

ESTANDARDITZACIÓ I ORDENACIÓ SOCIAL

Un canvi de perspectiva

PABLO SCHYFTER

En aquest article s'examina l'estandardització de la biologia sintètica com a forma de coordinació i ordenació social. Discutisc el tema de l'estandardització explorant què fa possible la creació d'un estàndard i oferisc una explicació basada en les infraestructures; és a dir, els sistemes tècnics i socials que donen suport a l'existència i funcionament d'estàndards acceptats. En explorar el paper de les infraestructures socials, sostinc que els estàndards depenen de l'ordenació social: de les diferents maneres d'ordenar les poblacions en estructures, relacions i jerarquies concretes. Suggestisc que els biòlegs sintètics haurien de desenvolupar una consciència d'aquests ordenaments socials, assumir la responsabilitat de la seua creació i retre comptes per les seues conseqüències tècniques i socials.

Paraules clau: **biologia sintètica, estàndard, infraestructures, ordenació social, responsabilitat.**

Aquest monogràfic se centra en l'estandardització en l'àmbit científic, amb particular èmfasi en la biologia sintètica. Com que molta gent més ha escrit ja sobre aquest tema, m'interessa especialment què constitueix un estàndard en biologia sintètica. Però en lloc de definir el terme *estàndard* (vegeu, per exemple, Arkin, 2008; Sauro, 2008), de discutir els reptes a què s'enfronten els pioners en aquest treball d'estandardització (per exemple, Canton, Labno i Endy, 2008; Frow, 2013) o de comparar diferents enfocaments (com ara Anderson et al., 2010), ací em pregunte: què fa possible l'estandardització? La pregunta és rellevant perquè saber què fa una cosa possible sol ser necessari per a aconseguir que ho siga. Aquesta pregunta també proporciona una perspectiva profunda des de la qual podem avaluar diverses facetes de l'estandardització que d'una altra manera romandrien ocultes. Per tant, la pregunta és útil tant en termes pràctics com crítics.

Em propose abordar les normes i l'estandardització mitjançant el concepte d'*infraestructura*. En sentit literal, les infraestructures inclouen sistemes tecnològics, pràctiques i funcions. En sentit figurat, el terme llança llum sobre el paper de conceptes que poden semblar irrelevants o tangencials, com la confiança i les jerar-

quies socials. Una concepció metafòrica del terme també proporciona una altra manera de veure i desenvolupar l'estandardització.

En primer lloc, m'agradaria presentar i explicar com entenc les infraestructures des de les ciències socials. Apunte les característiques bàsiques de totes les infraestructures i en descriu la rellevància i importància. Després utilitze les infraestructures per a desenvolupar una concepció diferent de les normes i l'estandardització. Per a fer-ho, introduisc el concepte d'*infraestructures socials*, que revela que l'estandardització és una manera concreta d'ordenar les persones i d'organitzar-ne el comportament. Explique que aquest enfocament pot facilitar la presa de consciència, la responsabilitat i la rendició de comptes

per les eleccions preses a l'hora d'establir estàndards, i les ramificacions d'aquestes eleccions. Finalitze el text analitzant el potencial d'autoreflexió crítica que proporciona el compromís amb la consciència, la responsabilitat i la rendició de comptes.

■ INFRAESTRUCTURES

Les infraestructures són *habilitadores*: la seua funció és facilitar i sostenir altres funcions. Per exemple, mentre

«A causa de la seua immediata influència en les nostres activitats quotidianes i el seu caràcter omnipresent, les infraestructures determinen com experimentem el món»

escriu això, la xarxa elèctrica d'Edimburg està permetent que el meu ordinador realitzi les seues funcions. En altres paraules, les infraestructures no són mai un fi en si mateixes. Les autopistes i els carrers només existeixen per a fer possibles certs mitjans moderns de transport. En absència del que les fa possibles, les infraestructures perden tot significat.

Encara que sembla simple, aquesta descripció conté informació important. En primer lloc, no podem entendre les infraestructures com a sistemes aïllats. No podem entendre les plantes elèctriques o les xarxes de distribució sense tenir en compte quines de les nostres tecnologies requereixen electricitat. Què és una infraestructura, i per a quin fi existeix, si no fa possible res més enllà de si mateixa?

En segon lloc, les infraestructures estan *situades* i caracteritzades per allò que permeten fer. Existeixen en el lloc i de la manera com ho fan a causa de les funcions que han de fer possibles. La demanda d'electricitat d'una regió marca els requisits de les seues centrals elèctriques. Una planta petita no pot alimentar una metròpoli, i una planta gegantesca seria una elecció absurda per a proveir un llogaret menut. Les infraestructures existeixen si existeix una demanda d'allò que fan possible, i tenen l'aspecte que tenen a causa de contingències locals.

Finalment, com a habilitadores, les infraestructures estableixen *noves enactivacions*. Un sistema que crea i distribueix energia elèctrica proporciona noves capacitats als seus usuaris. Si abans de la creació de la infraestructura aquests usuaris no podien operar dispositius elèctrics, ara aquesta els proporciona la capacitat de fer-ho. L'ampliació d'una xarxa de carreteres ofereix noves oportunitats de viatge motoritzat (és a dir, la possibilitat d'arribar a més llocs). No obstant això, aquestes possibilitats també tenen límit. Aquestes enactivacions van acompanyades de restriccions. A més d'entendre les infraestructures com a habilitadores, és igualment important entendre-les com a habilitadores limitades i limitants.

Les infraestructures són *ubiquïes*. Sempre estan presents i preparades perquè en cas contrari no podrien complir de manera fiable la seua funció com a habilita-



Johanna Montoya

Les infraestructures faciliten i permeten altres funcions, però mai són un fi en si mateixes. Les xarxes elèctriques que proveeixen pobles i ciutats de tot el món en són un bon exemple, des de la planta en la qual es genera l'energia, passant per les torres de transmissió d'aquesta, fins als endolls que ens permeten accedir a l'electricitat. Sense la necessitat d'aquesta energia, les estructures que ens en proveeixen no tindrien raó de ser.

«Construir infraestructures és un treball pesat i poc reconegut, però vital per a l'estandardització»

es tornen fixes i duradores. La seua ubiqüitat i longevitat són mostres de la seua importància i valor, i, de manera més evident, les infraestructures són *importantes* i *valuoses* perquè valorem allò que permeten. Per exemple, moltes persones fan ús o depenen de la capacitat de contactar amb altres en llocs llunyans. Les infraestructures de comunicació permeten aquest contacte i per això les apreciem. Però, a més, hem arribat a dependre'n. Els projectes internacionals d'investigació prenen forma mitjançant cadenes de correus electrònics i videoconferències, totes dues possibles gràcies a les infraestructures de comunicació. Or-

dores. A causa de la seua influència immediata en les nostres activitats quotidianes i del seu caràcter omnipresent, les infraestructures també determinen com experimentem el món. A més, com que en depenem i tenen un impacte tan clar en el que fem, les infraestructures



Marius Spätko



Jan Kaluza

ganitzem el nostre comportament d'acord amb aquestes capacitats i arribem a dependre de la seua disponibilitat i funcionalitat ininterrompuda. En general, depenem de les diferents formes d'estabilitat que proporcionen les infraestructures. També depenem de l'estabilitat de les capacitats i limitacions de les infraestructures: de la certesa sobre el que podem i no podem fer.

Les infraestructures són *estructures heterogènies* amb components molt diferents. Per exemple, les infraestructures elèctriques comprenen: objectes com ara generadors, línies d'alta tensió, cablatge, endolls i mesuradors; llocs com ara plantes generadores, centres i punts finals de distribució; labors com ara planificació, fabricació, instal·lació, reparació, ús, supervisió i regulació; coneixements com les lleis electromagnètiques, les tècniques de l'enginyeria, el coneixement comú dels usuaris i la informació reguladora; i organitzacions

«Com totes les infraestructures, l'ordenament social no és estàtic ni acaba en si mateix; és dinàmic i serveix de suport per a altres qüestions»

com les companyies elèctriques, els reguladors nacionals i els proveïdors d'energia. Aquestes parts depenen les unes de les altres i han de treballar a l'uníson perquè la infraestructura funcione amb èxit. L'heterogeneïtat de les infraestructures contribueix a un resultat combinat. La gran quantitat de parts que componen una infraestructura elèctrica habiliten una possibilitat: l'energia elèctrica. Si ho aconsegueixen, aquesta complexitat queda oculta i només veiem allò que permeten fer. Veig l'endoll i el resultat d'endollar el meu ordinador, no tot allò que ho fa possible.

Com a conseqüència, les infraestructures són *difícils de veure*. Interaccionem amb la vora de les extremitats més llargues, com l'endoll de la paret o l'aixeta de l'aigua. De fet, només interaccionem

amb allò que permeten fer, com qualsevol dispositiu que connectem al corrent. Aquesta invisibilitat és deguda a moltes raons. Algunes infraestructures (com ara la xarxa elèctrica) són tan extenses que no podem visualitzar-les per complet. Unes altres estan aïllades físicament, com les canonades de l'aigua corrent, i no són fàcilment accessibles. I una cosa que és més important, no és necessari ser conscients de les infraestructures mentre continuen sent funcionals. No necessite veure la infraestructura elèctrica si puc accedir sense problemes a l'electricitat. Això canvia quan una funcionalitat falla i trobem obstacles al nostre comportament habitual, com quan se'n

va la llum. Les infraestructures també són visibles durant el procés de construcció, com ocorre amb els estàndards de la biologia sintètica. Durant aquest temps, les infraestructures són accessibles i estan obertes al canvi.

■ ESTÀNDARDS I INFRAESTRUCTURES SOCIALS

El concepte d'infraestructura afecta de moltes maneres les normes i l'estandardització. La més òbvia és que no es pot tenir un sistema d'estàndards universal, fiable i de fàcil adopció sense allò que el fa possible. Per exemple, l'estandardització en biologia sintètica requereix sistemes que facen possible el muntatge, emmagatzematge i distribució de components genètics (Anderson et al., 2010; Endy i Arkin, 1999). Requereixen eines per a compilar, emmagatzemar i compartir les dades que caracteritzen aquests components (Mutalik et al.,

2013). Al mateix temps, les infraestructures es basen en estàndards. Els paràmetres, unitats, components i procediments compartits fan possible construir infraestructures i entregar els productes que en depenen. El que uneix totes dues formes de dependència és la seua necessitat compartida d'ordenació social.

Construir infraestructures és un tipus de treball pesat i poques vegades reconegut, però vital perquè l'estandardització tinga èxit. Menys òbvies, però encara més importants, són les «infraestructures socials»: formes de coordinació social sense les quals no es pot aconseguir l'estandardització. En poques paraules, una infraestructura social és una forma concreta d'ordenar la gent en una comunitat. L'ordenament implica les maneres que té una comunitat de dividir-se en subgrups i en què els seus membres s'hi organitzen. Constitueix la forma en què els grups es relacionen entre si i la manera en què s'assignen rols, responsabilitats, prestacions i restriccions als seus individus. Aquests ordenaments també inclouen com s'organitzen les jerarquies i com el poder social es distribueix de diferents maneres entre diferents persones.

Les societats són més que col·leccions de persones; són col·leccions de persones que interactuen entre elles de certes maneres (Barnes, 2001; Wenger, 1998). L'ordenament social habilita aquestes interaccions. Com totes les infraestructures, l'ordenament social no és estàtic ni acaba en si mateix; és dinàmic i serveix de suport per a altres qüestions. La més important és permetre que les persones participen en activitats compartides. Per exemple, un idioma (una infraestructura) possibilita la comunicació interpersonal (una pràctica compartida). L'ordenament social permet que es produïsqen constructes compartits en poblacions diverses. Per exemple, permet que un grup de persones planifiqui, construïska i mantinga operativa una xarxa elèctrica.

Col·lectius, ordenacions i normes

Moltes ordenacions socials es desenvolupen sense intenció ni direcció. Altres es planifiquen i instal·len de manera intencional. Els estàndards en biologia sintètica no apareixen per casualitat. Hi ha grups de persones que els



Biaz-Eraetic

Els estàndards tenen èxit quan una determinada comunitat assumeix posar-los en pràctica de manera col·lectiva. En cas contrari, la seua existència seria impossible. El sistema mètric decimal, per exemple, és un exemple d'estàndard que té vigència a tot el món.

han produït deliberadament, o que treballen intencionalment per a crear-ne (Frow, 2013). Si aquests estàndards tenen èxit, els companys coordinen el seu comportament en conseqüència. És a dir, la comunitat planeja, estableix i segueix una ordenació social específica (una infraestructura social concreta).

«Si entenem per 'estàndard' una cosa compartida, igual o sincronitzada, la coordinació de moltes persones és necessària»

Sovint percebem estàndards en objectes com ara paràmetres específics, directrius de pràctica, configuracions de dades, plans i diagrames de referència. Tots existeixen i són rellevants per a l'estandardització. No obstant això, cap compleix res per si mateix. Si no hi ha gent que seguísca aquests paràmetres i normes, no són més que llistes. Si ningú utilitza aquests plans

i diagrames, no són més que imatges. Les dades sense utilitzar manquen de significat. Totes aquestes coses només aconsegueixen algun resultat quan la gent les implementa en unes pràctiques concretes (Schaffer, 1999). No obstant això, només són vàlids alguns tipus de pràctiques.



Els estàndards es fan possibles, adquireixen significat i operen amb èxit solament quan la pràctica és col·lectiva. Quin sentit té parlar d'un estàndard que només segueix una persona si els estàndards en teoria han de ser usats uniformement per tots els membres d'una comunitat (o per una majoria, almenys). Si entenem per *estàndard* una cosa compartida, igual o sincronitzada, la coordinació de moltes persones és necessària. Encara que els estàndards els desenvolupen persones, només tenen sentit quan el grup coordina les seues accions de la manera apropiada (quan s'adopta un ordre social adequat). Els estàndards només existeixen i operen quan també existeix i opera una ordenació social específica (Barnes, 2001; Schyfter, 2015). Els estàndards actius depenen de les infraestructures socials actives.

Comprendre això ens proporciona una manera diferent d'entendre els estàndards. L'estandardització implica prendre decisions sobre com organitzar la gent. Això és, consisteix a ordenar la gent en configuracions específiques i implicar-la en tipus concrets de pràctiques. En poques paraules, és necessari crear un grup de gent compromesa en conjunt amb l'estandardització perquè dissenyen, instal·len, utilitzen i mantinguen uns estàndards. Organitzar els individus en una ordenació concreta també implica distribuir responsabilitats per a diferents tasques, establir els privilegis i límits per als individus, definir criteris per a avaluar-ne el comportament i crear maneres d'assegurar-se que «seguisquen les normes» dels estàndards (Barnes, 2001; Wenger, 1998).

Com a conseqüència, se'ns planteja una pregunta important: a mesura que un grup desenvolupa i estableix estàndards, quina forma d'ordre social estan creant? Com he indicat anteriorment, les infraestructures sí que són visibles quan s'estan construint. El mateix ocorre amb infraestructures *socials* com els ordenaments socials. Una vegada establits, aquests ordenaments són difícils de percebre; mentre s'estan desenvolupant, són menys opacs. Els biòlegs sintètics encara estan establint els seus propis estàndards, i això significa que encara estan construint l'ordenació social necessària.

Conscienciació, responsabilitat i rendició de comptes

Quan prenen decisions tècniques sobre qüestions com el disseny, la funcionalitat, el muntatge, l'ús, l'emmagatzematge, la metrologia i la terminologia, els biòlegs sintètics estan triant la manera de classificar la seua gent.

Els qui desenvolupen l'ordenament social no poden evitar aquestes eleccions. La seua elecció és, més aviat, prendre decisions activament o acceptar els resultats que vinguen. Els biòlegs sintètics haurien de preguntar-se si cedir aquest control a l'atzar és la millor manera d'organitzar la seua comunitat. Pense que haurien d'establir la seua infraestructura social activament, i també que han de basar els seus esforços en tres principis: la conscienciació, la responsabilitat i la rendició de comptes.

La conscienciació consisteix a substituir suposicions i creences comunes per conceptes més precisos. En aquest cas, implica qüestionar què és un estàndard, què requereix, com existeix i què provoca. Dit d'una altra manera, substituir una visió dels estàndards com a normes o directrius estàtiques per un concepte que els entenga com a coordinació social activa. La conscienciació consisteix a adonar-se que, per a entendre què és un estàndard, és necessari pensar en com s'organitzen i com es comporten els membres d'un col·lectiu. Finalment, la conscienciació requereix estar al corrent de què ocorre durant el procés de desenvolupament i implementació d'un estàndard, encara que no siga una informació estrictament tècnica.

Aquesta conscienciació és suplementada per la responsabilitat. Els individus han de reconèixer que els seus estàndards, així com allò que els fa possible, els pertanyen. Els científics i tecnòlegs solen assignar-se habitualment els seus propis èxits, però la comunitat també espera que admeten la seua responsabilitat quan les seues pràctiques tenen conseqüències negatives.

La responsabilitat reconeix la participació intencional dels individus en l'elaboració, entre altres coses, dels estàndards. També fa que la conscienciació tinga conseqüències materials. És a dir, la responsabilitat trau la conscienciació de l'abstracció i la porta al món real de la pràctica de la biologia sintètica.

Finalment, la responsabilitat exigeix rendició de comptes. Si entenem que els progressos pertanyen a determinades persones, aquestes han de respondre també per les seues conseqüències; en cas contrari, parlem d'una responsabilitat buida. Els encarregats de desenvolupar estàndards i donar suport als treballs

«La conscienciació consisteix a substituir suposicions i creences comunes per conceptes més precisos»

d'estandardització són responsables dels efectes que produeixen o promouen. També són responsables d'abordar els errors, els problemes i el mal causat. Igual com la responsabilitat transforma la conscienciació en una cosa tangible, la rendició de comptes transforma la responsabilitat en alguna cosa que té ramifications i estableix expectatives, compromisos i deures ètics.

■ CANVIAR D'ENFOCAMENT, PERMETRE LA REFLEXIÓ

Les ciències socials ofereixen diferents maneres de reflexionar sobre l'estandardització. Comprendre l'estandardització com una forma d'ordenació social fa veure aspectes dels estàndards que en cas contrari quedarien ocults. Ens permet anar més enllà de la informació a què podem accedir immediatament en la taula de treball, en la pantalla i en les converses orals o escrites. Cadascuna d'aquestes situacions constitueix un enfocament limitat sobre què és l'estandardització. A més, com que moltes d'aquestes coses s'han establert de manera rígida, no ofereixen moltes possibilitats per al pensament crític. Un enfocament que done suport a la conscienciació, la responsabilitat i la rendició de comptes fa possible l'autoreflexió crítica.

Els tecnòlegs no són aliens a certes formes de reflexió. Encara que només siga de manera implícita, reflexionen i avaluen les seues decisions tècniques per a assegurar l'èxit tecnològic. Després de fallades terribles com la tragèdia del transbordador espacial Challenger i els accidents recents dels avions 737 MAX de Boeing, el procediment exigeix l'avaluació de les decisions tecnològiques preses amb anterioritat (Vaughan, 1996).

L'autoreflexió des d'un enfocament de ciències socials expandeix el concepte de reflexió tècnica per a incloure també la introspecció sobre les conseqüències que les decisions tècniques tenen en aquells que duen a terme el treball. Per exemple, requereix que les persones consideren l'ordenació social que imposen determinades decisions tècniques, i com aquesta ordenació dona forma a les experiències. Com que les eleccions tècniques no estan exemptes de ramifications socials, aquest tipus de reflexió encaixa eficaçment en els processos de desenvolupament tecnològic. I una qüestió que és més important: aquest tipus de reflexió permet una presa de decisions activa i conscient. Realitza canvis explícits que altrament simplement «ocorrien».

És significatiu que aquesta autoreflexió es veu obstaculitzada (quan no directament suprimida) per la institu-



©GEN Foundation / Justin Knight

«Els encarregats de desenvolupar l'estàndard i donar suport als treballs d'estandardització són responsables dels efectes que produeixen o promouen»



Els estàndards necessiten les infraestructures per a consolidar-se, però aquestes no només han de ser físiques, sinó que també han d'haver-n'hi de socials. Una infraestructura social és una forma concreta d'ordenar la gent en una comunitat, en què cada subgrup s'organitzarà d'una manera específica que distribuirà els rols, les responsabilitats, les prestacions i les restriccions que han de seguir els individus que el conformen. En la imatge, fotografia aèria dels grups participants en l'iGEM 2014, competició internacional de biologia sintètica que se celebra anualment i que reuneix vora 300 grups participants, entre els quals hi ha estudiants universitaris de diversos nivells, però també grups de secundària i laboratoris. L'objectiu de la competició és que cada grup siga capaç de construir sistemes biològics nous a partir d'un paquet de components genètics que tots els grups reben per igual.

**«L'autoreflexió basada en ciències socials
requereix considerar l'ordenació social
que imposen determinades decisions
tècniques»**

cionalització dels estàndards. Una vegada establits i en funcionament, aquests oculten la seua herència i el seu funcionament intern. Els components estandarditzats amb èxit funcionen com a caixes negres fiables: els usuaris no necessiten saber d'on venen ni com funcionen per a utilitzar-los correctament. Una vegada entren en funcionament, els estàndards es tornen distants; el mateix ocorre amb l'ordenació social. El moment més eficaç per a reflexionar sobre aquestes qüestions és abans que l'estandardització es convertisca en una pràctica compartida, abans que els nous estàndards es fixen i abans que la comunitat s'organitze al seu entorn. El moment més eficaç és quan la conscienciació, la responsabilitat i la rendició de comptes encara són opcions viables. ☺

REFERÈNCIES

- 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). Nova 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., Cambrey, 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. Schlaudt, & 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. Professor de l'Escola de Ciències Polítiques i Socials de la Universitat d'Edimburg (Regne Unit). Investiga sobre ciència, tecnologia i innovació, sociologia del coneixement i filosofies de la biologia i la tecnologia. Ha estudiat biologia sintètica i ha escrit sobre ontologies tecnològiques, funcionalitat biològica i metrologia. Actualment està investigant sobre racionalitat i creació de coneixement en l'enginyeria. ✉ p.schyfter@ed.ac.uk