
Economia, societat i tecnologia

PID_00244050

Eduard Aibar

Temps mínim de dedicació recomanat: 3 hores



Índex

Introducció	5
1. Autonomia de la tecnologia	7
2. Determinisme tecnològic	8
3. Una aproximació no determinista a la tecnologia	10
3.1. La relativitat social dels impactes	10
3.2. La visió constructivista	10
3.3. Un estudi de cas: els orígens de la bicicleta	11
3.3.1. Grups socials rellevants	12
3.3.2. Flexibilitat interpretativa	13
3.3.3. Clausura i estabilització	13
3.4. La tecnologia com a construcció social	14
4. Sistemes sociotècnics: decisions tècniques i decisions econòmiques	16
5. L'aproximació neoclàssica	18
6. Trajectòries naturals <i>versus</i> institucions socials	21
7. Rendiments creixents per adopció i <i>path dependence</i>	23
8. Model lineal <i>versus</i> model multidireccional del desenvolupament tecnològic	26
9. Economia evolutiva <i>versus</i> economia neoclàssica	30
10. Ideologia de la innovació	32
Resum	36
Bibliografia	39

Introducció

La visió tradicional de la tecnologia

La influència de les innovacions tecnològiques en la societat és un tema clàssic en el pensament modern i contemporani. En cert sentit, atribuir a la tecnologia un paper important com a agent causal en els canvis socials forma part del nostre imaginari cultural. En uns casos els efectes del canvi tecnològic es manifesten en els nivells més bàsics de la vida quotidiana. Segons quina sigui la nostra generació, l'automòbil, la televisió, la píndola anticonceptiva, l'ordinador personal o el telèfon mòbil hauran estat protagonistes de canvis més o menys importants en els nostres hàbits i, en definitiva, en la nostra forma de vida.

En altres casos, s'atribueix a certes tecnologies la capacitat, més subtil i més remarcable, de generar autèntiques **revolucions socials** en les quals resulta afectada tota l'estructura de la societat, des dels vincles econòmics fins a les relacions de poder. Durant el segle XX, la temàtica general de la relació entre el canvi social i la tecnologia ha adquirit un protagonisme sense precedents en la història, fonamentalment entre sociòlegs, economistes, filòsofs i historiadors.

La tendència a destacar el paper exercit per la tecnologia en les transformacions socials i els nombrosos estudis sobre els efectes i les conseqüències socials d'innovacions tecnològiques específiques, culminen en la tesi del **determinisme tecnològic**: la idea que la tecnologia constitueix *l'agent causal més important* en els canvis socials al llarg de la història; la tesi, en resum, de què el canvi tecnològic determina el canvi social o, dit d'una altra manera, que la tecnologia és, senzillament, *el motor de la història*.

Són nombrosos els autors que, des de disciplines molt diferents, han defensat i defensen encara aquesta tesi. Però ¿constitueix la forma més correcta d'entendre la relació entre tecnologia i societat? ¿En quin tipus d'evidència empírica i històrica troba suport? ¿Hi ha alternatives més adequades tenint en compte els coneixements històrics de què disposem?

Per a respondre aquest tipus de preguntes és útil, en primer lloc, distingir entre dues idees que sovint apareixen superposades en els discursos i enfocaments deterministes. D'una banda, la idea de *l'autonomia de la tecnologia* i, de l'altra, la del *determinisme tecnològic*, en sentit estricte.

1. Autonomia de la tecnologia

L'*autonomia de la tecnologia* és la idea que la tecnologia segueix el seu propi curs al marge de la intervenció humana o social i que es desenvolupa, fonamentalment, de forma incontrolada. Autors amb orientacions tan diferents com Jacques Ellul, John Kenneth Galbraith, Martin Heidegger, Marshall McLuhan o Alvin Toffler es mostren d'acord a afirmar que la tecnologia es desenvolupa segons les seves pròpies lleis inexorables, seguint una lògica particular que sempre acaba imposant-se a qualsevol intent de control humà.

Encara que la tesi de l'autonomia de la tecnologia té una llarga història, és durant les últimes dècades, gràcies a l'espectacular desenvolupament i difusió de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC), quan ha assolit un protagonisme social i mediàtic més elevat. El caràcter vertiginós dels canvis tecnològics que vivim, la idea que ens trobem en el mateix centre d'una revolució tecnològica i social sense precedents o el convenciment que el futur immediat ens portarà canvis encara més sorprenents, en són només una petita mostra.

Un d'aquests tòpics, emparentat amb la tesi de l'autonomia, consisteix a emfasitzar el caràcter **inexorable** del desenvolupament tecnològic. Sovint s'afirma que el procés accelerat de canvis tecnològics que vivim és, senzillament, imparable. Una altra versió de la mateixa idea consisteix a assenyalar el caràcter **inevitable** de les innovacions tecnològiques i de la seva difusió social. Es considera, per exemple, que les barreres (socials, polítiques, institucionals, culturals...) posades al desenvolupament o difusió d'una certa innovació tecnològica són, a llarg termini, inútils, tenint en compte que la lògica inapel·lable de la innovació i el desenvolupament tecnològic acaben sempre imposant-se, d'una manera o altra, per damunt de qualsevol forma de restricció o regulació.

En el cas de les TIC, el procés d'innovació sembla estar, fins i tot, sotmès a **lleis** que certifiquen el seu caràcter inapel·lable i autònom. Així, sovint es fa referència a la *lei de Moore*, que estableix que el nombre de transistors incorporats en un xip es duplica en un espai de temps d'entre 18 i 24 mesos. Alguns no dubten a buscar lleis similars que expliquin la progressió geomètrica en el volum d'informació que circula per internet.

La presumpta existència de lleis en el desenvolupament tecnològic de les TIC reforça la idea que estem davant d'un procés bàsicament **autònom**, en el sentit que es produeix al marge de qualsevol voluntat explícita. El desenvolupament tecnològic sembla seguir pautes similars als fenòmens físics i naturals que es regeixen per lleis impermeables als nostres desitjos o intencions i amb absoluta independència dels avatars de la vida social.

2. Determinisme tecnològic

Bona part dels discursos i estudis que tematitzen els *impactes* o *efectes socials* de la tecnologia acostumen a assumir, d'una manera explícita o implícita, alguna forma de determinisme tecnològic. Fins al punt que algunes innovacions tecnològiques se solen interpretar com a motors de transformacions socials radicals o, fins i tot, revolucionàries.

Exemple

Alguns dels exemples històrics més famosos en aquest tipus de narrativa són l'estrep i la societat feudal, la impremta i la Reforma, la brúixola i el descobriment del Nou Món, la màquina de vapor i la societat industrial o els microprocessadors i l'anomenada societat de la informació.

Per exemple, per a l'historiador Lynn White, la introducció i difusió de l'estrep en la societat europea va ser una de les causes principals de l'aparició de la societat feudal entesa com una societat dominada per l'aristocràcia guerrera i propietària de la terra. L'estrep, segons argumenta White, va fer possible una nova unitat de combat sense precedents: la combinació d'un home, una espasa i un cavall. L'estrep permetia l'ús de l'espasa amb molta estabilitat i sense el perill, abans permanent, de caure del cavall cada vegada que el cop no encertava l'enemic. L'aparició d'aquesta nova unitat de combat exigia tanmateix un entrenament sistemàtic, a més de cavalls especials i d'armadures per a defensar-se d'altres cavallers. Aquestes condicions específiques van propiciar la creació d'una organització social que pogués garantir el manteniment d'aquesta nova elit ociosa de guerrers a cavall: aquesta nova organització és la que coneixem amb el nom de **feudalisme**.

La perspectiva determinista es caracteritza per considerar la relació entre tecnologia i societat com a **unidireccional**: mentre que l'evolució de la societat (en els seus aspectes econòmics, polítics o culturals) és conseqüència del desenvolupament tecnològic –està, doncs, determinada per ell–, la tecnologia segueix un curs particular d'acord amb les seves pròpies lleis. Sembla, a més, com si la tecnologia es desenvolupés inicialment en un àmbit extern al medi social: és un factor *exogen* amb una dinàmica pròpia que no resulta afectada, en l'essencial, pel medi social.

El desenvolupament tecnològic s'entén així com una successió d'invencions o innovacions en les quals cada baula condueix gairebé necessàriament –o naturalment– a la següent i on cada artefacte sembla haver estat dissenyat amb l'objectiu d'arribar a la situació actual, mitjançant aproximacions successives.

Un dels deterministes tecnològics més cèlebres ha estat l'economista Robert L. Heilbroner. Aquest autor afirma que el desenvolupament tecnològic segueix una seqüència fixa, i que qualsevol societat que progressi, tard o d'hora també haurà de seguir-la. En una obra ben coneguda sosté:

«Crec que hi ha una seqüència d'aquest tipus: que el molí de vapor segueix el molí manual no per casualitat, sinó perquè és el següent "pas" en la conquesta tècnica de la naturalesa que segueix una i només una gran via d'avenç. En altres paraules, crec que és impossible passar a l'era del molí de vapor sense haver passat per l'era del molí manual i que, al seu torn, no podem passar a l'era de la central hidroelèctrica sense haver dominat el molí de vapor ni a l'era de l'energia nuclear sense haver passat per la de l'electricitat».

Robert L. Heilbroner (1997). «¿Son las máquinas el motor de la historia?». A: Smith, M. R.; Marx, L. (editors). *Historia y determinismo tecnológico*. Madrid: Alianza (pàg. 69-82; 71).

Quan es postulen aquesta mena de seqüències s'acostuma a identificar la seva lògica pròpia (és a dir, la lògica interna del desenvolupament tecnològic) amb la millora de l'*eficiència* dels artefactes tècnics. Es considera que cada innovació en un àmbit concret produeix un artefacte més eficient que els seus predecessors, és a dir, que desenvolupa la seva funció amb més eficàcia, menys consum energètic o menys efectes no desitjats. L'eficiència, com a motor intern de la innovació tecnològica, s'interpreta, fora d'això, com un factor purament tècnic (o científic) universal, indiscutible i independent de qualsevol consideració social o valorativa.

3. Una aproximació no determinista a la tecnologia

3.1. La relativitat social dels impactes

Tot i que és innegable que les tecnologies tenen efectes socials, el terme *impacte* suggereix un procés gairebé mecanicista en el qual causes i efectes s'enllacen automàticament mitjançant una relació simple. L'estudi de casos concrets, tanmateix, no avala gens aquest extrem. No hi ha, per exemple, un vincle directe i immediat entre la màquina de vapor i la Revolució Industrial: les relacions entre un fenomen i l'altre són molt complexes i, en tot cas, es van estendre durant, com a mínim, un segle! –el temps durant el qual les antigues rodes hidràuliques van conviure amb les màquines de vapor.

En segon lloc, els impactes són clarament *relatius* al seu context social i històric. Una mateixa tecnologia té efectes molt diferents i experimenta desenvolupaments diferents en configuracions socials i culturals diverses. Els efectes magnificats de la impremta o de la pólvora a Europa, per exemple, van ser molt diferents dels que es van produir a la Xina. Aquesta mateixa relativitat cultural en els efectes ha estat demostrada per a innovacions clàssiques tan significatives com l'estrep, la roda o la brúixola, encara que hi ha també nombrosos estudis sobre innovacions més modernes.

Són aquests tipus de fenòmens els que van suggerir a alguns especialistes la possibilitat de realitzar, més enllà dels clàssics estudis d'impactes socials de la tecnologia, una exploració sistemàtica de l'altra cara de la moneda: ¿quins efectes té el medi social –entès de forma àmplia– sobre la tecnologia? ¿Els factors socials, organitzatius, culturals o polítics influeixen d'alguna forma en el canvi tecnològic o en els processos d'innovació tècnica? ¿Pot entendre's, en resum, la relació entre tecnologia i societat d'una manera *bidireccional*?

3.2. La visió constructivista

Aquesta mena de preguntes va encoratjar a mitjan vuitanta del segle XX alguns sociòlegs de la ciència a aplicar alguns dels seus principis analítics a l'estudi de la tecnologia. El nou camp es desenvolupa al si dels Estudis de Ciència i Tecnologia (STS, *Science and Technology Studies*), i és impulsat fonamentalment per sociòlegs, filòsofs, historiadors i economistes, i desemboca en el que s'ha anomenat una visió *constructivista social* del desenvolupament tecnològic. La versió *moderada* d'aquesta aproximació sosté, a grans trets, que l'anàlisi de la tecnologia no s'ha de realitzar sense tenir en compte el **context social** en el qual sorgeixen o es difonen les innovacions tecnològiques. La versió *radical*, de la qual ens ocuparem aquí, en canvi, intenta contrastar empíricament la idea que el contingut mateix de la tecnologia (les seves característiques de disseny,

el funcionament correcte o incorrecte dels artefactes, els criteris d'eficàcia, etc.) és fruit de processos socials –encara que l'epítet social no s'ha d'entendre en el sentit estrictament sociològic, com veurem més endavant, sinó de forma més àmplia.

Des d'aquesta nova plataforma analítica s'han examinat en detall, entre d'altres, les tesis del determinisme tecnològic i l'autonomia de la tecnologia. Davant de l'evidència proporcionada per un gran nombre de casos estudiats, en diferents àrees de la tecnologia i en diferents períodes històrics i contextos socials, ha guanyat credibilitat la idea que, lluny de desenvolupar-se de forma autònoma, *el canvi tecnològic està configurat per forces i agents socials de diferents tipus*. En cert sentit les tecnologies són un producte de la seva circumstància, és a dir, reflecteixen el medi social en el qual són creades:

«Es diu, de vegades, que tenim els polítics que ens mereixem. Però si això és cert, també tenim les tecnologies que ens mereixem. Les nostres tecnologies són un reflex de les nostres societats. Reprodueixen i encarnen complexos entramats de factors professionals, tècnics, econòmics i polítics. [...] Les tecnologies sempre impliquen compromisos. Política, economia, teories sobre la resistència dels materials, nocions sobre el que és bell o útil, preferències, prejudicis o habilitats professionals, eines de disseny, matèries primeres disponibles, teories sobre el comportament del medi ambient –tots aquests elements s'introdueixen al gresol quan es dissenya o construeix un artefacte».

W. E. Bijker, J. Law (editors) (1992). *Shaping Technology/Building Society*. Cambridge: MIT Press.

La influència de tots aquests factors en el disseny i desenvolupament de la tecnologia pot analitzar-se utilitzant diverses estratègies. Una manera relativament directa consisteix a examinar la forma en la qual una mateixa tecnologia es desenvolupa i difon en contextos socials diferents per bé que coetanis. Sorprenen observar, per exemple, les diferències considerables en el disseny de les *barreres antimarea* desenvolupades a la costa holandesa i les construïdes a la costa anglesa, a només unes quantes desenes de quilòmetres de distància, en circumstàncies geofísiques molt similars i sota un mateix corpus de coneixements científics en dinàmica de fluids o en resistència de materials. Una altra estratègia usual per a detectar l'influx de factors heterogenis en el desenvolupament de la tecnologia ha consistit a analitzar episodis en els quals es plantegen alternatives tecnològiques: moments en què hi ha diverses opcions tècniques per a resoldre un problema similar o en què una innovació es proposa com a alternativa a una tecnologia existent.

3.3. Un estudi de cas: els orígens de la bicicleta

Les històries convencionals de la bicicleta solen presentar una **genealogia lineal** que va des de la primera *bicicleta ordinària* fins a l'anomenat *model Lawson*, que es considera la primera bicicleta moderna (ja que estava formada per dues rodes baixes i una cadena de transmissió a la roda posterior). Aquesta visió és fruit d'una mirada historiogràfica retrospectiva en què la situació present –la bicicleta actual– serveix de model per a examinar el passat: aquells exemplars que encaixen, és a dir, que poden considerar-se els seus *precedents*,

s'inclouen en la genealogia. La resta es consideren *aberracions* o curiositats, ja que no poden situar-se en la trajectòria traçada –en aquesta categoria s'hi solen situar les *ordinàries segures*, l'*extraordinària* i la *Star*.

Trevor Pinch i Wiebe Bijker, tanmateix, van constatar que alguns d'aquests models considerats marginals van tenir més èxit comercial que el model Lawson i que tots els models sorgits després de l'ordinària es van considerar rivals perillosos per a la seva hegemonia. La qüestió interessant era, per tant, determinar per què de tots els models, l'ordinària es va acabar imposant o, formulant-ho d'una altra manera, quins problemes es van considerar més ben resolts per aquest model.

3.3.1. Grups socials rellevants

Pinch i Bijker van comprovar que aquests problemes o qüestions clau depenien dels actors socials que es consideressin –un problema (tecnològic) sempre és un problema *per a algú*. És per això que la seva primera tasca vas ser determinar quins eren els **grups socials rellevants** (GSR). Un GSR és un grup d'individus (que no necessàriament es correspon amb una institució formal: una empresa, una organització o una associació) que atribueix a un artefacte tècnic un mateix significat, un cert ús, una sèrie d'avantatges, problemes, objectius o funcions.

Els ciclistes o usuaris de bicicletes, semblen a priori un clar GSR, però també ho eren els «anticiclistes»: persones que consideraven la bicicleta un artefacte perillós, tant per als seus usuaris, com per als vianants que de vegades resultaven atropellats –un col·lectiu que, per tant, li atribuïa un significat particular (en aquest cas força negatiu) i que, per molt que ens sembli estrany ara, era llavors molt nombrós. De fet, la determinació dels GSR no és tan trivial com pot semblar. Sovint és important determinar si un GSR és homogeni –respecte al significat que s'atribueix a l'artefacte– o ha de dividir-se en grups diferents. En el grup d'usuaris, per exemple, Pinch i Bijker van distingir un GSR diferent, les dones, ja que la bicicleta representava per a elles una problemàtica diferenciada: en l'època no es considerava la bicicleta un artefacte *moralment* adequat per a elles, i a més, pedalar amb faldilla implicava una dificultat afegida; una qüestió que va propiciar l'aparició de dissenys específics per a elles –de fet, la utilització femenina de la bicicleta es va associar al moviment d'alliberament de la dona.

En el cas de la bicicleta ordinària de roda alta de la dècada de 1870, els GSR eren, bàsicament, segons l'anàlisi de Pinch i Bijker, els fabricants, els joves esportistes de classe alta, les dones i els anticiclistes. Cada un d'ells veu l'artefacte d'una forma diferent i no té sentit buscar una descripció *objectiva* o *neutral* de la bicicleta.

3.3.2. Flexibilitat interpretativa

L'existència d'aquests GSR i, conseqüentment, de formes divergents d'entendre l'artefacte constitueixen una prova de la **flexibilitat interpretativa** de l'artefacte –un altre concepte clau en aquesta aproximació. Tanmateix, la flexibilitat interpretativa dels artefactes tècnics no s'ha d'entendre en termes exclusivament hermenèutics; no es limita a assenyalar el fet trivial que a un artefacte se li poden assignar diferents significats o valors en contextos diferents (així, un ordinador pot ser per a molts una eina quotidiana de treball, mentre que al despatx d'un polític denota modernitat). Les diferències a les quals el concepte de flexibilitat interpretativa es refereix són **radicals**, això és, estan relacionades amb el funcionament dels artefactes (amb el fet que ho facin correctament o incorrectament) i amb el disseny material dels seus components; un aspecte molt més difícil de demostrar i que té conseqüències directes per a les innovacions futures: segons una interpretació o una altra, l'artefacte seguirà línies molt diferents d'evolució.

En el cas de la bicicleta ordinària, per als joves esportistes es tractava d'un artefacte *viril* i amb molt glamur. Per a les dones, en canvi, es tractava d'una màquina, d'una banda, perillosa –perquè les caigudes eren freqüents i, considerant la mida de la roda de davant i l'alçada del selló, de conseqüències nefastes– i, de l'altra, difícil de conduir vestint faldilla. Per als joves esportistes de classe alta, en canvi, la bicicleta ordinària era una forma d'impressionar la gent i caure, per molt que ara ens sorprengui, era part de l'encant de l'ordinària –fins i tot en alguns documents de l'època s'especificaven formes «elegants» de caure. En el primer cas, la seguretat constituïa el principal problema que havien de resoldre els enginyers i fabricants: una línia de desenvolupament que conduïa a sellons a menys altura i a formes d'esmoreir les vibracions en terreny irregular. En el segon, en canvi, una de les prioritats era augmentar la velocitat.

En cert sentit, la presència de flexibilitat interpretativa suggereix l'existència d'artefactes diferents («bicicleta viril» *versus* «bicicleta perillosa») en el que a simple vista sembla un únic artefacte («bicicleta ordinària»). I, el que és més important, demostra la **construcció social de la tecnologia**, ja que lluny de seguir una simple evolució cap a una eficiència més gran (en un suposat sentit precís i neutre), constata l'existència de diferents línies de desenvolupament impulsades per elements més heterogenis (velocitat, seguretat, moralitat, virilitat, etc.) no sempre compatibles entre si; en altres paraules, avala un **model multidireccional del desenvolupament tecnològic**.

3.3.3. Clausura i estabilització

El següent pas en aquest model d'anàlisi consisteix a estudiar els processos que permeten la disminució de la flexibilitat interpretativa, ja que, en la majoria dels casos, un dels significats/artefactes adquireix finalment un cert predomini sobre els altres o es produeix un procés de convergència o hibridació entre

més d'un. El resultat és que al final aquest procés de construcció social (que pot incloure episodis explícits o implícits de negociació o discussió) s'acaba en un únic artefacte: les controvèrsies es clausuren i el conflicte entre els diversos GSR disminueix. Diem llavors que s'ha produït l'**estabilització** de l'artefacte.

El concepte d'estabilització indica que es tracta d'un fenomen *progressiu* i no d'un esdeveniment puntual. Els processos d'estabilització d'un artefacte poden durar anys o fins i tot dècades, i al llarg del temps es detecten diferents graus d'estabilitat –no necessàriament en sentit decreixent. El concepte de **clausura**, per la seva part, indica una certa *irreversibilitat* que passa quan es canvia d'un escenari amb diferents artefactes rivals a un únic artefacte final estable –encara que la clausura no significa una irreversibilitat *absoluta*.

És important assenyalar que la clausura de les controvèrsies no es produeix simplement «quan es troba la solució», sinó quan els GSR *creuen* que els seus problemes han estat resolts. Això implica que la retòrica i el màrqueting exerceixen, de vegades, un paper important en el desenvolupament tecnològic. Un fet que podem il·lustrar en el cas de la bicicleta amb la incorporació del *pneumàtic*: una innovació característica de l'artefacte finalment estabilitzat en l'actualitat, però que en l'època era vista per la majoria d'enginyers i d'usuaris com una cosa «horrible» –tant en termes pràctics com estètics. El pneumàtic va triomfar perquè els seus fabricants van aconseguir presentar-lo simultàniament als joves esportistes com un dispositiu per a augmentar la *velocitat* i, a la resta d'usuaris, com un element per a augmentar la *seguretat* (ja que reduïa el risc de caigudes en circular sobre terreny irregular).

Queda per explicar, finalment, per què el procés de construcció social s'ha desenvolupat d'aquesta manera i no d'una altra. Per a això, l'aproximació constructivista utilitza el concepte de **marc tecnològic** (*technological frame*). Un marc tecnològic és un tipus d'estructura que es constitueix a través de la interacció continuada entre els membres d'un grup social i un artefacte: durant aquest procés es constitueixen certes pràctiques, discursos, objectius o problemes que poden marcar el futur tant de l'artefacte com del grup social en qüestió. En certa manera, els marcs tecnològics representen una versió dels *paradigmes científics* (proposats per Thomas Kuhn) en l'àmbit de la tecnologia. A diferència d'aquests, tanmateix, inclouen, no només tècnics, científics o especialistes (la comunitat científicotècnica) sinó qualsevol grup social que interacció d'alguna manera amb l'artefacte –incloent-hi els «simples» usuaris.

3.4. La tecnologia com a construcció social

La conclusió òbvia que pot extreure's d'estudis com aquests és que, lluny de desenvolupar-se de manera autònoma seguint una presumpta lògica pròpia, el desenvolupament tecnològic es troba molt *condicionat* per una gran varietat de factors entre els quals figuren alguns que no podem considerar estrictament tècnics. En general, els estudis empírics reforcen la idea que determinats agents socials –des de grups específics d'usuaris, fins a corporacions empres-

rials, passant per agències governamentals o associacions professionals– influenxen de manera decisiva en la direcció del canvi tecnològic; no només inclinant la balança en un sentit concret quan es planteja una disjuntiva tècnica, sinó imposant directrius en el disseny de nous artefactes. En aquests casos, les decisions preses no són explicables únicament a partir de consideracions purament tècniques. És per tot això que ha guanyat credibilitat, entre nombrosos especialistes, la tesi que la tecnologia es troba *configurada* o *construïda socialment*.

El ventall de factors socials que intervenen en la configuració del canvi tecnològic és, però, molt divers. Algunes vegades es tracta de relacions de poder entre classes o grups socials; altres vegades, dels interessos específics de diferents grups d'usuaris; les relacions de competència entre empreses de vegades poden ser determinants; d'altres ho són, més aviat, l'estructura organitzativa de l'empresa en la qual es desenvolupa la innovació o l'enfrontament entre diferents cultures enginyeres. Una conseqüència important d'aquesta variabilitat és que en el terme *construcció social* no podem equiparar «social» a «sociològic»; el terme social s'utilitza en aquest context de forma molt menys restrictiva i inclou aspectes econòmics, científics, tècnics, polítics, psicològics o històrics.

4. Sistemes sociotècnics: decisions tècniques i decisions econòmiques

La tecnologia, en qualsevol cas, apareix per a la perspectiva constructivista com una entitat de naturalesa eminentment **heterogènia**: els artefactes tècnics encarnen compromisos, intercanvis i tensions socials, polítiques, econòmiques, professionals, així com habilitats, coneixements especialitzats, possibilitats o expectatives de tipus molt diferents. En cap cas són *neutres*. Aquest aspecte ha estat posat en relleu per nombrosos estudis sobre els tipus d'accions i iniciatives que es despleguen en els episodis d'innovació.

En analitzar el comportament dels innovadors reeixits s'observa que el seu treball pot conceptualitzar-se com una empresa de *construcció de sistemes* que combinen de forma estable elements tècnics, socials i econòmics: una activitat que s'ha descrit com a *enginyeria heterogènia*. Efectivament, els artefactes tècnics normalment, i cada cop més, formen part de *sistemes* tecnològics i no es poden entendre com a entitats aïllades. Un automòbil només pot funcionar correctament dins un sistema de carreteres, convenientment senyalitzades, amb una xarxa de benzineres i tallers de reparació i en un marc normatiu específic. Un avió, que al seu torn constitueix ja un sistema complex format per moltes parts diferenciades (sistema de propulsió, sistema de pilotatge, tren d'aterratge, fuselatge, etc.), necessita una xarxa d'aeroports, controladors aeris, sistemes de venda de bitllets, personal especialitzat, etc. Com va dir una vegada el sociòleg de la ciència Bruno Latour, «els avions no volen; volen les companyies aèries».

Quin és l'objectiu d'un sistema tècnic? En el context del raonament econòmic, normalment s'entén que l'objectiu d'un sistema tècnic és *reduir costos* i *augmentar els beneficis*. Els sistemes de producció d'electricitat, poden ser públics o privats, però en qualsevol cas les qüestions relatives a costos, pèrdues o beneficis semblen cabdals. Quan es parla d'un component «poc eficient» el que es vol dir habitualment és que es tracta d'un element antieconòmic: que genera pèrdues o costos massa elevats. En aquest sentit es pot dir que *el raonament tecnològic i l'econòmic són sovint inseparables*.

En un estudi famós sobre la figura d'Edison, l'historiador Thomas Hughes ha descrit amb detall el procés que va dur al disseny de la *bombeta elèctrica incandescent* i a la difusió posterior dels sistemes urbans d'il·luminació elèctrica. L'objectiu final d'Edison era generar electricitat, transmetre-la als consumidors i vendre'ls a més els aparells necessaris per utilitzar-la. Per a aconseguir-ho necessitava mantenir els costos tan baixos com fos possible –i no només per a

satisfereix els seus suports financers i garantir-los el benefici més gran possible, sinó per a poder competir amb els sistemes d'il·luminació amb gas existents llavors.

L'anàlisi minuciosa dels quaderns d'Edison mostra clarament com els seus raonaments combinaven de forma enginyosa consideracions de tipus econòmic, tècnic i científic. Va ser precisament l'heterogeneïtat dels esmentats arguments, en els quals es barrejaven hàbilment els preus del coure, la llei d'Ohm, la necessitat estimada de potència lluminosa i el cost de la il·luminació rival per gas, el que el va fer seguir vies inexplorades fins llavors, com la utilització de filaments incandescents d'alta resistència.

Un element crucial en aquest sistema era el cost del coure dels cables que havien de transmetre l'electricitat. Menys coure significava menys corrent i per això calia que les bombetes fessin servir un filament amb alta resistència que permetés alt voltatge amb poca intensitat. El disseny final de la bombeta, per tant, va ser el fruit d'aquesta barreja de consideracions tècniques i econòmiques.

La tasca d'inventors emprenedors com Edison ha estat batejada per Thomas Hughes com la de *construcció de sistemes*: es tracta de personatges que intenten proporcionar a les seves invencions les característiques econòmiques, polítiques i socials necessàries per a la seva supervivència. En certa manera és com si, al mateix temps que dissenyaven el nou artefacte, s'esforcessin també per a construir un *context social adequat* per a ell. La feina de l'*enginyer heterogeni* constitueix, en aquest sentit, una tasca sociotècnica fenomenal que intenta traduir grans qüestions socials (la il·luminació pública de les ciutats) a problemes tècnics locals (filaments incandescents, resistència elèctrica) mitjançant una sèrie d'intermediaris que converteixen el laboratori d'R+D (*Recerca i Desenvolupament*) o el projecte tecnològic de què es tracti, en un verdader punt de pas obligat per a tot agent interessat a resoldre els «grans problemes» de la societat.

De forma exemplar i per a transformar el seu invent en una verdadera innovació, Thomas Edison treballa amb altres inventors, gerents i financers i funda diferents companyies per a establir un complex sistema de producció i utilització d'electricitat: l'Edison Electric Light Company per a finançar la seva invenció, patentat-la i desenvolupar el sistema d'il·luminació elèctrica, l'Edison Electric Illuminating Company of New York com a primera central urbana, l'Edison Machine Works per a manufacturar les dinamos que patenta, etc.

5. L'aproximació neoclàssica

La figura d'Edison, com a inventor-emprenedor, es pot considerar un precedent singular del que avui són els departaments d'R+D de les grans corporacions i, més en general, l'inici de la instrumentalització actual de la ciència i la tecnologia en benefici d'objectius empresarials. Ens mostra, a més, que les decisions tecnològiques són en bona mesura decisions econòmiques.

Des d'aquest punt de vista, curiosament, la inexorabilitat del canvi tecnològic no ve donada perquè la tecnologia es desenvolupi *al marge* de la societat –com la tesi del determinisme defensa– sinó precisament perquè és una part inextricable d'ella. Si els sistemes tècnics són en realitat iniciatives econòmiques subjectes a la competència del mercat, el canvi tècnic –la innovació– sembla clau per a la seva supervivència. El canvi tecnològic esdevé *inevitable*, però no per aquella suposada lògica pròpia de la tecnologia de què hem parlat abans.

La forma dominant d'entendre la relació entre l'economia i la tecnologia és l'aproximació *neoclàssica*, segons la qual les empreses trien aquelles tècniques de producció que els ofereixen una **taxa de benefici** més gran. Aquesta tesi, però, que a primer cop d'ull pot semblar trivial, ha estat objecte de fortes crítiques.

En primer lloc aquesta visió suposa que les empreses coneixen perfectament totes les opcions o alternatives tecnològiques disponibles i, mitjançant un càlcul racional trien les que *maximitzen* els beneficis. La realitat és, però, que les empreses només coneixen un ventall limitat d'opcions i que, normalment, tenen prou amb una que generi una taxa de benefici satisfactòria –no necessàriament la màxima.

En segon lloc, tot i que és indubtable que costos i beneficis tenen una importància cabdal, en el context de la innovació tecnològica del que estem parlant és de costos i beneficis **futurs**. Això introdueix un alt grau d'incertesa i impedeix considerar-los com a simples *dades objectives* o indiscutibles. De fet, estimar els costos és part d'aquesta feina d'enginyeria heterogènia que hem comentat i, en bona mesura, implica construir un entorn apropiat perquè un projecte tecnològic resulti viable. És pràcticament impossible saber per avançat quina estratègia serà la millor. El supòsit neoclàssic pot funcionar en entorns estàtics on hi ha temps suficient per a avaluar les conseqüències d'una selecció particular, però no en el context del canvi tecnològic. Una estratègia que ha estat efectiva en un moment donat, pot fracassar al cap de poc sense que la suposada «mà invisible» del mercat tingui temps d'implementar el procés d'optimització de l'economia neoclàssica.

A més, encara que aquest càlcul de costos i beneficis es pogués dur a terme, l'influx econòmic sobre la tecnologia seguiria sent un influx *social*. Tant els càlculs econòmics com les lleis de l'economia són específiques a determinades formes socials i no són universals, com Karl Marx ja va assenyalar fa temps. Encara que admetem que en totes les societats ha estat important calcular els costos i beneficis dels dissenys tècnics, la forma com a aquesta tasca s'ha dut a terme ha variat, i encara varia, enormement.

A l'antiga Unió Soviètica, per exemple, també es feien càlculs per a veure quines opcions afavorien els interessos econòmics en joc i els gerents de les fàbriques tenien més autonomia de la que es pensa per a prendre decisions a partir d'aquestes. L'element distintiu és que el marc per a fer aquests càlculs era força diferent. Els preus els establia el Comitè Estatal de Preus i no estaven sotmesos a les fluctuacions del mercat com en les economies occidentals. El sistema recompensava els gerents en funció de la *quantitat* de producció a curt termini i en la mesura que satisfessin les directrius dels Plans Quinquennals. Aquesta importància de la quantitat afavoria les innovacions tecnològiques petites però no les que implicaven grans canvis (nous equipaments, per exemple). Desenvolupar un nou producte, per exemple, comportava assumir riscos amb una vaga promesa de recompenses limitades.

D'altra banda, encara que ens restringim a aquelles societats on els preus s'estableixen principalment mitjançant mecanismes de mercat, els càlculs econòmics també són socialment relatius. Els càlculs pressuposen una estructura de costos que, a la vegada, depenen de determinats aspectes de l'organització social. El fet que en un context concret la mà d'obra sigui més barata, per exemple, fa que la cerca d'innovacions tecnològiques que estalviïn mà d'obra no sigui tan important.

La particular conjuntura de les relacions entre capital i treball és un altre element que sovint condiona el càlcul de costos i, per tant, el canvi tecnològic. En un estudi que ha esdevingut clàssic, l'historiador David Noble va analitzar la situació que es va produir en la indústria manufacturera dels Estats Units, al principi de la dècada dels 50, quan dues innovacions paral·leles van competir en l'automatització de les *màquines eina* (màquines, com el *torn*, que s'utilitzen per a donar forma als materials sòlids, és a dir, màquines per a fer màquines): la tecnologia del *control numèric per ordinador* i la de *gravació-reproducció*.

Sense obviar els detalls més tècnics de les dues alternatives, el treball de Noble mostra com la tecnologia de control numèric es va imposar en la indústria nord-americana, gràcies a una conjunció de factors entre els quals cal destacar la cultura pròpia de la professió d'enginyer –que per diversos motius no s'identificava amb l'opció de la gravació-reproducció– i, especialment, la conjuntura específica de les relacions entre capital i treball –en concret, la tendèn-

cia d'empresaris i directius a reduir al mínim el control dels treballadors (i, per tant, dels sindicats) sobre el procés productiu; quelcom que la tecnologia de control numèric permetia de forma més eficient.

6. Trajectòries naturals *versus* institucions socials

Existeixen trajectòries «naturals» en el desenvolupament tecnològic –com la definida per l’anteriorment esmentada Llei de Moore? És cert que, en alguns casos, es produeix consens entre els tecnòlegs sobre la pauta d’evolució futura d’una tecnologia. Aquesta pauta, a més, pot influir indirectament en els seus projectes. Els dissenyadors de superordinadors, per exemple, es van basar durant molts anys en una estimació d’aquest tipus per a crear noves màquines. L’estimació de la Llei de Moore va acabar tenint un pes determinant en l’evolució real dels superordinadors perquè els dissenyadors van intentar, mitjançant diverses estratègies (amb components més ràpids o, si això no era suficient, modificant l’arquitectura per a augmentar el nivell de paral·lelisme), satisfer les prediccions de l’estimació. El resultat és que la conducta dels actors s’encamina, en alguns casos, més cap a la satisfacció d’una expectativa prèvia de creixement, que cap a una optimització en sentit neoclàssic del procés d’innovació.

L’evidència disponible suggereix, doncs, que lleis com la de Moore funcionen més com a *profecies que s’autocompleixen* que com a simples descripcions d’un procés «natural». En certa forma és com si aquest patró regular de desenvolupament tecnològic existís, bàsicament, perquè els tecnòlegs afectats (i altres actors relacionats) estiguessin convençuts de la seva existència o, simplement, la donessin per suposada sense qüestionar-la a fons o sense considerar altres alternatives.

El desenvolupament i difusió del *giroscopi làser* a començaments dels 80 es deu, en part, a un fenomen d’aquest tipus. En un moment donat, les companyies que competien al mercat dels sistemes inercials de navegació van haver de prendre una decisió respecte al tipus de projectes en els quals destinar els fons per a desenvolupament. Encara que no hi havia un acord generalitzat entre els experts, alguns d’ells auguraven una revolució en els sistemes de navegació aèria gràcies a la nova tecnologia basada en el làser. Les empreses del sector havien de decidir si aquesta revolució era probable en el futur i si, en cas afirmatiu, serien capaces de competir mitjançant el desenvolupament de giroscopis mecànics com els que llavors fabricaven. La gran majoria d’aquestes empreses va optar per no arriscar-se a quedar obsoletes i van destinar els seus esforços d’R+D a diferents projectes de giroscopis làser.

Aquesta decisió va fer que, en poc temps, la revolució intuïda fos una realitat: al final dels 80 els giroscopis làser al mercat eren considerats superiors als seus predecessors mecànics. Els defensors dels sistemes mecànics van argumentar

que si els fons per a desenvolupament s'haguessin repartit equitativament entre els dos sistemes rivals, ells haurien millorat les prestacions dels giroscopis làser. Una cosa que, òbviament, mai no podrà comprovar-se.

Aquests tipus d'episodis ens porten a concloure que no hi ha res «natural» en les trajectòries tecnològiques. Aquestes poden explicar-se millor com a **institucions**, en el sentit sociològic del terme: estructures que es mantenen al llarg del temps, però no per una lògica interna que les dota d'una seqüència necessària d'evolució, sinó pels interessos que acompanyen el seu desenvolupament i per la creença que continuaran existint en el futur. Això, és clar, no significa que qualsevol trajectòria tecnològica es pugui mantenir únicament per la creença en la seva regularitat –la història de la tecnologia és plena de prediccions i expectatives que han estat flagrantment errònies–, però desacredita, en darrer terme, la tesi de la tecnologia autònoma, en fer de les expectatives d'èxit un component fonamental de la futura difusió d'una innovació.

7. Rendiments creixents per adopció i *path dependence*

El cas del giroscopi planteja un altre aspecte problemàtic de la tesi de l'autonomia de la tecnologia. Alguns historiadors econòmics de la tecnologia han insistit que, sovint, les innovacions tecnològiques mostren *rendiments creixents per adopció*, és a dir, com més es difon el seu ús, més experiència acumulen, més s'inverteix en el seu desenvolupament i, conseqüentment, esdevenen millors o més útils. En paraules de l'economista Brian Arthur:

«Quan dues o més tecnologies de rendiment creixent competeixen per aconseguir adeptes, esdeveniments casuals insignificants poden donar a una de les dues un avantatge inicial d'adopció. Llavors s'acumula més experiència sobre aquesta tecnologia i això la millora, fa que l'adoptin més usuaris i que es desenvolupi encara més. Per tant, la tecnologia que per atzar té un bon inici pot apropiarse del mercat de possibles usuaris i fer que les altres tecnologies acabin desapareixent gradualment».

W. B. Arthur (1984). «Competing technologies and economic prediction». *Options* (abril, pàg. 10).

Encara que aquest fenomen s'aguditzava especialment en les tecnologies en xarxa (com el telèfon o internet) en les quals el valor i la utilitat de la tecnologia per a un usuari individual depenen, essencialment, del nombre global d'usuaris, també és present en la resta de tecnologies.

En un estudi ben conegut, l'economista Paul David ha investigat la història del teclat QWERTY, que apareix ara als nostres ordinadors i dispositius mòbils però que té el seu origen en les antigues màquines d'escriure. El que és més interessant d'aquesta distribució tan familiar de les lletres és que, malgrat els diferents dissenys alternatius proposats al llarg dels últims 120 anys i de la seva superioritat provada, «l'ineficient» teclat QWERTY ha resultat inamovible i no sembla pas que en el futur canviï a mitjà termini.

Exemple

Un teclat patentat el 1932, per exemple, el Dvorak Simplified Keyboard, permet una velocitat d'escriptura superior en un 20% o 40%, i diversos experiments han provat que el cost de reciclar un mecanògraf en aquest nou teclat s'amortitzaria durant els primers 10 dies del seu treball amb el nou teclat.

La situació resulta encara més intrigant si sabem que QWERTY va ser ideat per a impedir que els braços de les lletres consecutives no xoquessin entre si i que s'encallés el mecanisme: una raó que va deixar de tenir sentit quan van millorar els dispositius mecànics de les màquines i que resulta directament irrellevant en les màquines elèctriques, en les electròniques o en els teclats d'ordinador.

De fet, ja durant la primera dècada d'existència de QWERTY, al final del segle passat, van sorgir diversos dissenys molt més eficients: més veloços i menys propensos a errors. La raó per la qual QWERTY es va imposar de forma tan sòlida és una combinació de dos factors: d'una banda, un lleuger avantatge nascut de la primerenca associació amb un potent fabricant d'armes, Remington, disposat a manufacturar màquines d'escriure; de l'altra, el «rendiment creixent de la seva adopció» causat per l'establiment d'un complex sistema que van anar reforçant els empresaris que van comprar les màquines, els empleats que en van aprendre l'ús, les acadèmies que van començar a ensenyar-lo, l'acumulació d'experiència en l'ús (amb la millora de les tècniques de mecanografia que va culminar amb el sistema de 8 dits), etc.

En resum, el sistema sociotècnic nascut amb la difusió de QWERTY va amplificar molt el seu lleuger avantatge inicial i ha fet inviable, fins avui, qualsevol alternativa.

Els processos de *learning by doing* («aprendre fent») –concepte introduït per l'economista Kenneth Arrow en el context de la innovació tecnològica– i de *learning by using* («aprendre amb l'ús») impliquen que el procés d'adopció d'una tecnologia tendeix a millorar el seu rendiment. Això confereix a la història dels artefactes, especialment a la seva història inicial, una importància cabdal. L'adopció d'una tecnologia pot conferir-li ràpidament un avantatge inicial que li atorga una superioritat irreversible sobre les rivals, perquè l'èxit alimenta l'èxit i el fracàs pot conduir a la negligència i a una permanent inferioritat.

És en aquest sentit que la història de qualsevol tecnologia és una història que *depèn de la trajectòria* –per utilitzar el concepte *path dependence* introduït per Paul David. El passat influeix decisivament sobre el futur de la innovació tecnològica i, en aquelles situacions on es plantegen diverses opcions tècniques, la que acaba imposant-se no ho és únicament per les seves característiques intrínseques sinó també per la seva adopció primerenca. El concepte de *dependència de la trajectòria* implica que les contingències locals, encara que siguin temporalment molt limitades, poden produir efectes molt perdurables.

Aquest exemple ens serveix també per a reconsiderar la noció d'*èxit tecnològic*. Contràriament a la percepció habitual, casos com el de QWERTY ens mostren com certes tecnologies *es converteixen en les «millors» perquè triomfen*, en lloc de triomfar perquè són les millors! En altres paraules: sembla que no sempre la difusió d'una tecnologia és conseqüència de la seva eficiència o del seu «bon funcionament»; una tecnologia pot aconseguir un nivell d'eficiència superior al dels seus rivals, precisament, perquè, per motius diversos, ha aconseguit una difusió inicial més ràpida.

Això té una conseqüència crucial per a l'anàlisi de la innovació tecnològica: a l'hora d'explicar l'èxit o la difusió d'una tecnologia no hem de recórrer, sense més ni més, a la seva *superioritat intrínseca*. Així mateix, a l'hora d'explicar el fracàs d'una tecnologia no convé situar la causa, per principi, en el seu fun-

cionament deficient o en la seva inferioritat respecte a altres alternatives. Si haguéssim operat d'aquesta forma en els casos del giroscopi làser i del teclat QWERTY, hauríem donat una imatge molt distorsionada d'ambdós episodis.

En termes més tècnics, podem dir, d'una banda, que el «funcionament correcte» o la «superioritat» d'una tecnologia han de ser considerades, per l'analista de la innovació tecnològica, com a part del que cal explicar (*explanandum*) i no com l'explicació (*explanans*) última del seu èxit. Això significa que hem de mantenir un cert *principi de simetria* a l'hora d'explicar l'èxit o el fracàs de les innovacions tecnològiques:

«Un enfocament asimètric podria explicar, per exemple, l'èxit comercial d'un artefacte que ara considerem que funciona bé, fent referència al seu «bon funcionament», mentre que el fracàs d'aquest mateix artefacte en un altre context podria explicar-se assenyalant diferents factors socials. En un enfocament simètric, el funcionament “correcte” i “l'incorrecte” no serien causes de l'èxit o fracàs d'una màquina».

W. E. Bijker (1995). *On Bicycles, bakelite, and Bulbs. Elements for a Theory of Socio-Technical Change*. Cambridge: MIT Press (pàg. 15).

Això no significa, òbviament, que el «funcionament correcte» sigui una propietat subjectiva que només depengui dels ulls de l'observador, sinó que en lloc de considerar-ho una característica intrínseca de l'artefacte, donada des del principi, ha d'interpretar-se com una conseqüència o assoliment d'un procés social temporal en el qual incideixen diferents factors –entre ells, el fet que una tecnologia pot «funcionar bé» per alguns grups socials, però no per altres.

8. Model lineal *versus* model multidireccional del desenvolupament tecnològic

El concepte de *dependència de la trajectòria* posa en relleu la importància del desenvolupament històric a l'hora d'entendre els processos d'innovació tecnològica. Però hi ha diverses formes de comprendre o interpretar la història de la tecnologia. La manera habitual de fer-ho està fortament arrelada a la tesi de l'autonomia de la tecnologia que hem comentat i consisteix a rastrejar l'evolució d'un artefacte des del present cap al passat per a identificar-ne els *precedents*. El resultat és una narració cronològica en la qual les diferents variacions o versions d'un artefacte es despleguen ordenadament, a través d'una *seqüència lineal*, en un procés evolutiu continu, com hem vist en el cas de les històries convencionals de la bicicleta.

L'efecte que causen aquestes seqüències és conegut: sembla com si el passat desemboqués naturalment en el present; com si totes les decisions passades haguessin estat preses amb l'únic objectiu d'assolir la situació (l'artefacte) actual. En conseqüència, cada nova versió de l'artefacte o tecnologia en qüestió, no és més que una aproximació més sofisticada i ajustada a la seva versió actual.

Hi ha nombrosos exemples d'aquesta mena de seqüències històriques. Algunes històries de la informàtica, per exemple, situen en una mateixa seqüència l'àbac xinès, les calculadores mecàniques del segle XVII, les tabuladores del segle XIX, les calculadores analògiques i, finalment, els ordinadors digitals del segle XX.

Es tracta, tanmateix, d'una forma *teleològica* d'entendre el canvi tecnològic que actualment és rebutjada per la majoria d'investigadors. En primer lloc, i com ja hem vist en el cas de la bicicleta, tendeix a passar per alt aquells desenvolupaments o variants d'una tecnologia que no encaixen en la sèrie i, per tant, privilegia la narració feta des del punt de vista dels «guanyadors», és a dir, des del present: en contra del que hem observat, l'èxit d'una tecnologia es presenta llavors com una conseqüència òbvia i «natural» de la seva superioritat intrínseca sobre les alternatives descartades. En segon lloc, suggereix un vincle natural, necessari o inevitable entre les diferents baules de la cadena.

La visió teleològica es basa, per tant, en un **model lineal** del desenvolupament tecnològic. Aquest model, utilitzat no només en l'àmbit de l'estudi de la tecnologia, sinó com a base en el disseny de polítiques científiques, planteja una seqüència d'etapes semblant a aquesta: *ciència bàsica, ciència aplicada, desenvolupament tecnològic, desenvolupament del producte, difusió i ús*.

La imatge del desenvolupament tecnològic que es desprèn de l'aproximació constructivista que hem exposat és molt diferent. En lloc d'un desenvolupament lineal o d'una estructura arborescent de menys a més complexitat i diversitat, l'evolució de la tecnologia s'assembla més a una xarxa de camins entrecreuats, de diferents amplades, alguns dels quals queden de sobte tallats per sempre, mentre que altres es reprenen al cap d'un temps o es fusionen entre si. Es tracta, bàsicament, d'un **model multidireccional** que, en cap cas, no pot ser representat linealment: no hi ha una línia directa que porti de les eines de sílex neolítiques a les estacions orbitals actuals –per fer referència a la famosa el·lipse utilitzada per Stanley Kubrick a la seva pel·lícula *2001: una odissea de l'espai* (1968).

El model multidireccional es diferencia del lineal en altres aspectes importants. No descansa, per exemple, en una concepció simplista de la tecnologia com a *ciència aplicada*. En primer lloc, la distinció entre *ciència pura* o bàsica i *ciència aplicada*, encara força estesa, resulta difícil de sostenir empíricament en examinar àmbits científics concrets. A la pràctica científica són habituals les controvèrsies sobre això, i encara que de vegades hi ha un cert consens en un àmbit concret, resulta molt problemàtic generalitzar-lo a altres disciplines o, fins i tot, subdisciplines.

En segon lloc, la relació entre tecnologia i ciència i, en particular, la concepció de la tecnologia com *ciència aplicada* és més problemàtica del que sembla. Els historiadors actuals de la tecnologia diuen sovint que «la ciència deu més a la màquina de vapor que la màquina de vapor a la ciència». Existeixen moltes tradicions tecnològiques en les quals el coneixement científic ha tingut un paper molt petit o nul i, en canvi, han estat moltes les teories científiques que han intentat explicar, precisament, fenòmens produïts tecnològicament. Sense anar més lluny, la *termodinàmica* (la branca de la física que estudia els fenòmens macroscòpics relacionats amb la calor i la temperatura) va ser originàriament, en gran mesura, un intent de teoritzar –d'explicar científicament– els processos que tenien lloc a les màquines de vapor.

La història de l'aviació, d'altra banda, mostra com els enginyers aeronàutics consulten determinats resultats científics quan en tenen necessitat, però en cap cas la seva feina està impulsada per la ciència ni es pot entendre com una simple «aplicació» de principis científics. Si bé és cert que des de mitjan segle XIX la connexió entre ciència i tecnologia s'ha anat intensificant, és erroni veure aquest vincle com una dependència unilateral de la tecnologia respecte a la ciència. Gran part de les disciplines científiques actuals, des de la genòmica fins a la física de partícules, serien impensables sense la utilització intensiva d'ordinadors i grans dispositius tecnològics com els acceleradors de partícules. I quan la tecnologia es basa en la ciència no es tracta, com el model lineal suposa, d'una simple deducció de les «implicacions pràctiques» del coneixement científic. La tecnologia, com l'etimologia del terme indica, es compon d'artefactes i de coneixement (tècnic); i aquest coneixement tècnic o de l'enginyeria no es pot reduir a una mera aplicació de la ciència. Els enginyers

utilitzen la ciència per a resoldre problemes i per a aconseguir els objectius que persegueixen. Però aquests problemes i objectius són tan importants o més per a entendre el que fan, que la ciència que utilitzen.

Malgrat tot això, és innegable que existeix una tendència contemporània – amb arrels molt antigues– a magnificar el fonament científic de les innovacions tecnològiques i, paral·lelament, a minimitzar el component tecnològic de l'activitat científica.

Altres fases del model lineal són també problemàtiques. En un estudi sobre el desenvolupament de la làmpada fluorescent d'alta intensitat, per exemple, Wiebe Bijker mostra com el disseny d'aquesta innovació tecnològica va tenir lloc, principalment, durant el que els economistes considerarien la fase de *diffusió*. La làmpada fluorescent va ser creada en un esforç conjunt dels executius de les empreses manufactureres de bombetes elèctriques i les petites centrals elèctriques, i no com un producte dissenyat per un grup d'enginyers treballant en un departament d'R+D.

De fet, la visió constructivista no només s'aplica a les primeres fases en la vida d'un artefacte (disseny, desenvolupament, fabricació), sinó que els processos de construcció social es produeixen també durant el seu ús. Des d'un punt de vista constructivista, la figura de l'usuari no s'interpreta com un element merament *passiu* que rep, consumeix o adquireix tecnologia, sinó com un agent actiu que domestica i adapta la tecnologia als seus interessos o pràctiques, i que sovint acaba utilitzant-la de formes insospitades i imprevistes pels seus dissenyadors o promotors.

Un altre aspecte important del model multidireccional és que, en lloc d'emfatitzar la *necessitat inherent* al desenvolupament tecnològic –el fet que cada pas sigui el resultat necessari dels anteriors–, destaca, al contrari, el caràcter *contingent* del canvi tecnològic. Les innovacions tecnològiques es produeixen per l'esforç actiu invertit per una varietat d'agents i no com a resultat necessari d'una lògica pròpia interna o d'un procés autònom –sense que això impliqui, òbviament, que les estratègies dels agents hagin de portar sempre a l'objectiu desitjat. Dit d'una altra manera: en l'àmbit de la tecnologia gairebé mai no hi ha una forma única de procedir; els artefactes tècnics que utilitzem podrien haver estat dissenyats d'una altra forma.

En general, pot afirmar-se que expressions com «la millor tecnologia» o «la tecnologia més eficient» no tenen sentit al marge del context d'ús i, per tant, dels diferents tipus d'usuaris. Sempre cal preguntar per a qui o segons quins objectius o interessos. En paraules de Thomas Hughes:

«De la mateixa forma que no existeix la millor forma de pintar la Verge, tampoc no hi ha la millor forma de construir una dinamo».

T. P. Hughes (1987). «The Evolution of Large Technological Systems». A: Bijker, W.; Hughes, T. P.; Pinch, T. (editors). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge: MIT Press (pàg. 51-82; 68).

9. Economia evolutiva *versus* economia neoclàssica

Dintre de l'economia la principal alternativa a l'enfocament neoclàssic és l'anomenada economia *evolutiva*. Les teories evolutives es caracteritzen per utilitzar analogies amb els processos evolutius biològics. Les nocions de *selecció natural* i de *mutacions genètiques* (aleatòries) s'utilitzen en el context de la dinàmica de la innovació industrial o el creixement econòmic.

Simplificant una mica podem dir que la visió neoclàssica assumeix que les empreses tenen en compte les diferents opcions tecnològiques, que coneixen de forma perfecta, i a les quals poden accedir sense cost. El desenvolupament tecnològic es pren com un factor *exogen* (extern) respecte a l'activitat econòmica, com si les innovacions tècniques fossin quelcom que les empreses tinguin sempre a mà en una prestatgeria o, en tot cas, com una forma d'optimització de la seva activitat d'R+D mitjançant la tria d'opcions amb resultats predictibles. Els processos d'aprenentatge sobre l'ús una tecnologia es minimitzen des d'aquesta aproximació, com si les empreses adquirissin de forma instantània i sense costos importants el coneixement necessari per a fer-la servir de forma eficient.

Les teories econòmiques evolutives –originàriament formulades als anys 80 per economistes com Richard Nelson, Sidney Winter, Christopher Freeman, Luc Soete, Carlota Perez o Giovanni Dosi– ofereixen una visió alternativa que, en general, és més propera a l'aproximació constructivista que hem exposat anteriorment.

Encara que les innovacions tecnològiques poden proporcionar beneficis a les empreses que les desenvolupen, l'activitat d'R+D és sempre *costosa* –en termes de recursos i de temps– i els seus resultats –la seva acceptació econòmica i social– són sempre incerts. De fet, nombrosos estudis han mostrat que aquesta *incertesa* bàsica està present en totes les etapes de l'evolució d'una tecnologia, des de les decisions inicials sobre el seu disseny, fins al seu èxit o fracàs en el mercat, passant pels seus efectes mediambientals o per altres conseqüències col·laterals.

Aquesta incertesa fa que el canvi tecnològic resulti molt difícil de predir. La tecnologia sempre està subjecte a canvi i contínuament sorgeixen variants (noves «espècies» seguint la metàfora biològica) fruit de noves modificacions, millores o adaptacions a nous usos o contextos. Els economistes evolutius, a més, distingeixen entre innovacions tecnològiques *radicals* i *incrementals*. Les innovacions radicals obren noves possibilitats de canvis a llarg termini que poden afectar les tendències del creixement econòmic. Es tracta d'innovacions

que poden desequilibrar les estructures econòmiques existents. Els ordinadors electrònics acostumen a considerar-se una innovació radical i, en un context molt diferent, també ho és Viquipèdia en l'àmbit de les enciclopèdies.

Les innovacions incrementals, per la seva part, es corresponen amb petites millores de productes o tècniques que no tenen efectes tan importants. Aquest tipus d'innovacions és el més habitual, de fet. La introducció de la direcció assistida en els automòbils pot considerar-se un exemple d'innovació incremental.

Una segona distinció força important en els models evolutius, és la que s'estableix entre *innovació* i *imitació*. Des de la perspectiva evolutiva les empreses que desenvolupen una innovació tecnològica no es poden apropiat completament d'ella. Amb el temps, el coneixement tecnològic sempre acaba desbordant-se a altres empreses i països. Mentre que la innovació tecnològica, en sentit estricte, pot conduir a la divergència entre empreses (o nacions), la imitació tendeix a llimar les diferències i afavoreix la convergència.

Finalment, l'enfocament evolutiu ha descobert que les empreses poden tenir altres motivacions que la maximització de beneficis o la minimització dels costos per tal d'encetar activitats d'R+D. En concret, una empresa pot desenvolupar activitats d'R+D per a acostar-se als líders tecnològics del seu sector. Altres poden voler ser les primeres a desenvolupar un producte o procés nou per estar en situació de monopoli i recollir les rendes subseqüents. Altres volen simplement mantenir-se al dia en el desenvolupament tecnològic per tal d'explotar noves oportunitats quan aquestes apareguin. I, finalment, les activitats d'R+D s'han de crear, promocionar i esperar i, per això, requereixen normalment de suport per part de l'administració pública.

10. Ideologia de la innovació

La *innovació* s'ha convertit en l'eix central d'una de les ideologies més esteses de la nostra època. L'ús d'aquest concepte va començar a estendre's després de la II Guerra Mundial i actualment és un dels termes més utilitzats en tota mena de discursos polítics, empresarials o acadèmics, incloent-hi, especialment, els econòmics. Tot i que sovint aquests discursos no ofereixen definicions ni caracteritzacions clares del que entenen per innovació –un estudi recent sobre literatura especialitzada trobava més de 40 definicions diferents–, gairebé tothom li atorga un valor enormement positiu. La innovació és *indiscutiblement* quelcom desitjable, quelcom a encoratjar, promoure i premiar. És, a més, políticament *neutre*: la majoria de partits polítics, siguin d'esquerres o de dretes, siguin d'orientació neoliberal o socialdemòcrata inclouen en els seus programes polítiques per a afavorir la innovació i sovint en fan ostentació. Moltes mesures polítiques es justifiquen, sovint, en nom de la innovació. Fins i tot, es diu, cal transformar moltes de les nostres institucions –en especial, l'escola i la universitat– en nom d'ella. Els discursos crítics amb la innovació són pràcticament inexistents i quan algú formula objeccions és immediatament titllat de retrògrad o reaccionari. La innovació es considera, gairebé, un *imperatiu* per al progrés social.

La ideologia de la innovació assumeix, bàsicament, que el canvi tecnològic és el principal motor del creixement econòmic i, més en general, del benestar social i la qualitat de vida de les persones. En aquest sentit, es tracta d'una ideologia fortament impregnada del *determinisme tecnològic* que hem analitzat. No es limita a considerar la innovació tecnològica com un factor important en el creixement econòmic –quelcom indiscutible–, sinó que el converteix en l'element *més important* i, per tant, en l'eix fonamental per tal de reestructurar la societat actual.

En part, aquesta ideologia es basa en la distinció entre innovacions radicals i incrementals i en la idea que són principalment les de tipus radical les que realment constitueixen la font de creixement econòmic. El professor d'administració d'empreses Clayton Christensen, per exemple, ha publicat diversos treballs on intenta demostrar aquesta supremacia de les innovacions radicals. Aquest autor utilitza, però, el terme d'innovacions *disruptives* donat que, segons la seva visió, es tracta d'innovacions que enfonsen mercats o indústries existents fins al punt de fer-los desaparèixer.

Són molts els economistes que ha qüestionat aquesta tesi. Autors com Nathan Rosenberg o David Mowery, entre d'altres, especialistes reconeguts en la història econòmica de la tecnologia, sostenen en canvi que són les *innovacions incrementals* les que han estat generadores preeminentes de creixement econòmic al llarg de la història. Estudis recents han mostrat que dels 77 casos històrics

que Christensen va identificar com a exemples d'innovacions disruptives, només 9 satisfien els criteris de la seva pròpia teoria. Tot sembla indicar que les innovacions radicals o disruptives no són ni tan freqüents ni tan importants com acostuma a suposar-se.

La ideologia de la innovació es basa, igualment, en una suposada preeminència de la *novetat* respecte a l'ús, en l'àmbit de la tecnologia. Actualment, per exemple, hi ha molts més estudis sobre la innovació tecnològica, que sobre l'ús de les tecnologies i sobre els seus complexos processos d'adopció social. En paraules de Nathan Rosenberg:

«Durant diverses dècades, molts historiadors, fins i tot historiadors econòmics, s'han centrat en un únic aspecte del progrés tècnic: "Qui va ser el primer a fer-ho?". Aquestes qüestions són importants en la història de la invenció. Amb prou feines s'ha prestat atenció a la velocitat amb la qual les noves tècniques han estat adoptades i incorporades al procés productiu. Veritablement, és com si la difusió no existís».

N. Rosenberg (1993). *Dentro de la caja negra: tecnología y economía*. Barcelona: Hogar del Libro, pàg. 19.

Una visió similar l'expressen els economistes Paul Stoneman i Paul David que insisteixen que,

«Les millores en productivitat i en qualitat, i per tant en el benestar econòmic i el rendiment de les empreses i indústries, no responen a la taxa de desenvolupament de noves tecnologies, sinó a la velocitat amb què les seves aplicacions s'estenen en les operacions comercials».

P. L. Stoneman i P. A. David (1986). «Adoption subsidies vs. Information provision as instruments of Technology policy». *The Economic Journal*, 96, Supplement (pàg. 142-150).

Però en l'àmbit de la tecnologia és molt diferent posar l'atenció en la innovació que en l'ús dels artefactes. I cal no oblidar que només una petita part de les innovacions tecnològiques arriben a ser utilitzades a gran escala. La majoria d'innovacions, simplement, fracassen perquè no resulten socialment acceptades.

A banda d'això, existeix, en primer lloc, una marcada diferència en termes cronològics entre innovació i ús. Ja hem esmentat abans el cas de la màquina de vapor i l'anomenada Primera Revolució Industrial. Tot i que la seva invenció data de mitjan segle XVIII el seu ús i difusió va ser molt més important el 1900 que el 1800 –tant en termes relatius com absoluts. De fet, el consum de carbó a tot el món va augmentar de forma sostinguda fins al final dels anys 80 (i a Anglaterra el màxim consum es va donar als anys 50). Com assenyala l'historiador de la tecnologia David Edgerton, quelcom semblant passa amb la Segona Revolució Industrial. Tot i que acostuma a situar-se al final del segle XIX i al principi del segle XX, el màxim grau de desenvolupament de les indústries que s'associen amb ella no es va produir fins després de la segona Guerra Mundial.

Existeixen, de fet, nombrosos exemples d'indústries «antigues» que creixen més que les «noves». Tot i que la producció d'automòbils continua creixent des del final dels anys 60, des de llavors s'han fabricat en el món més bicicletes que automòbils. En general es pot afirmar que l'impacte de les innovacions tècniques sobre el creixement econòmic es produeix sovint molt més tard de la seva introducció. Per posar-ne un altre exemple, l'impacte més gran de l'electrificació en la productivitat industrial als EUA va tenir lloc en la dècada del 1920 i no en la del 1880.

A banda d'aquesta diferència cronològica entre la innovació i l'ús, existeix també una clara distinció espacial o geogràfica. Normalment l'activitat innovadora està molt més concentrada que la producció –considerant països, regions o empreses. Tot i que els primers usos dels electrodomèstics es van produir de forma gairebé simultània als EUA i a Europa, Anglaterra va arribar els anys 50 al nivell de difusió que els EUA havien assolit els anys 20. Aquestes diferències geogràfiques van a més associades a diferències socials. Com s'ha dit més d'un cop, en els estudis de la innovació no apareixen normalment ni dones, ni negres, ni pobres; mentre que si parem atenció a l'ús de la tecnologia, és molt probable que els usuaris siguin dones, homes no blancs o pobres.

La ideologia de la innovació va sovint associada a algunes formes de *nacionalisme*. La glorificació patriòtica dels innovadors o inventors condueix sovint a sobrevalorar les figures nacionals i a infravalorar les foranes. Les històries nacionals i els museus de la ciència i la tecnologia de diferents països competeixen sovint en atribuir la paternitat de moltes innovacions als seus compatriotes. Moltes anàlisis sobre la tecnologia es basen en estudis nacionals o nacionalistes on els Estats o països esdevenen els agents i els espais geogràfics primordials. El que s'anomenen les grans revolucions industrials a escala mundial, s'han caracteritzat per innovacions lligades al Regne Unit, els EUA, Alemanya i el Japó –per aquest ordre. L'expressió «sistema nacional d'innovació», per exemple, ha fet fortuna en l'estudi de la innovació tecnològica.

Aquesta perspectiva tecnonacionalista suposa que els països on es produeix una innovació són també aquells on el seu ús assoleix més difusió. Però existeixen molts exemples del contrari. L'avió, per exemple, que va ser una innovació nord-americana, es va desenvolupar molt més a Europa abans del 1914. Per a la immensa majoria de països, de fet, l'estranger és la principal font de noves tecnologies.

Una altra vessant del tecnonacionalisme lligat a la ideologia de la innovació assumeix que la innovació nacional és el determinant fonamental del creixent econòmic dels països. La realitat és que la innovació nacional és només una font i, en general, petita, de creixement per a la majoria de països. Si no fos així, s'hauria produït en el darrer segle i mig una divergència espectacular entre països i no la convergència que s'observa, com a mínim entre els països desenvolupats.

La ideologia de la innovació, a més, focalitza la seva atenció en els artefactes *d'alta tecnologia* per sobre de la resta. L'historiador David Edgerton comença la seva obra *The Shock of the Old* preguntant-se què ha tingut conseqüències més importants en la història de la humanitat: ¿l'avió o el preservatiu? És obvi que la majoria d'històries de la tècnica del segle XX esmenten l'avió i no el preservatiu. Una exposició sobre les tecnologies més significatives del segle XX destacarà un nombre reduït d'innovacions: l'avió, l'electricitat i l'automòbil per a la primera meitat, i l'energia nuclear, els ordinadors electrònics, internet i els coets espacials, per exemple, per a la segona –totes elles innovacions d'alta tecnologia. Però, tot i que no existeix una forma unívoca de copsar la rellevància social d'una tecnologia, seria possible argumentar que els efectes que el preservatiu ha tingut sobre la vida d'un nombre enorme de persones i sobre la dinàmica de les poblacions humanes, han estat més importants que els de l'aviació.

La ideologia de la innovació, finalment, és també pròxima a una altra tendència contemporània en referència a la tecnologia: *l'imperatiu tecnològic* (en anglès, *technological fix*). L'imperatiu tecnològic consisteix a pensar que la solució a qualsevol problema social s'ha de trobar en la tecnologia. Fins i tot, quan el problema en qüestió sigui fruit de les conseqüències negatives d'una innovació tecnològica anterior, es pensa que la seva solució ha de venir de futures innovacions tecnològiques. És sabut, per exemple, que el canvi climàtic actual ha estat causat en bona part per les emissions de CO₂ artificial provinents d'aquelles tecnologies que consumeixen combustibles fòssils. Des de l'imperatiu tecnològic, la solució no ha de ser la reducció dràstica d'aquestes emissions, sinó, per exemple, el disseny i construcció de miralls gegantins que, orbitant la Terra, puguin reflectir part de la llum que ens arriba del sol i minorar així l'efecte hivernacle –existeix actualment, de fet, tota una línia de projectes de recerca en aquesta línia sota la denominació de *Gestió de la Radiació Solar* (Solar Radiation Management).

L'imperatiu tecnològic, també anomenat de vegades *solucionisme tecnològic*, viu actualment una renovada eferescència al voltant d'internet. Evgeny Morozov és un dels crítics més destacats del solucionisme tecnològic al voltant del que ell denomina Internet-centrisme: la tendència a reduir la complexitat de tots els problemes socials, o bé a problemes clarament definits i acotats que es puguin escometre en termes computacionals, o bé a processos transparents i autoevidents que puguin ser resolts amb algorismes. Morozov és particularment escèptic respecte els efectes democratitzadors d'internet i de l'anomenada democràcia electrònica.

Resum

La visió convencional de la tecnologia –i en especial de les relacions entre tecnologia i societat– està marcada per la perspectiva del *determinisme tecnològic*. El determinisme tecnològic postula que el canvi tecnològic és el motor principal dels canvis socials al llarg de la història de la humanitat i, paral·lelament, que la tecnologia es desenvolupa de forma *autònoma*, seguint una certa lògica pròpia, independent del medi social. Es tracta d'una visió fortament arrelada al nostre imaginari cultural i que també està present en bona part del pensament econòmic contemporani.

En les darreres dècades, però, la visió determinista ha estat fortament qüestionada des de diverses disciplines i ha guanyat credibilitat la idea que la tecnologia, lluny de desenvolupar-se de forma autònoma, no només pot tenir impactes socials importants, sinó que, a la vegada, rep la influència decisiva de diversos factors socials: econòmics, polítics o culturals, entre altres tipus. És a dir, que diferents agents i conjuntures socials condicionen el desenvolupament tecnològic i, en realitat, el disseny mateix dels artefactes tècnics. Hem vist com l'anomenada aproximació *constructivista* ofereix un marc teòric per a entendre i analitzar aquesta configuració social de la tecnologia.

La visió constructivista emfatitza el caràcter *heterogeni* de la tecnologia i, en particular, centra la seva atenció en els *sistemes* tecnològics més que en els artefactes individuals. La tasca dels enginyers exitosos ha estat descrita, en aquest sentit, com la de *constructors de sistemes*. L'heterogeneïtat d'aquesta activitat inclou també la consideració dels aspectes econòmics, que poden acabar tenint un paper determinant en les decisions tècniques i en el disseny de la tecnologia.

No existeix, però, una única forma d'entendre el paper de l'economia en el desenvolupament tecnològic. La visió convencional entre els economistes és l'anomenada *neoclàssica*, que té molts punts en comú amb l'aproximació determinista. Però existeixen també visions alternatives, en l'àmbit de l'economia: fonamentalment els anomenats *models evolutius*.

Aquests models evolutius, que es basen en l'estudi de processos o fenòmens com la *path dependence*, el *rendiment creixent per adopció*, el *learning-by-doing* o el *learning-by-using* resulten molt més propers a l'aproximació constructivista i introdueixen una incertesa essencial en la innovació tecnològica. Són també crítics amb el *model lineal* del desenvolupament tecnològic.

Per acabar, hem analitzat l'anomenada *ideologia de la innovació* i els seus supòsits bàsics. La focalització excessiva en la innovació passa per alt els processos de *difusió i ús*, que en molts casos, són més determinants i ens ofereixen

cronologies i distribucions geogràfiques molts diferents. Tendeix a exagerar el paper dels països com a unitat primordial en la història de la tecnologia i el de la innovació en el creixement econòmic.

Bibliografia

- Aibar, E.** (1996). «La vida social de las máquinas: orígenes, desarrollo y perspectivas actuales en la sociología de la tecnología». *REIS* (núm. 76, pàg. 141-170).
- Arrow, K. J.** (1971). «The economic implications of learning by doing». A: *Readings in the Theory of Growth* (pàg. 131-149). Palgrave Macmillan UK.
- Arthur, W. B.** (1984). «Competing technologies and economic prediction». *Options* (abril, pàg. 10).
- Basalla, G.** (1988). *La evolución de la tecnología*. Barcelona: Crítica.
- Bijker, W. E.** (1995). *On Bicycles, bakelite, and Bulbs. Elements for a Theory of Socio-Technical Change*. Cambridge: MIT Press.
- Bijker, W. E.; Law, J. (ed.)** (1992). *Shaping Technology/Building Society*. Cambridge: MIT Press.
- Bijker, W. E.; Hughes, T. P.; Pinch, T. (editors)** (1987). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge: MIT Press.
- David, P.** (1986). «Clio and the Economics of QWERTY». A: Parker, W. (ed.). *Economic History and the Modern Economist*. Oxford: Basil Blackwell.
- Edgerton, D.** (2011). *Shock of the old: Technology and global history since 1900*. Londres: Profile Books.
- Ellul, J.** (1977). *Le système technicien*. París: Calmann-Lévy.
- Freeman, C.; Soete, L.** (1997). *The economics of industrial innovation*. Londres: Psychology Press.
- Heilbroner, Robert L.** (1997). «¿Son las máquinas el motor de la historia?». A: Smith, M. R.; Marx, L. (editors). *Historia y determinismo tecnológico*. Madrid: Alianza (pàg. 69-82).
- Hughes, T. P.** (1983). *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Hughes, T. P.** (1987). «The Evolution of Large Technological Systems». A: Bijker, W.; Hughes, T. P.; Pinch, T. (editors). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge: MIT Press (pàg. 51-82; 68).
- Latour, B.** (1992). *Ciencia en acción*. Barcelona: Labor.
- Latour, B.** (1996). *Aramis or the Love of Technology*. Cambridge: Harvard U.P.
- MacKenzie, D.; Wajcman, J. (editors)** (1992). *The Social Shaping of Technology*. Buckingham: Open University Press.
- Morozov, E.** (2015). *La locura del solucionismo tecnológico*. Madrid: Katz.
- Noble, D. F.** (1985). «Social choice in machine design: the case of automatically controlled machine tools». A: Mackenzie, D.; Wajcman, J. (editors). *The social Shaping of technology*. Buckingham: Open University Press.
- Pinch, T.; Bijker, W.** (1987). «The Social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other». A: Bijker, W. E.; Hughes, T. P.; Pinch, T. (editors). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology* (pàg. 17-50). Cambridge: MIT Press.
- Rosenberg, N.** (1982). *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge University Press (traducció al castellà: Rosenberg, N. (1993). *Dentro de la caja negra: tecnología y economía*. Barcelona: Hogar del Libro).
- Sismondo, S.** (2010). *An Introduction to Science and Technology Studies*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Smith, M. R.; Marx, L. (ed.)** (1997). *Historia y determinismo tecnológico*. Madrid: Alianza.

Stoneman, P. L.; David, P. A. (1986). «Adoption subsidies vs. Information provision as instruments of Technology policy». *The Economic Journal*, 96, Supplement (pàg. 142-150).

Verspagen, B. (2000). *Economic Growth and Technological Change: An Evolutionary Interpretation*. MERIT Research Memoranda.

White, L. (1984). *Tecnología medieval y cambio social*. Barcelona: Paidós.

Winner, L. (1979). *Tecnología Autónoma. La técnica incontrolada como objeto del pensamiento político*. Barcelona: Gustavo Gili.