedel y Allenby 2003):

- ¿Tiene el material las propiedades físicas deseadas en términos de resistencia, conductividad, índice de refracción?
- ¿Tiene el material las propiedades químicas requeridas en términos de solubilidad, foto-sensibilidad, reactividad?
- ¿Cuál es el coste del material?

Pero también con aspectos de carácter medioambiental con preguntas como:

- ¿Es el material un peligro para el medioambiente o tóxico para el ser humano?
- ¿Es un peligro para la seguridad? Por ejemplo, ¿es inflamable?
- ¿Está el material sometido a posibles limitaciones de suministro?

O de tipo social, donde se pueden incluir consideraciones como:

- ¿Se extrae el material utilizando mano de obra infantil o trabajadores semi-esclavos?
- ¿Pueden los mineros permitirse un mínimo nivel de vida?
- ¿Cómo afecta la actividad minera a la comunidad?

Dado el estado del arte actual para muchos elementos sociales, especialmente vinculados a impactos específicos, los posibles problemas a plantear no se pueden resolver de forma práctica. Aun así, identificarlos y ser conscientes de ellos es fundamental. Por ejemplo, si se pone como requisito de una práctica a los alumnos sobre un sistema electrónico que el producto final no incluya materiales provenientes de zonas en conflicto, como es el tántalo, los alumnos tendrán problemas para localizar estos componentes que cumplan esa condición en los catálogos de los fabricantes. Sin embargo, la práctica puede abrir una reflexión sobre por qué se da esta situación. Además, realizar este análisis en alguna asignatura y promover el que se busquen alternativas puede sentar las bases para una mejora general en el futuro. Junto con los contenidos de la asignatura es importante la adquisición de habilidades, tales como los métodos requeridos para incorporar los aspectos sociales a la hora

de definir los requisitos finales de un producto o sistema. Esta adquisición puede llevarse a cabo mediante la adopción de metodologías para el diseño de bienes y servicios que sea sensible a valores, que, como apuntan Friedman y Hendry (2019), conllevarían las siguientes etapas: inicio, formulación del trabajo técnico, identificación de las partes interesadas directas e indirectas, identificación de beneficios y daños para las partes interesadas, identificación y elección de valores potenciales, desarrollo de definiciones de trabajo y valores clave, identificación de potenciales tensiones entre valores, heurísticas para la entrevista de las partes interesadas y para el trabajo técnico.

La traducción de aspectos sociales a requisitos de diseño puede ser un proceso largo y engorroso, por lo que es preciso acotar el proceso o reflejarlo con ejemplos sencillos. Además, ese proceso puede requerir conocimientos de otras disciplinas más allá de la ingeniería. En estos casos, puede acotarse de forma externa, dando una serie de escenarios concretos, o bien, puede invitarse a algún experto del área correspondiente.

La reflexión desde la filosofía, en este caso, debe ser evidentemente práctica (Godfrey y Parker 2010). Se trata de casos de estudio en los que, si la reflexión no está vinculada completamente a la situación particular y sirve para intervenir en esa situación, es probable que el alumnado o bien rechace o considere como menos significativas este tipo de reflexiones. Por otro lado, dado el carácter abierto de las reflexiones filosóficas, facilita la comprensión de que los problemas en ingeniería no tienen soluciones cerradas y únicas como la resolución de problemas típicos en las asignaturas invita a creer.

5. CONCLUSIONES

A partir de la definición de los atributos y competencias profesionales a adquirir por parte de los estudiantes de ingeniería propuesta en el Acuerdo de Washington, se ha mostrado la necesidad de que los futuros graduados sean conscientes de las implicaciones sociales de la profesión y desarrollen las actividades que les son propias teniendo en cuenta e incorporando esta perspectiva entre sus competencias. Para este cometido, las ciencias sociales y las humanidades, incluida la filosofía, deben estar presentes en las titulaciones de ingeniería. Para que sea eficaz, se ha indicado una propuesta consistente en la inclusión de la reflexión filosófica sobre problemas concretos en asignaturas específicas de corte tecnológico, como complemento a la inclusión de una asignatura específica que relacione la ingeniería y la sociedad, donde la reflexión filosófica juega un papel significativo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABET. «Criteria for accrediting engineering programs (2019-2020)». *ABET*. (2018). Recuperado el 26 de abril de 2020, de <https://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/11/E001-19-20-EAC-Criteria-11-24-18.pdf>.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, ed. *Civil engineering body of knowledge: preparing the future civil engineer*. Reston, Virginia: Published by American Society of Civil Engineers, 2019³.
- ARACIL SANTONJA, Javier. «¿Es menester que los ingenieros filosofen?» *Argumentos de razón técnica: revista española de ciencia, tecnología y sociedad y filosofía de la tecnología* 2, (1999): 29-49.
- AUYANG, Sunny Y. *Engineering: An Endless Frontier*. Cambridge, Mass.; Londres: Harvard University Press, 2004.
- BULLETT, William *et al.* «Philosophy of Engineering: What It Is and Why It Matters». *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 141, 3 (2015): 02514003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000205](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000205).
- CECH, ERIN. A. «Education: Embed Social Awareness in Science Curricula». *Nature* 505, 7484 (2014a): 477-78. <https://doi.org/10.1038/505477a>.
- CECH, ERIN. A. «Culture of Disengagement in Engineering Education?» *Science, Technology & Human Values* 39, 1 (2014b): 42-72. <https://doi.org/10.1177/0162243913504305>.
- ENGINEERS CANADA. «Canadian Engineering Accreditation Board. 2017 Accreditation Criteria and Procedures». *Engineers Canada*. (2017). Recuperado el 23 de mayo de 2022, de <https://engineerscanada.ca/sites/default/files/accreditation-criteria-procedures-2017.pdf>.
- EUR-ACE®. «Framework Standards and Guidelines (EAFSG)». (2015). Recuperado el 15 de octubre de 2020, de <https://www.enaee.eu/wp-content/uploads/2018/11/EAFSG-Doc-Full-status-8-Sept-15-on-web-fm.pdf>.
- FRIEDMAN, Batya, y David HENDRY. *Value sensitive design: shaping technology with moral imagination*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2019.
- FUNTOWICZ, Silvio. O, y Jerome R. RAVETZ. *La ciencia posnormal: ciencia con la gente*. Barcelona: Icaria, 2000.
- GALLAGHER, Kevin P., y Lyuba ZARSKY. *The enclave economy: foreign investment and sustainable development in Mexico's Silicon Valley*. Londres. The MIT Press, 2007.
- GODFREY, Elizabeth, y Lesley PARKER. «Mapping the Cultural Landscape in Engineering Education». *Journal of Engineering Education* 99, 1 (2010): 5-22. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2010.tb01038.x>.
- GRAEDEL, Thomas. E., y Braden R. ALLENBY. *Industrial Ecology*. Prentice-Hall international series in industrial and systems engineering. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2003².
- GRANT, Kristen *et al.* «Health Consequences of Exposure to E-Waste: A Systematic Review». *The Lancet Global Health* 1, 6 (2013): e350-61. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(13\)70101-3](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(13)70101-3).

- HUGHES, Thomas P. «The Evolution of Large Technological Systems». En *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*, 51-82. Edición de Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, y Trevor Pinch. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1989.
- INTERNATIONAL ENGINEERING ALLIANCE. «25 years of the Washington Accord: 1989-2014 Celebrating international engineering education standards and recognition.» IEA. (2014) Recuperado el 22 de mayo de 2022, de <https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/History/25YearsWashingtonAccord-A5booklet-FINAL.pdf>.
- INTERNATIONAL ENGINEERING ALLIANCE. «Graduate Attributes and Professional Competencies». IEA. (2021). Recuperado el 22 de mayo de 2022, de <https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/IEA-Graduate-Attributes-and-Professional-Competencies-2021.1-Sept-2021.pdf>.
- KIM, Myoung-Hee, Hyunjoo KIM, Y Domyung PAEK. «The Health Impacts of Semiconductor Production: An Epidemiologic Review». *International Journal of Occupational and Environmental Health* 20, 2 (2014): 95-114. <https://doi.org/10.1179/2049396713Y.0000000050>.
- MICHELFFELDER, Diane P., y Neelke DOORN, eds. *The Routledge Handbook of the Philosophy of Engineering*. Routledge Handbooks in Philosophy. Nueva York Londres: Routledge, Taylor & Francis Group, 2021.
- MITCHAM, Carl. «The Importance of Philosophy to Engineering». *Teorema: Revista Internacional de Filosofía* 17, 3 (1998): 27-47.
- MITCHAM, Carl. *Steps toward a Philosophy of Engineering: Historico-Philosophical and Critical Essays*. Londres / Nueva York: Rowman & Littlefield International, 2020.
- MOFFAT, Kieren, y Airong ZHANG. «The Paths to Social Licence to Operate: An Integrative Model Explaining Community Acceptance of Mining». *Resources Policy* 39, marzo (2014): 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.11.003>.
- «MORAL MACHINE». s. f. Moral Machine. Recuperado el 17 de mayo de 2022, de <http://moralmachine.mit.edu>.
- NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING. *Educating the engineer of 2020: adapting engineering education to the new century*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2005. <https://doi.org/10.17226/11338>.
- NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING, ed. *Infusing ethics into the development of engineers: exemplary education activities and programs*. Washington D.C.: National Academies Press, 2016.
- NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING. «Code of Ethics for Engineers». (2019). Recuperado el 17 de mayo de 2018, de <https://www.nspe.org/sites/default/files/resources/pdfs/Ethics/CodeofEthics/NSPECodeofEthicsforEngineers.pdf>.
- NATIONAL SOCIETY OF PROFESSIONAL ENGINEERS, ed. *Professional Engineering Body of Knowledge*. National Society of Professional Engineers, 2013.
- PACEY, Arnold. *The Culture of Technology*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1983.

- PITT, Joseph C. «Fitting Engineering into Philosophy». En *Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process*, 91-101. Edición de Diane P Michelfelder, Natasha McCarthy, y David E. Goldberg. Philosophy of Engineering and Technology. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7762-0_8.
- POEL, Ibo van de. «Philosophy and Engineering: Setting the Stage». En *Philosophy and Engineering: An Emerging Agenda*, 1-11. Edición de Ibo Poel y David Goldberg. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2804-4_1.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Pensilvania: Project Management Institute, 2017⁶.
- RULIFSON, Greg, y Angela R. BIELEFELDT. «Evolution of Students Varied Conceptualizations About Socially Responsible Engineering: A Four Year Longitudinal Study». *Science and Engineering Ethics* 25, 3 (2019): 939-74. <https://doi.org/10.1007/s11948-018-0042-4>.
- SETO, Karen C. *et al.* «Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications». *Annual Review of Environment and Resources* 41, 1 (2016): 425-52. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085934>.
- STEPHAN, K.D. «All This and Engineering Too: A History of Accreditation Requirements». *IEEE Technology and Society Magazine* 21, 3 (2002): 8-15. <https://doi.org/10.1109/MTAS.2002.1035224>.
- UNEP-SETAC. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. París, Francia. (2009) Recuperado el 19 de febrero de 2013, de <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2009%20-%20Guidelines%20for%20sLCA%20-%20EN.pdf>.
- UNITED NATIONS SECURITY COUNCIL. «Report of the Panel of Experts on the Illegal Exploitation of Natural Resources and Other Forms of Wealth of the Democratic Republic of the Congo». S/2001/357. (2001) Recuperado el 23 de diciembre del 2010, de http://tierra.rediris.es/coltan/coltan_UN2001.pdf.
- VANCLAY, Frank *et al.*, «Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos». (2015). Recuperado el 26 de febrero de 2019, de <https://www.iaia.org/uploads/pdf/Evaluacion-Impacto-Social-Lineamientos.pdf>.
- VANDERBURG, Willem H. «Can the University Escape From the Labyrinth of Technology? Part 1: Rethinking the Intellectual and Professional Division of Labor and its Knowledge Infrastructure». *Bulletin of Science Technology Society* 26, 3 (2006a): 171-77. <https://doi.org/10.1177/0270467606289196>.
- VANDERBURG, Willem H. «Can the University Escape From the Labyrinth of Technology? Part 2: Intellectual Map-Making and the Tension Between Breadth and Depth». *Bulletin of Science Technology Society* 26, 3 (2006b): 178-88. <https://doi.org/10.1177/0270467606289197>.

- VANDERBURG, Willem H., y Namir KHAN. «How Well Is Engineering Education Incorporating Societal Issues?» *Journal of Engineering Education* 83, 4 (1994): 357-61. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1994.tb00131.x>.
- WBGU – GERMAN ADVISORY COUNCIL ON GLOBAL CHANGE. *Towards Our Common Digital Future*. Flagship Report. Berlín: WBGU, 2019.
- ZUBOFF, Shoshana. *The age of surveillance capitalism: the fight for a human future at the new frontier of power*. Nueva York: PublicAffairs, 2019.