

ESTANDARIZACIÓN Y ORDENACIÓN SOCIAL

Un cambio de perspectiva

PABLO SCHYFTER

En el presente artículo se examina la estandarización de la biología sintética como forma de coordinación y ordenación social. En este, discuto el tema de la estandarización explorando qué hace posible la creación de un estándar y ofrezco una explicación basada en las infraestructuras; es decir, los sistemas técnicos y sociales que dan soporte a la existencia y funcionamiento de estándares aceptados. Al explorar el papel de las infraestructuras sociales, sostengo que los estándares dependen de la ordenación social: de las diferentes formas de ordenar a las poblaciones en estructuras, relaciones y jerarquías concretas. Sugiero que los biólogos sintéticos deberían desarrollar una conciencia de estos ordenamientos sociales, asumir la responsabilidad de su creación y rendir cuentas por sus consecuencias técnicas y sociales.

Palabras clave: biología sintética, estándares, infraestructuras, ordenación social, responsabilidad.

Este monográfico se centra en la estandarización en el ámbito científico, con especial énfasis en la biología sintética. Como muchos otros han escrito ya sobre este tema, me interesa especialmente qué constituye un estándar en biología sintética. Pero en lugar de definir el término *estándar* (véase, por ejemplo, Arkin, 2008; Sauro, 2008), discutir los retos a los que se enfrentan los pioneros en este esfuerzo de estandarización (por ejemplo, Canton, Labno y Endy, 2008; Frow, 2013) o comparar diferentes enfoques (como Anderson et al., 2010), aquí me pregunto: ¿qué hace posible la estandarización? La pregunta es relevante porque saber qué hace algo posible suele ser necesario para conseguir que lo sea. Esta pregunta también proporciona una perspectiva profunda desde la cual podemos evaluar diversas facetas de la estandarización que de otra manera permanecerían ocultas. Por lo tanto, la pregunta es útil tanto en términos prácticos como críticos.

Me propongo abordar las normas y la estandarización mediante el concepto de *infraestructura*. En sentido literal, las infraestructuras incluyen sistemas tecnológicos, prácticas y funciones. En sentido figurado, el término

arroja luz sobre el papel de conceptos que pueden parecer irrelevantes o tangenciales, como la confianza y las jerarquías sociales. Una concepción metafórica del término también proporciona otra forma de ver y desarrollar la estandarización.

En primer lugar, me gustaría presentar y explicar cómo entiendo las infraestructuras desde las ciencias sociales. Apunto las características básicas de todas las infraestructuras y describo su relevancia e importancia. Después utilizo las infraestructuras para desarrollar una concepción diferente de las normas y la estandarización. Para ello, introduzco el concepto de *infraestructuras sociales*, que revela que la estandarización es una manera concreta de ordenar a las personas y organizar su comportamiento. Explico cómo este enfoque puede facilitar la toma de conciencia, la responsabilidad

y la rendición de cuentas por las elecciones tomadas al establecer estándares, y las ramificaciones de esas elecciones. Finalizo el texto analizando el potencial de autorreflexión crítica que proporciona el compromiso con la conciencia, la responsabilidad y la rendición de cuentas.

«Debido a su inmediata influencia en nuestras actividades cotidianas y su carácter omnipresente, las infraestructuras determinan cómo experimentamos el mundo»

■ INFRAESTRUCTURAS

Las infraestructuras son *habilitadoras*: su función es facilitar y sostener otras funciones. Por ejemplo, mientras escribo esto, la red eléctrica de Edimburgo está permitiendo que mi ordenador realice sus funciones. En otras palabras, las infraestructuras nunca son un fin en sí mismas. Las autopistas y las calles solo existen para hacer posibles ciertos medios modernos de transporte. En ausencia de lo que las hace posibles, las infraestructuras pierden todo significado.

Aunque parezca simple, esta descripción contiene información importante. En primer lugar, no podemos entender las infraestructuras como sistemas aislados. No podemos entender las plantas eléctricas o las redes de distribución sin tener en cuenta cuáles de nuestras tecnologías requieren electricidad. ¿Qué es una infraestructura, y para qué fin existe, si no hace posible nada más allá de sí misma?

En segundo lugar, las infraestructuras están *situadas* y caracterizadas por aquello que permiten hacer. Existen en el lugar y de la forma en que lo hacen debido a las funciones que deben hacer posibles. La demanda de electricidad de una región marcará los requisitos de sus centrales eléctricas. Una planta pequeña no puede alimentar a una metrópoli, y una planta gigantesca sería una elección absurda para abastecer a una pequeña aldea. Las infraestructuras existen si existe una demanda de aquello que hacen posible, y tienen el aspecto que tienen debido a contingencias locales.

Por último, como habilitadoras, las infraestructuras establecen *nuevas enactivaciones*. Un sistema que crea y distribuye energía eléctrica proporciona nuevas capacidades a sus usuarios. Si antes de la creación de la infraestructura esos usuarios no podían operar dispositivos eléctricos, ahora esta les proporciona la capacidad de hacerlo. La ampliación de una red de carreteras ofrece nuevas oportunidades de viaje motorizado (es decir, la posibilidad de llegar a más lugares). Sin embargo, estas posibilidades también tienen coto. Estas enactivaciones vienen acompañadas de restricciones. Además de entender las infraestructuras como habilitadoras, resulta igualmente importante entenderlas como habilitadoras limitadas y limitantes.

«Construir infraestructuras es un trabajo pesado y poco reconocido, pero vital para la estandarización»

Las infraestructuras facilitan y permiten otras funciones, pero nunca son un fin en sí mismas. Las redes eléctricas que abastecen pueblos y ciudades de todo el mundo son un buen ejemplo de ello, desde la planta en la que se genera la energía, pasando por las torres de transmisión de esta, hasta los enchufes que nos permiten acceder a la electricidad. Sin la necesidad de esta energía, las estructuras que nos proveen de ella no tendrían razón de ser.

Las infraestructuras son *ubiquas*. Siempre están presentes y preparadas porque de lo contrario no podrían cumplir de manera fiable su función como habilitadoras. Debido a su inmediata influencia en nuestras actividades cotidianas y su carácter omnipre-

sente, las infraestructuras también determinan cómo experimentamos el mundo. Además, como dependemos de ellas y tienen un impacto tan claro en lo que hacemos, las infraestructuras se vuelven fijas y duraderas. Su ubicuidad y longevidad son muestras de su importancia y valor, y, de forma más evidente, las infraestructuras son *importantes* y *valiosas* porque valoramos aquello que permiten. Por ejemplo, muchas personas hacen uso o dependen de la capacidad de contactar con otros en lugares lejanos. Las infraestructuras de comunicación permiten este contacto y por ello las apreciamos. Pero, además, hemos llegado a depender de ellas. Los proyectos internacionales de investigación toman forma mediante cadenas de correos electrónicos y videoconferencias, ambas posibles gracias a las in-



Johanna Montoya



Markus Spiske



Jan Kaluza

infraestructuras de comunicación. Organizamos nuestro comportamiento de acuerdo a estas capacidades y llegamos a depender de su disponibilidad y funcionalidad ininterrumpida. En general, dependemos de las diferentes formas de estabilidad que proporcionan las infraestructuras. También dependemos de la estabilidad de las capacidades y limitaciones de las infraestructuras: de la certeza sobre lo que podemos y no podemos hacer.

Las infraestructuras son *estructuras heterogéneas* con componentes muy diferentes. Por ejemplo, las infraestructuras eléctricas comprenden: objetos como generadores, líneas de alta tensión, cableado, enchufes y medidores; lugares como plantas generadoras, centros y puntos finales de distribución; labores como la planificación, fabricación, instalación, reparación, uso, supervisión y regulación; conocimientos como las leyes

«Como todas las infraestructuras, el ordenamiento social no es estático ni acaba en sí mismo; es dinámico y sirve de soporte para otras cuestiones»

electromagnéticas, las técnicas de la ingeniería, el conocimiento común de los usuarios y la información regulatoria; y organizaciones como las compañías eléctricas, los reguladores nacionales y los proveedores de energía. Estas partes dependen unas de otras y han de trabajar al unísono para que la infraestructura funcione con éxito. La heterogeneidad de las infraestructuras contribuye a un resultado combinado. La gran cantidad de partes que componen una infraestructura eléctrica habilitan una posibilidad: la energía eléctrica. Si lo consiguen, tal complejidad queda oculta y solo vemos aquello que permiten hacer. Veo el enchufe y el resultado de enchufar mi ordenador, no todo aquello que lo hace posible.

Como consecuencia, las infraestructuras son *difíciles de ver*. Interaccionamos con el borde de las extremidades más largas, como el enchufe de la pared o el grifo del agua. De hecho, solo interaccionamos con aquello que permiten hacer, como cualquier dispositivo que conectamos a la corriente. Esta invisibilidad se debe a muchas razones. Algunas infraestructuras (como la red eléctrica) son tan extensas que no podemos visualizarlas por completo. Otras están aisladas físicamente, como las tuberías del agua corriente, y no son fácilmente accesibles. Y lo que es más importante, no es necesario ser conscientes de las infraestructuras mientras sigan siendo funcionales.

No necesito ver la infraestructura eléctrica si puedo acceder sin problemas a la electricidad. Esto cambia cuando una funcionalidad falla y encontramos obstáculos a nuestro comportamiento habitual, como cuando se va la luz. Las infraestructuras también son visibles durante el proceso de construcción, como ocurre con los estándares de la biología sintética. Durante ese tiempo, las infraestructuras

son accesibles y están abiertas al cambio.

■ ESTÁNDARES E INFRAESTRUCTURAS SOCIALES

El concepto de infraestructura afecta de muchas formas a las normas y la estandarización. La más obvia es que no se puede tener un sistema de estándares universal, fiable y de fácil adopción sin aquello que lo hace posible. Por ejemplo, la estandarización en biología sinté-

tica requiere sistemas que hagan posible el montaje, almacenamiento y distribución de componentes genéticos (Anderson et al., 2010; Endy y Arkin, 1999). Requieren herramientas para compilar, almacenar y compartir los datos que caracterizan dichos componentes (Mutalik et al., 2013). Al mismo tiempo, las infraestructuras se basan en estándares. Los parámetros, unidades, componentes y procedimientos compartidos hacen posible construir infraestructuras y entregar los productos que dependen de ellas. Lo que une ambas formas de dependencia es su necesidad compartida de ordenación social.

Construir infraestructuras es un tipo de trabajo pesado y pocas veces reconocido, pero vital para que la estandarización tenga éxito. Menos obvias, pero aún más importantes, son las «infraestructuras sociales»: formas de coordinación social sin las cuales no se puede alcanzar la estandarización. En pocas palabras, una infraestructura social es una forma concreta de ordenar a la gente en una comunidad. El ordenamiento implica las formas en que una comunidad se divide en subgrupos y en las que sus miembros se organizan en ellos. Constituye la forma en que los grupos se relacionan entre sí y la manera en que se asignan roles, responsabilidades, prestaciones y restricciones a sus individuos. Estos ordenamientos también incluyen cómo se organizan las jerarquías y cómo el poder social se distribuye de diferentes maneras entre diferentes personas.

Las sociedades son más que colecciones de personas; son colecciones de personas que interactúan entre ellas de ciertas maneras (Barnes, 2001; Wenger, 1998).

El ordenamiento social habilita esas interacciones. Como todas las infraestructuras, el ordenamiento social no es estático ni acaba en sí mismo; es dinámico y sirve de soporte para otras cuestiones. La más importante es permitir que las personas participen en actividades compartidas. Por ejemplo, un idioma (una infraestructura) posibilita la comunicación interpersonal (una práctica compartida). El ordenamiento social permite que se produzcan constructos compartidos en poblaciones diversas. Por ejemplo, permite que un grupo de personas planifique, construya y mantenga operativa una red eléctrica.



Los estándares tienen éxito cuando una determinada comunidad asume ponerlos en práctica de forma colectiva. De lo contrario, su existencia sería imposible. El sistema métrico decimal es un ejemplo de estándar que tiene vigencia en todo el mundo.

**«Si entendemos
por estándar algo compartido,
igual o sincronizado,
la coordinación de muchas
personas es necesaria»**

Colectivos, ordenaciones y normas

Muchas ordenaciones sociales se desarrollan sin intención ni dirección. Otras se planifican e instalan de manera intencional. Los estándares en biología sintética no aparecen por casualidad. Hay grupos de personas que los han producido deliberadamente, o que trabajan

intencionalmente para crearlos (Frow, 2013). Si dichos estándares tienen éxito, los compañeros coordinan su comportamiento en consecuencia. Es decir, la comunidad planea, establece y sigue una ordenación social específica (una infraestructura social concreta).

A menudo percibimos estándares en objetos tales como parámetros específicos, directrices de práctica, configuraciones de datos, planos y diagramas de referencia. Todos ellos existen y son relevantes para la estandarización. Sin embargo, ninguno de ellos cumple nada por sí mismo. Si no hay gente que siga estos parámetros y nor-



mas, no son más que listas. Si nadie utiliza esos planos y diagramas, no son más que imágenes. Los datos sin utilizar carecen de significado. Todas estas cosas solo consiguen algo cuando la gente las implementa en unas prácticas concretas (Schaffer, 1999). No obstante, solo son válidos algunos tipos de prácticas.

Los estándares se hacen posibles, adquieren significado y operan con éxito solo cuando la práctica es colectiva. Qué sentido tiene hablar de un estándar que solo sigue una persona si los estándares en teoría han de ser usados uniformemente por todos los miembros de una comunidad (o por una mayoría, al menos). Si entendemos por *estándar* algo compartido, igual o sincronizado, la coordinación de muchas personas es necesaria. Aunque los estándares los desarrollan personas, solo tienen sentido cuando el grupo coordina sus acciones de la forma apropiada (cuando se adopta un orden social adecuado). Los estándares solo existen y operan cuando también existe

y opera una ordenación social específica (Barnes, 2001; Schyfter, 2015). Los estándares activos dependen de las infraestructuras sociales activas.

Comprender esto nos proporciona una forma distinta de entender los estándares. La estandarización implica tomar decisiones sobre cómo organizar a la gente. Esto es, consiste en ordenar a la gente en configuraciones específicas e implicarla en tipos concretos de prácticas. En pocas palabras, es necesario crear un grupo de gente comprometida en conjunto con la estandarización para que diseñen, instalen, utilicen y mantengan unos estándares. Organizar a los individuos en una ordenación concreta también implica distribuir responsabilidades para diferentes tareas, establecer los privilegios y límites para los individuos, definir criterios para evaluar su comportamiento y crear formas de asegurarse de que «sigan las normas» de los estándares (Barnes, 2001; Wenger, 1998).

Como consecuencia, se nos plantea una importante pregunta: conforme un grupo desarrolla y establece estándares, ¿qué forma de orden social están creando?

Como he indicado anteriormente, las infraestructuras sí son visibles cuando se están construyendo. Lo mismo ocurre con infraestructuras *sociales* como los ordenamientos sociales. Una vez establecidos, estos ordenamientos son difíciles de percibir; mientras se están desarrollando, son menos opacos. Los biólogos sintéticos todavía están estableciendo sus propios estándares, lo que significa que todavía están construyendo la ordenación social necesaria.

Concienciación, responsabilidad y rendición de cuentas

Cuando toman decisiones técnicas sobre cuestiones como el diseño, la funcionalidad, el montaje, el uso, el almacenamiento, la metrología y la terminología, los biólogos sintéticos están eligiendo la forma de clasificar a su gente.

Quienes desarrollan el ordenamiento social no pueden sortear estas elecciones. Su elección es, más bien, tomar decisiones activamente o aceptar los resultados que vengan. Los biólogos sintéticos deberían preguntarse si ceder este control al azar es la mejor forma de organizar su comunidad. Creo que tendrían que establecer su infraestructura social activamente, y también que deben basar sus esfuerzos en tres principios: la concienciación, la responsabilidad y la rendición de cuentas.

La concienciación consiste en sustituir suposiciones y creencias comunes por conceptos más precisos. En este caso, implica cuestionar qué es un estándar, qué requiere, cómo existe y qué provoca. Dicho de otro modo, sustituir una visión de los estándares como normas o directrices estáticas por un concepto que los entienda como coordinación social activa. La concienciación consiste en darse cuenta de que, para entender qué es un estándar, es necesario pensar en cómo se organizan y cómo se comportan los miembros de un colectivo.

Finalmente, la concienciación requiere estar al tanto de qué ocurre durante el proceso de desarrollo e implementación de un estándar, aunque no sea una información estrictamente técnica.

Esta concienciación viene suplementada por la responsabilidad. Los individuos deben reconocer que sus estándares,

así como aquello que los hace posible, les pertenecen. Los científicos y tecnólogos suelen asignarse habitualmente sus propios logros, pero la comunidad también espera que admitan su responsabilidad cuando sus prácticas tienen consecuencias negativas. La responsabilidad reconoce la participación intencional de los individuos en la elaboración de, entre otras cosas, los estándares.

«La concienciación consiste en sustituir suposiciones y creencias comunes por conceptos más precisos»

También hace que la concienciación tenga consecuencias materiales. Es decir, la responsabilidad saca a la concienciación de lo abstracto y la lleva al mundo real de la práctica de la biología sintética.

Por último, la responsabilidad exige rendición de cuentas. Si entendemos que los logros pertenecen a determinadas personas, estas han de responder también por sus consecuencias; de lo contrario, hablamos de una responsabilidad vacía. Los encargados de desarrollar estándares y apoyar los esfuerzos de estandarización son responsables de los efectos que producen o promueven. También son responsables de abordar los fallos, los problemas y el daño causado. De igual forma que la responsabilidad transforma la concienciación en algo tangible, la rendición de cuentas transforma la responsabilidad en algo que tiene ramificaciones y establece expectativas, compromisos y deberes éticos.

■ CAMBIAR DE ENFOQUE, PERMITIR LA REFLEXIÓN

Las ciencias sociales ofrecen diferentes maneras de reflexionar sobre la estandarización. Comprender la estandarización como una forma de ordenación social visibiliza aspectos de los estándares que de lo contrario quedarían ocultos. Nos permite ir más allá de la información a la que podemos acceder inmediatamente en la mesa de trabajo, en la pantalla y en las conversaciones orales o escritas. Cada una de estas situaciones constituye un enfoque limitado sobre qué es la estandarización.

Además, como muchas de estas cosas se han establecido de forma rígida, no ofrecen muchas posibilidades para el pensamiento crítico. Un enfoque que apoye la concienciación, la responsabilidad y la rendición de cuentas hace posible la autorreflexión crítica.

Los tecnólogos no son ajenos a ciertas formas de reflexión. Aunque solo sea de manera implícita, reflexionan y evalúan sus decisiones técnicas para asegurar el éxito tecnológico. Después de fallos terribles como la tragedia del transbordador espacial Challenger y los recientes accidentes de los aviones 737 MAX de Boeing, el procedimiento exige la evaluación de las decisiones tecnológicas tomadas con anterioridad (Vaughan, 1996).

«Los encargados de desarrollar estándares y apoyar los esfuerzos de estandarización son responsables de los efectos que producen o promueven»

La autorreflexión desde un enfoque de ciencias sociales expande el concepto de reflexión técnica para incluir también la introspección acerca de las consecuencias que las decisiones técnicas tienen en aquellos que llevan a cabo el trabajo. Por ejemplo, requiere que las personas consideren la ordenación social que imponen determinadas decisiones técnicas, y cómo esta ordenación da forma a las experiencias. Como las elecciones técnicas no están exentas de ramificaciones sociales, este tipo de reflexión encaja eficazmente en los esfuerzos de desarrollo tecnológico. Y lo que es más importante, este tipo de reflexión permite una toma de decisiones activa y consciente. Realiza cambios explícitos que de otro modo simplemente «ocurrirían».



©ICEM Foundation / Justin Knight



Los estándares necesitan infraestructuras para consolidarse, pero estas no solo tienen que ser físicas, sino también sociales. Una infraestructura social es una forma concreta de ordenar a la gente en una comunidad, en que cada subgrupo se organizará de una manera específica que distribuirá los roles, las responsabilidades, las prestaciones y las restricciones que deben seguir los individuos que lo conforman. En la imagen, fotografía aérea de los grupos participantes en el iGEM 2014, una competición internacional de biología sintética que se celebra anualmente y que reúne alrededor de 300 grupos participantes, entre los que hay estudiantes universitarios de distintos niveles, pero también grupos de secundaria y laboratorios. El objetivo de la competición es que cada grupo sea capaz de construir sistemas biológicos nuevos a partir de un paquete de componentes genéticos que todos los grupos reciben por igual.

«La autorreflexión basada en ciencias sociales requiere considerar la ordenación social que imponen determinadas decisiones técnicas»

Resulta significativo que esta autorreflexión se ve obstaculizada (cuando no directamente suprimida) por la institucionalización de los estándares. Una vez establecidos y en funcionamiento, estos ocultan su herencia y su funcionamiento interno. Los componentes estandarizados con éxito funcionan como cajas negras fiables: los usuarios no necesitan saber de dónde vienen ni cómo funcionan para utilizarlos correctamente. Una vez entran en funcionamiento, los estándares se vuelven distantes; lo mismo ocurre con la ordenación social. El momento más eficaz para reflexionar sobre estas cuestiones es antes de que la estandarización se convierta en una práctica compartida, antes de que los nuevos estándares se fijen y antes de que la comunidad se organice en torno a ellos. El momento más eficaz es cuando la concienciación, la responsabilidad y la rendición de cuentas todavía son opciones viables. ☉

REFERENCIAS

- Anderson, J. C., Dueber, J. E., Leguia, M., Wu, G. C., Goler, J. A., Arkin, A. P., & Keasling, J. D. (2010). BglBricks: A flexible standard for biological part assembly. *Journal of Biological Engineering*, 4(1). doi: [10.1186/1754-1611-4-1](https://doi.org/10.1186/1754-1611-4-1)
- Arkin, A. (2008). Setting the standard in synthetic biology. *Nature Biotechnology*, 26(7), 771–774. doi: [10.1038/nbt0708-771](https://doi.org/10.1038/nbt0708-771)
- Barnes, B. (2001). Practice as collective action. En T. Schatzki, K. Knorr Cetina, & E. von Savigny (Eds.), *The practice turn in contemporary theory* (pp. 17–28). Nueva York: Routledge. doi: [10.4324/9780203977453](https://doi.org/10.4324/9780203977453)
- Canton, B., Labno, A., & Endy, D. (2008). Refinement and standardization of synthetic biological parts and devices. *Nature Biotechnology*, 26(7), 787–793. doi: [10.1038/nbt1413](https://doi.org/10.1038/nbt1413)
- Endy, D. & Arkin, A. (1999). *A standard parts list for biological circuitry*. Berkeley, CA: Defense Advanced Research Projects Agency.
- Frow, E. K. (2013). Making big promises come true? Articulating and realizing the value of synthetic biology. *BioSocieties*, 8(4), 432–448. doi: [10.1057/biosoc.2013.28](https://doi.org/10.1057/biosoc.2013.28)
- Mutalik, V. K., Guimaraes, J. C., Cambay, G., Lam, C., Christoffersen, M. J., Mai, Q. A., ... Endy, D. (2013). Precise and reliable gene expression via standard transcription and translation initiation elements. *Nature Methods*, 10(4), 354–360. doi: [10.1038/nmeth.2404](https://doi.org/10.1038/nmeth.2404)
- Sauro, H. M. (2008). Modularity defined. *Molecular Systems Biology*, 4(1), 166. doi: [10.1038/msb.2008.3](https://doi.org/10.1038/msb.2008.3)
- Schaffer, S. (1999). Late Victorian metrology and its instrumentation: A manufactory of ohms. En M. Biagioli (Ed.), *The science studies reader* (pp. 457–478). Londres: Routledge.
- Schyfter, P. (2015). Metrology and varieties of making in synthetic biology. En O. Schlautt, & L. Huber (Eds.), *Standardization in measurement: Philosophical, historical and sociological issues* (pp. 25–38). Londres: Pickering & Chatto. doi: [10.4324/9781315653648](https://doi.org/10.4324/9781315653648)
- Vaughan, D. (1996). *The Challenger launch decision: Risky technology, culture, and deviance at NASA*. Chicago: The University of Chicago Press. doi: [10.7208/chicago/9780226346960.001.0001](https://doi.org/10.7208/chicago/9780226346960.001.0001)
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning and identity*. Cambridge: Cambridge University Press. doi: [10.1017/CBO9780511803932](https://doi.org/10.1017/CBO9780511803932)

PABLO SCHYFTER. Profesor de la Escuela de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad de Edimburgo (Reino Unido). Investiga sobre ciencia, tecnología e innovación, sociología del conocimiento y filosofías de la biología y la tecnología. Ha estudiado biología sintética y ha escrito sobre ontologías tecnológicas, funcionalidad biológica y metrología. Actualmente está investigando sobre racionalidad y creación de conocimiento en la ingeniería.

✉ p.schyfter@ed.ac.uk