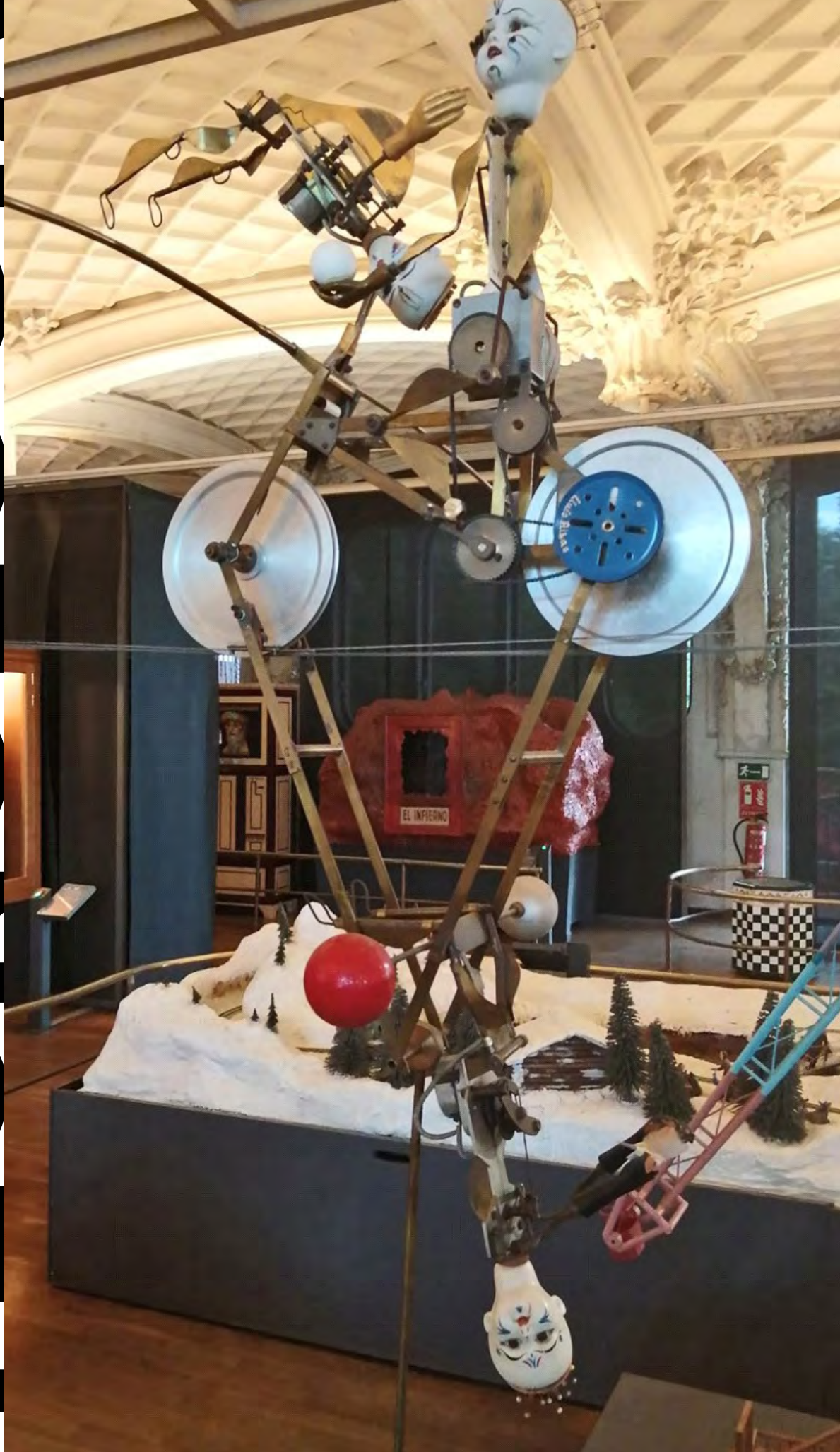


Revista de

número 9

2021

TECNOLOGIA



EDITORIAL

Us presentem un altre número de la **REVISTA DE TECNOLOGIA**, en què es posa de manifest que la tecnologia és polièdrica i que es pot mirar des d'angles diversos.

En el primer article, Carles Riba, Laura Tudurí i Genís Riba parlen de la transició energètica i que cal un canvi de paradigma per frenar el canvi climàtic.

En el segon article, Lluís Ribas presenta els autòmats del Tibidabo des de la perspectiva d'una persona que fa molt de temps que es dedica a dissenyar-ne, construir-ne i mantenir-ne. Veurem, doncs, aquestes meravelles mecàniques per dintre i coneixerem, també, detalls interessants de la seva història i de la de l'espai que els acull.

A continuació, David Fernández, Diego Carrillo i Jorge Blasco comenten el procés de disseny i construcció d'un edifici d'habitatges amb espais comunitaris que parteix d'un projecte de codisseny i cogestió. A més de parlar una mica d'arquitectura, parlen de sostenibilitat, tant pel que fa als materials com als aspectes energètics.

En el quart article, Jose L. Cánovas, Marta Terrado i Albert Soret exposen un sistema de predicció de la qualitat de l'aire, basat en la supercomputació, que posa les dades a disposició del públic mitjançant Internet.

Tot seguit, Antoni Olivé i Miquel Canals analitzen les perspectives laborals dels doctorats en enginyeries i arquitectura a Catalunya, partint de les dades que han extret de les enquestes d'inserció laboral dels doctors que fa l'Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya (AQU).

En el darrer article, Jordi Achón reflexiona sobre un model d'aprenentatge per assaig i error per a l'educació secundària, i l'aplica al cas d'una activitat curricular sobre el motor elèctric.

Tal com ja és costum, també hi trobareu entrevistes; en concret, dues. La primera és a Josep Pascual, que recull dades meteorològiques a la població de l'Estartit des de 1969 i dades marines des de 1973. Aquestes dades, elogiades per la NASA, actualment permeten fer estudis sobre l'evolució del clima. La segona entrevista és a l'artista i *maker* Federico Tobon, que treballa com a educador a Los Angeles. Tanquen el número les ressenyes de dos llibres que parlen de tecnologia però des d'altres vessants.

Esperem que gaudiu de la lectura.

MEMBRES DE LA JUNTA DE LA SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA

Presidenta: Núria Salán

Vicepresident: Jordi Regalés

Secretari: David Adrover

Tresorer: Oriol Boix

Vocals: Aina Barceló, Meritxell Bautista, Isis Bolancer, Ricard Bosch, Mariona A. Ciller, Joaquim Corominas, Carolina Crespo, Xevi Cufí, Jordi El Mariachet, Albert Garcia-Benadí, Antoni Hernández, Beatriz López, Marc Martínez, Purificació Martínez, Anna Mates, Toni Moreno, Àngels Pèlach, Pere Picoy, Esther Pinto, Toni Sánchez Poyato, Albert Pujol, Jordi Orts, Cati Quintana, Judith Tello, Eugeni Vilalta i Sílvia Zurita

Delegat/da de l'IEC: Antoni Olivé i Ramon

Revista de TECNOLOGIA
número 9
2021

Editor

Oriol Boix

Equip editorial

Aina Barceló

Ricard Bosch

Ramon Bragós

Alicia Casals

Antoni Hernández

Beatriz López

Antoni Olivé

Noelia Olmedo

Marta Peña

Jordi Regalés

Núria Salán

Sílvia Zurita

© dels autors

Editat per la Societat Catalana de Tecnologia,
filial de l'Institut d'Estudis Catalans
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Text revisat lingüísticament

per la Unitat d'Edició
del Servei Editorial de l'IEC

Compost per fotocomposició gama, s. l.

ISSN 2013-9861



Els continguts de REVISTA DE TECNOLOGIA estan subjectes —llevat que s'indiqui el contrari en el text, en les fotografies o en altres il·lustracions— a una llicència Reconeixement - No comercial - Sense obres derivades 3.0 Espanya de Creative Commons, el text complet de la qual es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>. Així, doncs, s'autoritza el públic en general a reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada.

Publicació

La REVISTA DE TECNOLOGIA passa a presentar-se en format digital a partir del número 7. Pretén amb això ser més àgil i estar oberta a tothom a partir de la data de la seva publicació a l'hemeroteca de l'Institut.

Articles i anuncis d'activitats

L'equip editorial està obert a rebre contribucions per a la revista, que han de respectar l'estructura actual de la publicació, que es divideix en dues seccions: la que fa referència a temes tècnics i la relacionada amb aspectes o activitats sobre l'educació tecnològica. Així mateix, encoratja els lectors a donar a conèixer, a través de la revista, i considerant-ne la periodicitat, activitats relacionades amb la tecnologia: conferències, congressos, jornades, seminaris, convocatòries de premis, anuncis de publicacions, etc. Les contribucions es poden fer enviant, per correu electrònic, l'article o la informació en format Word a l'adreça revista.sct@correu.iec.cat.

SUMARI



2 Editorial

Articles

- 4 **Transició energètica i canvi de paradigma**
Carles Riba, Laura Tudurí i Genís Riba
- 16 **Els autòmats del Tibidabo: art i ofici per al divertiment**
Lluís Ribas
- 30 **L'edifici de cohabitatge Cirerers, un exercici d'ecologia comunitària**
David Fernández, Diego Carrillo i Jorge Blasco
- 45 **CALIOPE: supercomputació per a millorar la qualitat de l'aire**
Jose L. Cánovas, Marta Terrado i Albert Soret
- 54 **Perspectives laborals dels doctorats en enginyeries i arquitectura a Catalunya**
Antoni Olivé i Miquel Canals
- 62 **Projectes STEAM: aprenent per assaig i error**
Jordi Achón
-

Entrevistes

- 71 **Entrevista a Josep Pascual**
Beatriz López
- 74 **Entrevista a Federico Tobon**
Sílvia Zurita
-

Recursos

- 77 **Publicacions**
- 79 **Normes de publicació**

TRANSICIÓ ENERGÈTICA I CANVI DE PARADIGMA

Carles Riba Romeva,¹ Laura Tudurí Sanchis² i Genís Riba Sanmartí³

1. Professor emèrit de la Universitat Politècnica de Catalunya i president del Col·lectiu per a un nou Model Energètic i Social

2. Tècnica superior del Servei de Suport a la Recerca i la Innovació de la Universitat Politècnica de Catalunya. laura.tuduri@upc.edu

3. Investigador a l'Institut de Sostenibilitat de la Universitat Politècnica de Catalunya

Resum: Immersos en un procés de creixement continu, una gran part de la població desconeix o nega la crisi energètica, o bé creu que es tracta d'un problema estrictament tècnic. Davant del declivi dels combustibles fòssils, que avui dia encara alimenten el 80 % del sistema energètic, i de les greus repercussions climàtiques, de contaminació i de destrucció d'ecosistemes que comporta el seu ús, cal transitar vers fonts energètiques netes i renovables. A diferència dels combustibles fòssils, es tracta de fonts energètiques totalment distribuïdes i, per tant, d'accés transversal a tota la humanitat. Aquest article argumenta que cal un canvi de paradigma sobre l'energia i els recursos naturals per a fer possible una transició energètica que eviti el col·lapse. Aquest canvi ha d'incloure els aspectes clau següents: 1) ha de reconèixer la finitud dels recursos naturals, tot abandonant la perspectiva del creixement continu; 2) ha de centrar l'atenció en les necessitats energètiques concretes i cercar aigües amunt el camí i les fonts renovables més favorables, i 3) ha d'implicar tota la ciutadania en l'obtenció, els usos adequats i la gestió de l'energia i dels recursos.

Paraules clau: transició energètica, energies renovables, canvi de paradigma.

ENERGY TRANSITION AND PARADIGM SHIFT

Abstract: Immersed in a process of continuous growth, a large part of the population is unaware or even denies the energy crisis or believes that it is strictly a technical issue. Faced with the decline of fossil fuels, which still today represent 80% of the energy system, and the serious climatic repercussions, pollution and destruction of ecosystems that their use entails, it is necessary to move towards clean and renewable energy sources. Unlike fossil fuels, renewable energy resources are evenly distributed, and therefore accessible to all humankind. This paper argues that a paradigm shift in energy and natural resources use is necessary to make possible an energy transition that avoids collapse. This shift must consider the following key aspects: 1) Recognition of the finiteness of natural resources, abandoning the perspective of perpetual growth; 2) Focusing of attention on specific energy needs, looking upstream for the most favourable path and renewable sources, and 3) Involvement of all citizens in the procurement, appropriate uses and management of energy and resources.

Keywords: energy transition, renewable energies, paradigm shift.

1. Introducció

La societat global de principi de segle XXI està davant d'un seguit de reptes que, segons com es resolguin, marcaran el destí de les properes generacions. Tenen a veure amb la idea de sostenibilitat i són d'una immensa complexitat, amb vessants sociopolítics, tècnics, ecològics i geoestratègics.

Hi ha un increment de la desigualtat i una concentració de poder sota el control d'una minoria que, a casa nostra, es reflecteixen en una regressió de l'estat del benestar i de les polítiques socials.

D'altra banda, la necessitat de la concepció econòmica actual de mantenir-se en un estat de creixement perpetu fa que comencem a gratar els límits físics de la Terra. L'acció humana ja ha alterat de forma perceptible els equilibris químics de l'atmosfera i els oceans, am-

bients que en altres temps semblaven infinits i impenetrables, o el canvi d'usos del sòl, que transforma biomes verges en terres de cultiu o de pastura, i que s'està quedant sense marge de creixement, fins al punt que ha donat lloc a la creació d'una nova era geològica: l'Antropocè. Les conseqüències d'aquestes alteracions a mig termini són incertes, però, en el dia d'avui, ja se'n comencen a notar els efectes: estius més càlids i hiverns més suaus, grans incendis forestals, desgel, extensió de la temporada d'huracans...

La vida no és aliena a aquests processos i els biomes comencen a canviar degut a les noves circumstàncies. Malauradament, l'evolució no pot seguir el ritme de canvi imposat per la frenètica activitat humana i, per tant, també estem davant d'una època d'extincions massives. L'economia global també mostra signes de topar amb la realitat de la finitud dels recursos naturals, tal

com queda palès en la successió ràpida de crisis de les últimes dècades, que demostra la inestabilitat d'un sistema que no es pot mantenir en el temps.

L'energia ocupa una posició central en tots aquests problemes. La capacitat d'utilitzar energia exògena determina el tipus de civilització, que, en el cas de la civilització occidental, necessita processar una gran quantitat d'energia creixent en el temps per a mantenir-se en funcionament.

L'inici d'aquesta civilització tan àvida d'energia té lloc fa uns dos-cents anys sobre la premissa de l'abundància de combustibles fòssils. Malauradament, això ja no és cert: en els propers anys el subministrament de combustibles fòssils serà incapaç de cobrir la demanda d'energia, fet especialment alarmant si es té en compte que, encara avui, els combustibles fòssils suporten el 80 % del sistema energètic mundial.

No estem, doncs, davant d'una crisi d'energia, sinó de combustibles fòssils. D'una banda, són recursos no renovables que, al ritme de consum actual, avancen ràpidament vers el seu declivi i, de l'altra, la seva combustió comporta l'emissió de gasos i partícules (diòxid de carboni [CO₂], òxids de nitrogen [NO_x], sulfats o sutge), que tenen efectes sobre la salut pública, alteren i enverinen ecosistemes, i són un dels principals agents generadors del canvi climàtic.

Una via per a resoldre aquesta crisi és programar una transició ordenada dels fòssils vers les fonts energètiques renovables lliures de gasos contaminants i de gasos amb efecte d'hivernacle. Això és perfectament plausible, ja que disposem de fonts energètiques suficients d'aquestes característiques, així com d'altres recursos, com ara la racionalització i l'estalvi, per proporcionar una vida digna a tots els habitants de la Terra sense provocar un retrocés de la civilització.

La transició energètica a fonts renovables, que és, doncs, l'eix que vertebrava la transformació global cap a un estat sostenible en el temps, no implica un canvi merament tecnològic, sinó que les diferències fonamentals entre les fonts energètiques fòssils i les renovables afectaran la manera en què les persones i les societats utilitzarem l'energia. L'accés a energia exògena afecta totes les esferes de la vida quotidiana i, per tant, la implementació d'un nou model energètic obre camí vers nous models d'alimentació, d'habitatge, de mobilitat, de comunicació, de governança, de treball, d'oci i, en definitiva, de tot allò que dona continuïtat al futur desenvolupament humà.

Persistir en el vell paradigma condueix al fracàs. Més enllà dels canvis tecnològics necessaris, un dels aspectes més excitants de la transició energètica és el seu potencial transformador en l'esfera social. Per això, cal modificar les percepcions socials sobre l'energia, com a primer pas per a canviar a un nou paradigma adaptat a les característiques i possibilitats dels recursos energètics renovables.

2. L'energia de les civilitzacions

Des del punt de vista de l'energia, la història de les civilitzacions és una successió de revolucions tecnosociològiques,

en què la introducció de cada nova tecnologia energètica ha permès avançar a un estadi de complexitat més gran.

La primera revolució tecnosociològica relacionada amb l'energia és el control del foc (escalfar-se, coure aliments, noves tècniques de caça). Aquest canvi allibera temps, que es pot invertir en lleure o en tasques creatives no directament relacionades amb la supervivència, i, tal com l'art o la tecnologia, permet crear eines més avançades.

La segona gran transició energètica amb un canvi de model social és la revolució neolítica, amb l'establiment de patrons de vida sedentaris basats en l'agricultura i la ramaderia. Aquest canvi porta la capacitat d'emmagatzemar energia en forma d'aliments que es poden conservar, com ara el gra o els animals en estables. Alguns animals també són font d'energia addicional com a animals de tir per al transport o per a treballar al camp.

El model agrari genera excedents: cada persona dedicada a l'agricultura aporta més del que necessita i això permet alliberar temps, no tant del mateix agricultor sinó d'altres membres del grup, i fa aparèixer les primeres especialitzacions no relacionades directament amb la subsistència alimentària (confecció de roba i calçat), amb una elit no productiva —noblesa i sacerdots— a l'entorn de la qual es concentra l'excedent de població en un procés d'urbanització incipient.

A mesura que s'obté més energia exògena, la població creix, es colonitzen zones fins aleshores inhòspites, s'aprofundeix en la urbanització, es consoliden elits com a classes extractives i apareixen activitats no directament productives, com ara artistes i comerciants. Algunes tecnologies, com ara la manipulació del vent o els cursos d'aigua en forma de veles o molins, hi contribueixen.

Fins a final de segle XVIII, els esforços en innovació energètica se centraven a crear i a millorar la captació d'energia primària renovable (biomassa, animal, solar o eòlica), tot i que, en alguns casos, se superaven les taxes de regeneració, tal com demostra la desforestació de moltes zones d'Europa. En qualsevol cas, l'evolució sempre portava a un creixement sostingut, tot i que lent, de l'ús de l'energia exògena *per capita*.

El següent gran canvi en la relació entre les societats i l'energia es produeix a final de segle XVIII i durant el primer terç del segle XIX, amb l'ús del carbó com a combustible de la màquina de vapor. Per primer cop, i ja per sempre més des d'aleshores, el principal recurs energètic ja no era renovable. La injecció de grans quantitats d'energia va impulsar una nova revolució tecnosociològica, novament amb un gran desplaçament de població agrícola excedent cap als nuclis urbans, i l'emergència d'una classe obrera urbana dedicada a la producció industrial. La noblesa terratinent, que controlava la captació d'energia a través dels aliments, perd posició i influència a favor de la burgesia industrial, que controla la producció mitjançant la nova font d'energia fòssil.

Després de la Segona Guerra Mundial, el petroli agafa el relleu com a font d'energia dominant que impulsa la mo-

bilitat, el transport i l'economia global. L'ús d'energia *per capita* segueix creixent i, als països avançats, permet l'automatització i la deslocalització, que substitueixen una part important dels treballs manufacturats. Això condueix a una societat de serveis, en què cada cop tenen menys pes els béns de subsistència i la producció industrial en l'economia i el mercat laboral.

Així doncs, la capacitat per a captar energia exògena és un factor determinant en l'organització de les societats i del seu teixit productiu. És il·lustrador avaluar l'aportació energètica prenent com a unitat l'energia endosomàtica diària (basal + d'activitat) d'una persona adulta mitjana: 2.475 kcal/dia (o 2,88 kWh/dia), que equival a una potència tèrmica mitjana de 120 W. En l'article «The flow of energy in an industrial society», E. Cook (1971) caracteritza les civilitzacions per l'ús d'energia exògena (o capacitat de treball addicional) i ho mesura en persones equivalents *per capita*. O sigui, cada persona d'una societat agrícola primitiva disposa d'un total d'energia de 4,8 persones equivalents, mentre que cada persona (adulta, jubilada, nadó...) d'una societat tecnològica disposa d'una capacitat de treball addicional de 90 persones, gràcies a l'aportació d'energia exògena, la major part de la qual, actualment, prové de combustibles fòssils.

La figura 1 relaciona les successives civilitzacions humanes amb l'ús de l'energia exògena. Malgrat la penetració arreu del petroli, avui dia conviuen societats en diferents estadis de civilització: a les selves tropicals encara hi ha vestigis de societats caçadores; en zones rurals de l'Àfrica, del sud-est asiàtic i de l'Amèrica llatina hi ha societats agrícoles primitives que conviuen amb zones urbanes a mig camí de les societats industrials; Europa se situa més enllà de la societat industrial, i els Estats Units (EUA) i el Canadà freqüen la societat tecnològica.

Entre 1990 i 2017, a escala mundial, l'energia primària (recursos extrets de la naturalesa, sense transformar) augmenta el 59,3%, però, atès que la població també creix de

5.288 a 7.530 milions d'habitants, l'augment de l'ús d'energia primària *per capita* és de l'11,8%.

Al món, la relació entre l'energia aportada externament i l'energia pròpia dels processos metabòlics del cos humà (energia exògena dividida per energia endògena) va passar de 18,4 vegades el 1990 a 20,5 vegades el 2017, tot i l'enorme disparitat entre diferents societats. Com s'observa a la figura 2a, els països de l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE), amb valors molt alts que tendeixen a la baixa en la darrera dècada (de 50,7 vegades a 45,2 vegades), se situen entre una societat industrial i una de tecnològica (cal assenyalar la caiguda dels EUA de 84,9 punts, des del màxim de 89,2 vegades el 2000 a 73,7 vegades el 2017). El descens d'aquesta relació en les economies més consumidores d'energia s'explica, en part, per l'augment de l'eficiència, però, també, perquè s'han deslocalitzat les activitats més intensives pel que fa al consum d'energia, com ara l'obtenció de materials i la indústria pesada, a regions amb regulacions més laxes i costos més baixos.

En canvi, als països no OCDE aquesta relació està per sota de la mitjana mundial, tot i que durant aquest període augmenta quasi el 50% (de 9,9 vegades a 14,7 vegades)

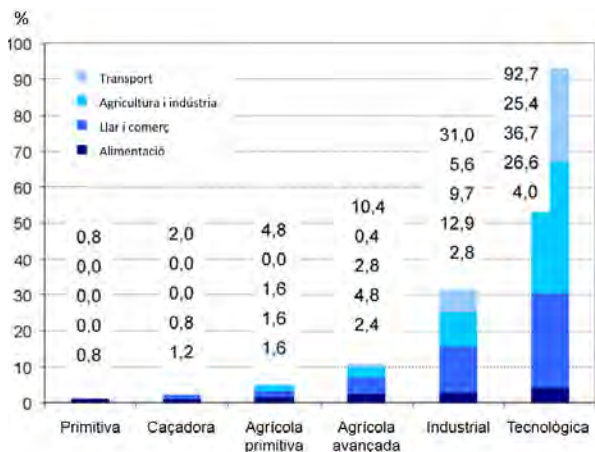


FIGURA 1. Representació de l'energia *per capita* en diferents civilitzacions i àmbits. La unitat és l'energia endosomàtica d'una persona adulta contemporània (2,88 kWh/dia).
FONT: Cook, 1971.
ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva.

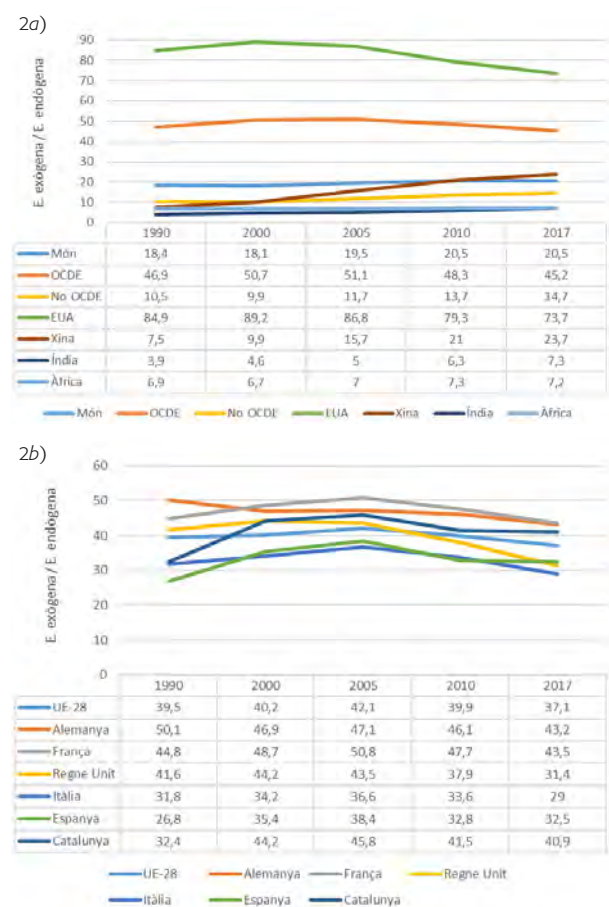


FIGURA 2a i 2b. Consum mitjà d'energia primària *per capita* (1990-2017). Unitat: energia endosomàtica d'una persona adulta (2,88 kWh/dia = 2.500 kcal/dia).
FONT: IEA, 2020.
ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva i Laura Tudurí Sanchis.

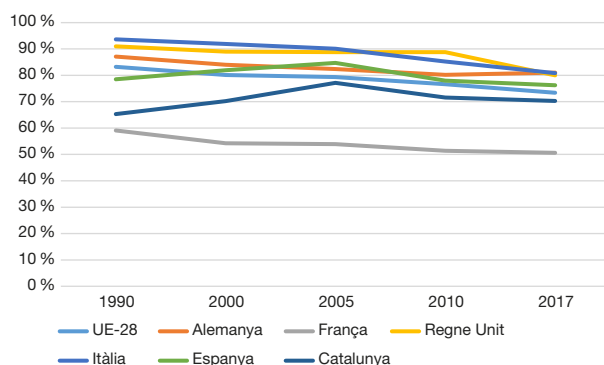


FIGURA 3. Percentatge de combustibles fòssils en l'energia primària per regions.

FONT: IEA, 2020.

ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva i Laura Tudurí Sanchis.

(figura 2a) i se situen a prop d'una societat agrícola avançada.

Durant aquest període, destaca la posició predominant dels combustibles fòssils en el mix energètic mundial, que representen el 80% de l'energia primària. Aquesta proporció s'ha mantingut quasi inalterada durant les darreres dècades, tot i l'esforç recent de les economies avançades per reduir-ne el consum i potenciar les fonts renovables, ja que la lleu reculada als països OCDE es veu més que compensada per l'augment en països emergents com ara la Xina o l'Índia. O sigui, per cada nou kWh renovable, es consumeixen 4 kWh de combustibles fòssils.

L'Àfrica, la regió menys desenvolupada, segueix dependent en gran manera de la biomassa, mentre que l'ús de combustibles fòssils es manté al voltant del 50% durant tot el període. En moltes zones del continent hi domina una economia de subsistència, amb bona part de la població dedicada a la producció d'aliments.

L'energia nuclear, no renovable i contaminant, tot i que amb una incidència molt més reduïda en l'efecte d'hivernacle, té la participació màxima en el mix energètic l'any 2000 amb un 6,7% i després cau, el 2017, al 4,9%.

L'ús d'energia primària *per capita* a Europa (UE-28, figura 2b) és unes quaranta vegades l'energia endosomàtica, per sobre d'una societat industrial en l'esquema de Cook. El 2005, just abans de la crisi de 2008, arriba al màxim de 42,1 vegades i segueix una davallada fins a 37,1 vegades el 2017 (inferior a l'any 1990), fet que està d'acord amb la seva desindustrialització i, en part, es deu a la millora de l'eficiència. Els països analitzats mostren tendències semblants, amb valors més alts a Alemanya i França que a Itàlia i Espanya, i una dinàmica pròpia al Regne Unit. L'ús energètic de Catalunya (40,9 vegades el 2017) és més proper al dels països del nord. El mix es basa quasi exclusivament en energies no renovables (fòssils i urani; vegeu la figura 3), que, conjuntament, subministren entre el 80% i el 90% de l'energia primària de les principals economies europees. Catalunya, tot i no disposar d'aquests recursos, és un cas paradigmàtic de dependència d'energies no renovables importades, que suposen encara el 2017 el 93% de l'energia primària.

3. La doble crisi dels fòssils: energètica i climàtica

En les properes dècades, la humanitat haurà d'afrontar grans reptes, atès que els usos que fa dels recursos de la Terra estan arribant als seus límits (pèrdua de biodiversitat, contaminació dels aqüífers, degradació dels sòls fèrtils), entre els quals destaquen l'exhauriment de les fonts energètiques no renovables i el canvi climàtic. Aquests dos factors incideixen tant en el medi natural com en la vida de les persones, i es fa difícil predir quin assolirà abans proporcions catastròfiques.

La figura 4 mostra l'evolució de la població i de l'ús dels diferents tipus d'energia primària al món en el període 1750-2018, dos segles i mig que van des de l'inici de la Revolució Industrial al Regne Unit fins a l'actualitat.

En primer lloc, crida l'atenció el gran creixement de la població mundial en el període analitzat, en què es multiplica gairebé per deu; anteriorment, per un creixement de deu vegades van haver de transcórrer prop de quatre mil·lennis, des del 2000 aC (uns 70 milions d'habitants) fins a 1750 dC (uns 700 milions d'habitants). En el mateix període, l'ús d'energia primària es multiplica per 46,4, o sigui, un augment de l'energia *per capita* de gairebé cinc vegades, que té unes conseqüències importants.

Aquest creixement tendeix a ser exponencial. Si es posa com a referència la fi de la Segona Guerra Mundial, entre 1750 i 1945 (cent noranta-cinc anys) la població creix 3 vegades i l'energia, 6,3, mentre que entre 1945 i 2017 (setanta-dos anys, poc més d'una tercera part del temps anterior), la població creix 3,2 vegades i l'energia, 7,4.

En segon lloc, el paper dominant passa de les fonts renovables als fòssils. Abans de la Revolució Industrial, les principals fonts d'energia eren renovables, amb una menció especial per a la biomassa, tot i que la tala indiscriminada havia portat moltes zones a la desforestació. Les fonts renovables, en no ser capaces de proporcionar la potència necessària per a fer funcionar tota la maquinària, es van veure superades pel carbó a principi de segle xx. Des d'aleshores, els combustibles fòssils han estat la font energètica dominant, començant pel carbó a la primera meitat del segle xx i seguint pel petroli a la segona meitat, amb el gas natural, que el segueix de prop. Des de 1960, les fonts no renovables superen el 80% del mix energètic, amb un màxim del 87,6% el 1973, coincidint amb la primera crisi del petroli.

L'energia nuclear, que semblava destinada a rivalitzar amb els fòssils com a font primària principal, s'ha mantingut en un paper secundari, amb un màxim del 6,7% del mix energètic a tombant de segle XXI i avui en dia no arriba al 5%.

El creixement galopant dels usos de l'energia i l'elevada proporció de fonts no renovables i contaminants en el mix energètic comporten dos problemes greus per al futur de la nostra civilització:

1. L'exhauriment d'aquests recursos, avui dia bàsics en el sistema energètic, sense que s'hagi previst el desenvolupament d'una alternativa.

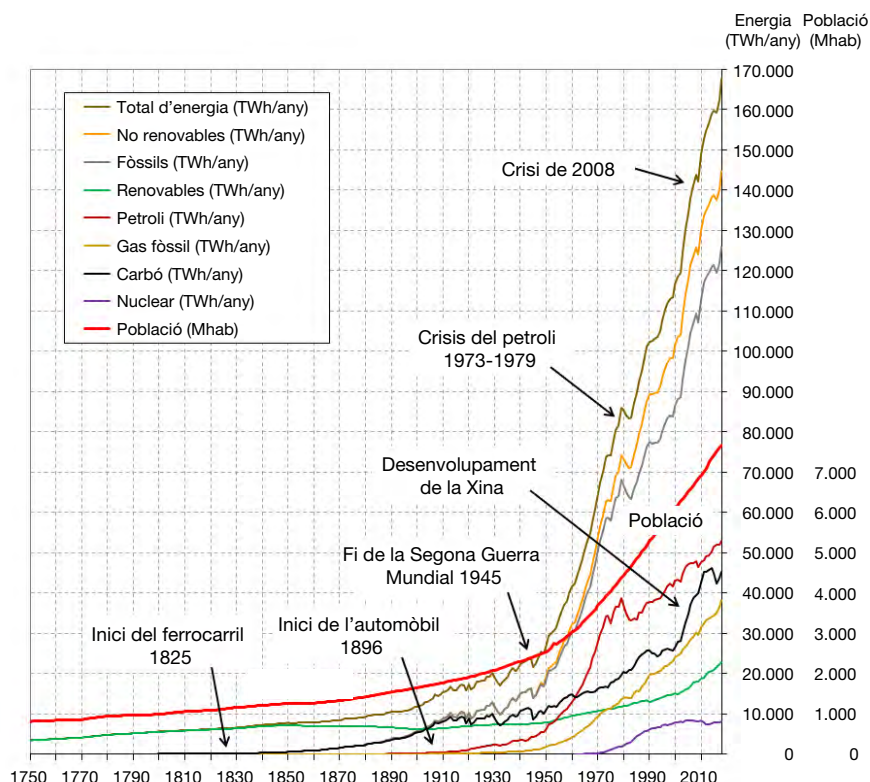


FIGURA 4. Consums d'energia del món, 1750-2018.

FONTS: IEA, 2020, pel que fa a les dades sobre l'energia; Banc Mundial, 2020, pel que fa a les dades sobre la població.

ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva.

2. El canvi climàtic, degut a l'augment de la temperatura mitjana de la Terra per l'efecte d'hivernacle que provoquen el CO_2 i altres gasos emesos durant la combustió de combustibles fòssils.

En els apartats següents s'analitzen aquests dos aspectes.

4. Exhaustiment de les reserves d'energia no renovable

Avui, els recursos no renovables són la font principal d'energia que fa moure els processos que sustenten l'economia global. Són recursos no renovables els que estan presents en quantitats finites o que tenen una regeneració molt inferior al consum. El carbó i els hidrocarburs es van formar fa diversos centenars de milions d'anys a partir de matèria orgànica vegetal i animal. L'urani es va formar amb la Terra fa 4.500 milions d'anys i el nucli del seu isòtop energèticament útil, l' U-235 , és inestable, va disminuint amb el temps i, actualment, tan sols representa el 0,7% de l'urani natural, que, d'altra banda, tampoc no és particularment abundant.

Les reserves són els recursos no renovables presents a la naturalesa que es poden obtenir amb mitjans tècnics i condicions econòmiques operatives. Avui dia, la major part de reserves ja han estat descobertes i, malgrat que noves tècniques o condicions econòmiques poden convertir alguns recursos coneguts en reserves, aquestes tenen un límit.

Es pot pensar que el límit està en l'exhaustiment total dels combustibles fòssils, el qual una senzilla extrapolació dels consums actuals comparada amb les reserves conegudes situaria d'aquí a quatre o cinc dècades. Però, en una economia que creix, el moment crític no és l'exhaustiment total d'una reserva sinó el moment en què la producció arriba al màxim, després del qual comença el declivi.

El 1956, el geòleg i geofísic americà M. K. Hubbert establí la teoria segons la qual l'extracció d'un recurs finit i no renovable segueix una forma de campana simètrica (corba de Hubbert), amb un màxim (zenit o pic petroler) un cop extretes la meitat de les reserves, i va predir, amb les reserves aleshores conegudes, que la producció de petroli dels EUA hi arribaria el 1970, fet que es va confirmar.

U. Bardi afegeix un nou escenari a la incertesa, que anomena *efecte Sèneca* (nom basat en la citació de Sèneca al seu amic Lucili: «El creixement és lent, però la ruïna és ràpida»). Aquest efecte, constatat en molts contextos, parteix de models dinàmics complexos i fa referència al col·lapse ràpid d'un sistema econòmic estressat i poc resilient, després del zenit de producció d'un recurs bàsic com el petroli.

Diversos autors van preveure el zenit del petroli el 2006, amb una producció d'uns 85 milions de barrils diaris. Però, amb tècniques millorades d'extracció en jaciments exhaurits i pous d'aigües profundes, i, darrerament, amb l'expansió de la fracturació hidràulica (o *fracking*) als EUA, la producció ha arribat a les portes de la pandèmia de la COVID-19 amb uns 100 milions de barrils per dia. No deu ser que aquestes accions estan modificant la dinàmica

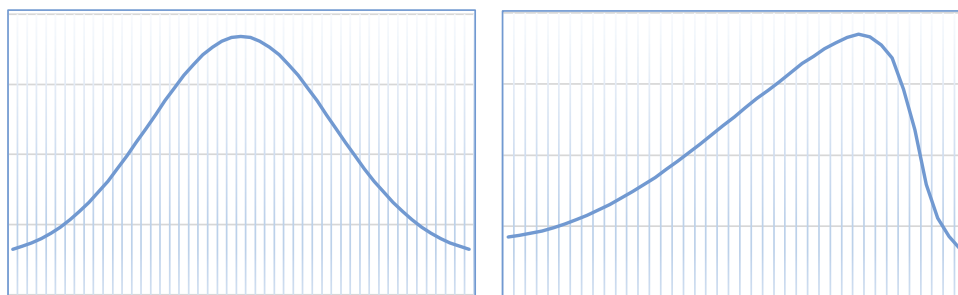


FIGURA 5. Corba de Hubbert (esquerra) i efecte Sèneca (dreta).
FONT: Elaboració pròpia.

d'extracció del model de Hubbert cap a l'efecte Sèneca i, per tant, els temps de reacció són molt més breus?

Al decantament vers l'efecte Sèneca s'hi afegeix el fet que els rendiments de les noves extraccions són cada cop menys eficients. Si a principi de segle xx amb l'energia d'un barril de petroli se n'extreien 100, amb algunes de les darreres tecnologies se n'extreuen menys de 5, ja prop del límit de la inviabilitat. Alhora, l'augment dels costos d'extracció fa que aquestes tecnologies siguin molt menys atractives davant d'altres alternatives, com ara les energies renovables.

D'altra banda, el sistema econòmic actual es fonamenta en l'augment de la producció de béns i serveis, o sigui, en l'expansió de l'ús d'energia i de recursos. Un cop superat el zenit del petroli, hi ha el perill de col·lapse econòmic, tret que s'obtingui l'energia d'una altra font.

5. Les emissions i el canvi climàtic

L'atmosfera originària de la Terra era majoritàriament de CO_2 (com la de Venus i la de Mart), però l'acció de microorganismes anaerobis durant centenars de milions d'anys van anar fixant el carboni (C) fins a donar lloc a l'atmosfera actual, el medi al qual estem adaptats, formada majoritàriament per nitrogen (N_2), oxigen (O_2) i traces de CO_2 i altres gasos, i quantitats variables de vapor d'aigua.

En el darrer milió d'anys, la quantitat de CO_2 a l'atmosfera terrestre ha oscil·lat entre 200 ppm (parts per milió), durant les glaciacions, fins a 300 ppm, en les èpoques interglacials (figura 6). Amb la crema dels combustibles fòssils per a obtenir energia, darrerament estem restituint a l'atmosfera una part del CO_2 i altres gasos amb efecte d'hivernacle fixats al subsòl (l'any 2020, 410 ppm).

Hi ha un consens general que les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle indueixen a un augment de la temperatura mitjana de la Terra amb greus conseqüències sobre el clima. El vapor d'aigua (i els núvols) també té efecte sobre el clima, però el cicle d'evaporació i de precipitació dona lloc a efectes compensatoris, mentre que el CO_2 persisteix a l'atmosfera.

Alguns dels efectes del canvi climàtic són la pujada del nivell del mar (segons Winkelmann *et al.*, 2015, la capa de gel antàrtica emmagatzema aigües que equivalen a 58 m d'elevació del nivell del mar), la desertització de zones habitades, l'augment d'episodis climàtics extrems (huracans, inundacions), la desaparició de glaceres i reserves d'aigua a les capçaleres dels rius, la menor productivitat agrícola, la disminució de pesqueries i la pèrdua de la biodiversitat.

Des de l'any 2012, Earth System Science Data publica els estudis *Global carbon budget* (ESSD, 2020), que presenten els balanços de CO_2 , tant pel que fa als emissors (combustibles fòssils, processos industrials i canvis d'ús dels

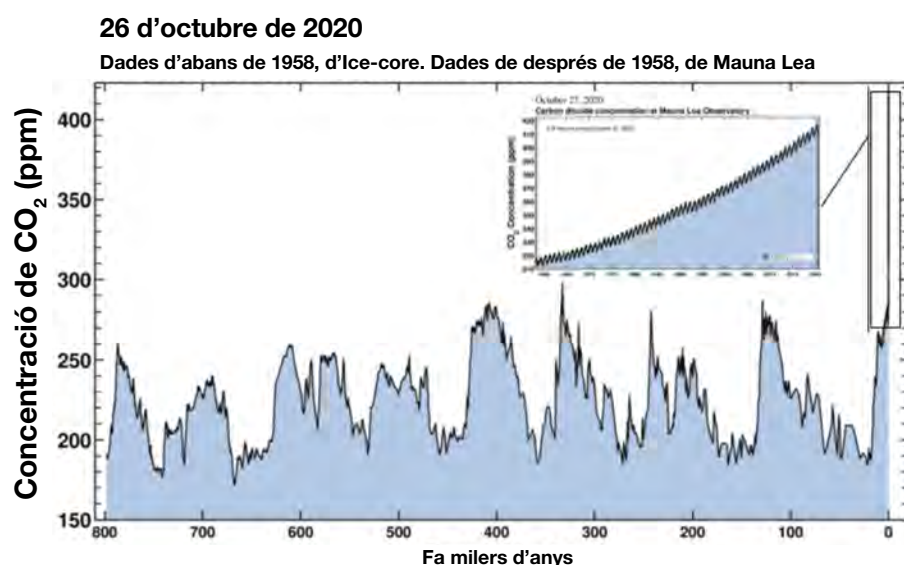


FIGURA 6. Contingut de CO_2 atmosfèric (ppm) els últims 800.000 anys.
FONT: Scripps Institution of Oceanography. Universitat de San Diego.
ELABORACIÓ: Adaptació de Genís Riba i Laura Tudurí Sanchis.

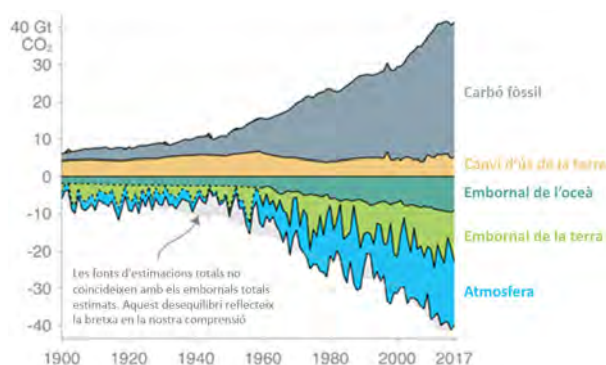


FIGURA 7. Equilibri de fonts i embornals de CO_2 des de 1900 fins a 2017.
FONT: ESSD, 2020; Global Carbon Project, 2020.
ELABORACIÓ: Adaptació de Carles Riba i Laura Tudurí Sanchis.

sòls) com als embornals (atmosfera, oceans i els sòls amb la vegetació). La figura 7 en mostra l'evolució des de 1900 fins a 2017, mesurats en CO_2 .¹ Hi hem afegit els valors numèrics de cada un dels components per a l'any 2017 en Pg CO_2 .² El desequilibri posa de manifest la lleugeresa amb què estem obviant les repercussions de les emissions i el desconeixement que encara tenim sobre el comportament dinàmic del sistema.

Tal com es comprova a la figura 7, al final de la Segona Guerra Mundial hi ha un canvi de tendència en les emissions de CO_2 que correspon a l'ús dels combustibles fòssils, amb uns efectes acumulatius en el canvi climàtic i en l'acidificació dels oceans molt acusats al llarg del temps.

Des de 1750 fins a 2017 (és a dir, l'era industrial), les emissions mundials acumulades sumen uns 430 Pg CO_2 per la crema de combustibles fòssils i uns 250 Pg CO_2 pel canvi d'ús dels sòls (artigues, incendis, urbanització). Aquestes emissions han estat absorbides pels sòls i la vegetació (uns 215 Pg CO_2), els oceans (uns 165 Pg CO_2) i l'atmosfera (uns 270 Pg CO_2), amb un valor de desequilibri de 30 Pg CO_2 per manca de coneixement sobre aquests sistemes. El 40% de les emissions antropogèniques, doncs, han anat a l'atmosfera i han incrementat l'efecte d'hivernacle. El 60% restant s'ha repartit entre els sòls, la vegetació i els oceans, on tampoc no són innòcues, ja que alteren els cicles químics que regulen la vida i canvien els medis als quals estan adaptades les espècies.

6. Impuls cap a la transició energètica

La solució de totes dues crisis passa necessàriament (tot i que no de manera suficient) per la transició vers les fonts energètiques renovables. La principal dificultat per a activar aquesta transformació és més de percepció i d'accepta-

ció social que no pas tècnica, i hi conflueixen diversos corrents de falta de voluntat col·lectiva, des dels interessos de les empreses energètiques oligopolístiques i la desídia acomodaticia de la ciutadania dels països rics, fins al desig de les poblacions dels països en desenvolupament de millorar les condicions de vida seguint el model occidental, tot i el nivell de destrucció que comporta.

L'atenció pública i mediàtica s'ha centrat sobretot en el vessant climàtic de la doble crisi, i és per això que també ha comportat més acció política, almenys de domini públic. La COP-21 (XXI Conferència de les Parts), reunida a París el 2015, en el marc de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC), va prendre un important acord subscrit per 195 països (pràcticament, tots els de la Terra), vigent a partir de 2020, que s'emmarca en els principis següents:

- Contenir l'augment de la temperatura mitjana de la Terra respecte als nivells preindustrials per sota de 2°C i prosseguir els esforços per limitar-la a $1,5^\circ\text{C}$.
- Augmentar la capacitat d'adaptació als efectes adversos del canvi climàtic i promoure les baixes emissions sense comprometre la producció d'aliments.
- Eleva els corrents financers compatibles amb un desenvolupament resilient.

Els efectes de les emissions de CO_2 sobre el clima són acumulatius, atès que és un compost estable que es pot mantenir a l'atmosfera durant segles, fins i tot en els escenaris més favorables. Per tant, s'hauria de completar la transició energètica no més enllà de 2050 i, com més s'avanci, la recuperació serà millor. L'acord de la COP-21, junt amb les avaluacions sobre la necessitat de limitar l'ús de les reserves de fòssils, comença a fer capgirar les percepcions. S'abandonen les prospeccions i alguns capitals es reorienten a les inversions en renovables.

Com a derivada, els acords de París també poden ajudar a pal·liar la crisi de disponibilitat dels combustibles fòssils. Partint de l'objectiu de limitar l'increment de temperatura a 2°C , McGlade i Ekins (2015) avaluen que les emissions acumulades de carboni entre 2011 i 2050 no haurien de sobrepassar les 1.110 Pg CO_2 , mentre que la combustió de totes les reserves de fòssils n'emetrien unes tres vegades més. Per tant, suggereixen que, a escala mundial, un terç de les reserves actuals de petroli, la meitat de les reserves de gas i més del 80% de les reserves de carbó han de romandre inutilitzades sota terra.

7. Què comporta la transició energètica?

Des del punt de vista estrictament tècnic, la transició energètica suposa una transformació total dels models de generació d'energia, però també dels models de producció agrícola, industrial, de mobilitat i de serveis. És difícil de copsar la magnitud de la tasca que representa la transició a les energies renovables. Tot seguit, es posen uns quants exemples a diverses escales per emmarcar les dimensions de la transició:

1. Dotze unitats de C corresponen a quaranta-quatre unitats de CO_2 .

2. Pg: petagram, que equival a mil bilions de grams; aquesta unitat també es coneix com a gigatona (Gt), que equival a mil milions de tones.

Indústria dels fòssils. Abandonar els combustibles fòssils implica desmantellar les indústries mundials del carbó i dels hidrocarburs. Aquesta darrera, només en activitats ai-gües amunt (exploració, extracció, transport i refinaria), mou uns tres bilions d'euros anuals (més de dos cops el producte interior brut [PIB] d'Espanya). A això cal afegir una plèthora d'indústries associades, com ara els materials petroquímics, i més d'un segle de tecnologies i d'indústries basades en l'ús del petroli, entre les quals una de les més destacades és la de l'automòbil.

Indústria de l'automoció. La substitució de milions de vehicles amb motor de combustió interna (1.100 milions d'automòbils, 360 milions de camions, 300 milions de motocicletes, 60 milions de locomotores dièsel, 53 milions de vaixells i 26 milions d'avions comercials) a un sistema alternatiu de mobilitat elèctrica, sigui quin sigui el model que s'acabi imposant, és una altra tasca descomunal. A Espanya, la indústria automobilística és un 5% del PIB i puja fins al 7% si s'hi inclouen les indústries associades.

Generació d'energia en un bloc de pisos. Un edifici de pisos, amb planta baixa més cinc pisos, amb vint-i-quatre veïns (entre famílies i botigues), pot tenir un sostre d'uns 400 m². Suposant una superfície fotovoltaica útil de 200 m², es podrien captar uns 25.000 kWh/any. A Espanya, cada llar usa uns 4.000 kWh d'electricitat a l'any (96.000 kWh/any entre tots els veïns), sense tenir en compte els serveis generals de l'edifici ni la futura alimentació dels vehicles elèctrics; o sigui, tindria la capacitat de generar poc més d'una quarta part de l'energia mínima que necessiten els veïns. El mateix bloc requereix uns 40.000 kWh/any d'energia tèrmica per a aigua calenta sanitària, que, a diferència de la captació fotovoltaica, suposen tan sols uns 40 m² de panells termosolars.

Indústria intensiva en energia. Es parteix d'una indústria amb processos a alta temperatura (metal·lúrgica, cimentera, ceràmica o química) que ocupa unes 8 ha i consumeix 200 GWh/any de gas fòssil i 50 GWh/any d'electricitat. Per fer la transició a energies renovables (en què se substitueix el gas fòssil per hidrogen) caldrà associar aquesta indústria a un o més parcs fotovoltaics que sumin una superfície bruta de captació d'un 420 ha (el municipi de Cornellà de Llobregat en té 680 ha) o a un o més parcs eòlics que sumin unes 80 turbines de 2 MW per obtenir l'energia renovable necessària.

Vaixell portacontenidors. Avui dia, una gran part, cada cop més gran, dels productes es transporten en contenidors i, de manera molt majoritària, per mar. Comencen a ser habituals vaixells portacontenidors de 8.000 TEU³ que recorren uns 120.000 km/any, amb un consum de fuel d'entre 210 i 300 GWh/any. Si se substitueix el fuel per dihidrogen (H₂), moure un d'aquests vaixells vol dir disposar de parcs fotovoltaics o eòlics semblants als de la indústria de l'apartat anterior.

3. Vaixells de 8.000 TEU (amb contenidors de vint peus) de 340 m d'eslora i 42,5 m de màniga que naveguen a 21-25 nusos (o *knots*, en anglès) per hora.

Subministrar electricitat a una ciutat de 100.000 habitants. El 2017, els usos globals d'electricitat a Catalunya (llars, serveis i indústries) eren de 15,8 kWh per habitant i dia, o sigui d'1,58 GWh/dia, en una ciutat de 100.000 habitants. Per a emmagatzemar tan sols l'energia elèctrica d'un dia per cobrir episodis climàtics adversos, i tenint en compte els rendiments corresponents, caldrien o bé unes 50.000 bateries d'automòbil d'ió liti de 40 kWh amb un cost total d'uns 500 milions d'euros, o bé obtenir uns 105.000 kg d'hidrogen de l'electròlisi de 950 tones d'aigua (quasi una piscina olímpica) i emmagatzemar-los en dipòsits a 200 bars de pressió que ocuparien un volum total d'uns 7.000 m³.

Afectació del territori a Catalunya. La superfície necessària per a captar les energies renovables per al sistema energètic català (sense pèrdua de qualitat de vida) és del 2% del territori del país, unes 64.000 ha. En comparació, la superfície artificialitzada a Catalunya (convertida en urbana i infraestructures) és de 219.000 ha (6,8% del territori; IDESCAT, 2020), una part molt substancial de la qual ha estat afectada i/o consolidada ja en el present segle.

No és imaginable, doncs, ara un canvi en els usos del sòl condicionats per la transició energètica? La importància d'aquestes noves afectacions territorials aconsella posar l'èmfasi en els principis següents:

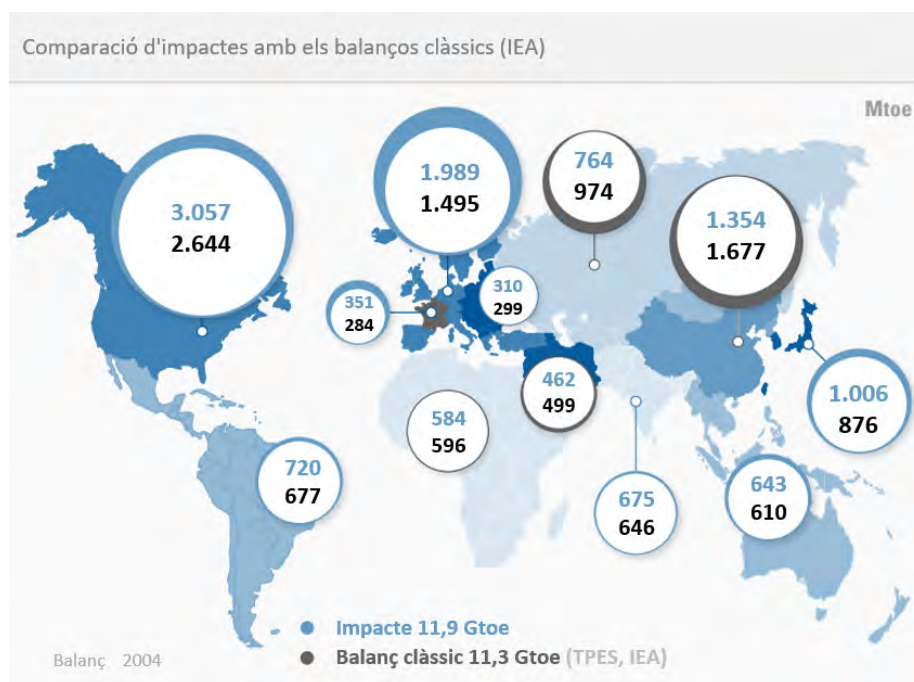
- 1) Millorar els rendiments de tots els processos.
- 2) Eliminar els usos energètics inútils o inadequats.
- 3) Situar les superfícies de captació prioritàriament en indrets ja artificialitzats o en zones degradades.
- 4) En cas de noves afectacions, fer-les de manera respectuosa envers la natura, els ecosistemes i la biodiversitat, i als terrenys de menys valor agrari.

8. Energia grisa i impacte energètic

L'energia grisa o incorporada (en anglès, *embodied* o *embedded*, respectivament) és la suma de l'energia que ha estat necessària per a obtenir un material, un producte o un servei, com si aquesta s'hi hagués incorporat. A diferència de l'*energia directa*, és a dir, la vinculada a l'ús, l'energia grisa resta oculta al consumidor. Per exemple, el consum horari d'un ordinador portàtil pot ser d'uns 0,060 kWh (energia directa); produir aquesta electricitat pot haver comportat la dissipació de 0,150 kWh en una central tèrmica (energia grisa de l'electricitat), i produir l'ordinador (materials inclosos) pot haver requerit uns 500 kWh (energia grisa de l'ordinador).

Partint dels conceptes *impacte energètic*, *energia directa* i *energia grisa*, el treball *Nouvelles représentations des consommations d'énergie* (IDDRI, 2013) proporciona una visió més ajustada dels usos energètics reals de les diferents societats tenint en compte els efectes de la importació i l'exportació de materials, béns i serveis. Aquest estudi se centra en l'impacte energètic, és a dir, l'energia necessària per a satisfer totes les necessitats de la ciutadania d'un territori (alimentació, habitatge, mobilitat, salut, educació, cultura, entreteniment), tant si l'ús energètic s'ha fet al territori

FIGURA 8. Comparació de la petjada energètica i els balanços en diferents regions i països del món (2004).
FONT: IDDRI, 2013.
ELABORACIÓ: Adaptació de Laura Tudurí Sanchis.



com en un altre lloc, en comptes de l'energia subministrada al territori, com fan els balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia (IEA, 2020).

Això pot semblar tan sols una manera diferent de comptabilitzar els usos energètics reals, però quan s'aplica a un territori concret (país o regió) i s'hi inclou l'energia grisa del balanç d'importació-exportació, l'impacte energètic del territori augmenta si el balanç és positiu i disminueix si és negatiu. La diferència rau en l'energia que els balanços de l'IEA comptabilitzen al territori on resideix qui produeix el bé o servei, i que l'impacte energètic comptabilitza al territori on resideix qui se'n beneficia.

La figura 8 ofereix una avaluació comparativa entre l'impacte energètic (*energetic impact*, en anglès) i els balanços energètics de l'IEA (*classic balances*) en diferents països i regions del món per a l'any 2004.

Els països o regions amb impacte energètic superior al balanç energètic, o sigui, importadors nets d'energia grisa, són de l'OCDE (Europa, l'Amèrica anglosaxona i l'OCDE-Àsia), mentre que entre els exportadors destaquen la Xina, en la seva funció de fàbrica del món, i les regions exportadores de combustibles fòssils (Euràsia i l'Orient Mitjà). L'energia grisa importada a Europa (amb França i l'Europa de l'Est) incrementa un 27,5 % l'energia subministrada.

9. L'energia a Catalunya

A partir del balanç energètic de Catalunya (Idescat, 2020) i aplicant el valor mitjà d'increment d'energia grisa importada a Europa (27,5 %), s'ha confeccionat l'esquema de la figura 9, que posa de manifest l'impacte energètic de Catalunya per al 2017. Cada cercle incorpora un aspecte nou dels usos energètics, mentre que les àrees entre cercles

representen la magnitud de cadascun. Els cercles estan organitzats de manera que com més gran és, més s'allunya de l'usuari i, per tant, és més difícil de percebre'l i tenir-lo en consideració.

Els tres cercles interiors, de color blau, representen els consums energètics que els ciutadans usen en forma d'electricitat, de combustibles domèstics (gas, gasoil per a calderes, butà o llenya) i de combustibles per a la mobilitat (gasolina, gasoil). Aquests consums energètics són molt presents i propers a la majoria de les persones, ja que els paguen explícitament com a energia.

L'àrea verda és l'energia final consumida en activitats no domèstiques: agricultura, ramaderia i pesca; indústries i construcció; serveis públics i serveis privats; la mobilitat col·lectiva i el transport de mercaderies. Els ciutadans saben que tot això requereix energia, però no en perceben de manera clara i directa la magnitud, especialment pel que fa a les activitats més consumidoras (ciment, processos metal·lúrgics, química, avions comercials i grans vaixells). I cal assenyalar que aquests consums són un 150 % superiors als del tres d'usos familiars junts.

Els dos darrers consums són els més invisibles de tots. L'àrea rosa és l'energia dissipada per la indústria de l'energia (carboneres, petrolieres, gasistes, elèctriques) en l'obtenció dels vectors energètics finals (electricitat i combustibles comercials) que usen els ciutadans, les empreses i les administracions. I l'àrea groga és l'estimació (amb el percentatge mitjà d'Europa) de l'energia consumida en altres indrets i importada en forma de béns i serveis que s'utilitzen a Catalunya.

Així doncs, mentre que els tres primers consums domèstics no sumen ni el 20 % de l'impacte energètic català, els dos darrers components d'energia grisa més invisible sobrepassen el 50 %.

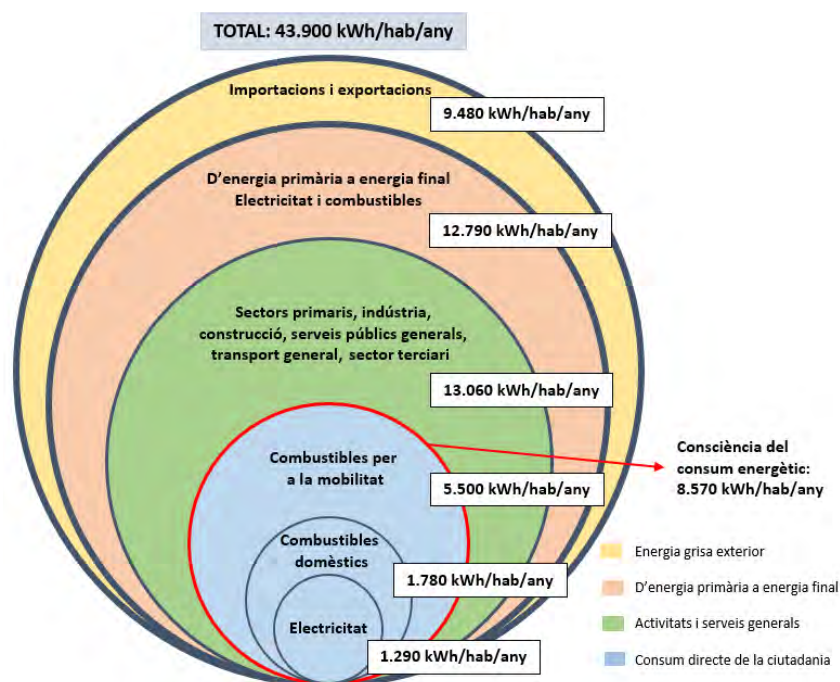


FIGURA 9. Representació dels usos energètics globals a Catalunya.
FONT: Idescat, 2020, i IDDRI, 2013.
ELABORACIÓ: Carles Riba Romeva i Laura Tudurí Sanchis.

10. Percepcions esbiaixades sobre l'energia

Hi ha una consciència difusa sobre la importància de l'energia en totes les activitats de la vida humana. Però un dels aspectes més preocupants és que molts ciutadans i responsables polítics i empresarials, ocupats obsessivament en el dia a dia, tenen percepcions esbiaixades sobre els usos reals de l'energia, una part important dels quals els resten ocults.

El sistema energètic actual, concebut de dalt a baix, s'estructura en unes poques empreses oligopolístiques que transformen les energies primàries en vectors energètics (electricitat, combustibles comercials) subministrats a través de xarxes als usuaris (ciutadans, empreses i administracions), que els perceben com a sistemes de potència infinita, o sigui, amb la capacitat d'absorbir qualsevol nova càrrega (o eliminar-la) sense patir alteració. L'usuari confia que el sistema respondrà a qualsevol circumstància. Però, analitzat el sistema energètic amb una visió àmplia, aquest depèn d'uns combustibles fòssils en plena crisi que contaminen, causen el canvi climàtic i ja encaren el pendent del declivi.

La figura 9 mostra que la major part dels usuaris tenen una percepció de l'energia reduïda als usos més propers i obliden que disposar dels béns i serveis ha requerit la major part del sistema energètic en forma d'energia grisa. Aquest fet és enormement contraproduent per a transitar vers un nou sistema d'energies renovables, menys intenses que els fòssils i l'urani, i que requereixen noves actituds, noves formes de gestió i d'infraestructures molt diferents de les actuals.

Cal, doncs, que la ciutadania prengui consciència dels canvis que comporta la transició energètica i prengui decisions ben informades, tot apropant el sistema energètic

als usuaris i visibilitzant tot l'itinerari energètic, i no tan sols el seu ús presidit pel preu.

11. Transició energètica i canvi de paradigma

Paradigma significa 'exemple' o 'model', i es refereix al conjunt de creences, d'idees i de percepcions que una societat accepta com a veritables o falses sense posar-les a prova. El pas dels combustibles fòssils a les fonts renovables no es limitarà a una simple substitució de les unes per les altres. Atesa la seva diferent naturalesa, la transició anirà molt més enllà i incidirà (esperem que de manera positiva) en els comportaments de les persones i en l'organització de la societat. A continuació s'esbossen els principals canvis que la transició energètica a les energies renovables comportarà en el paradigma actual:

1. *De gestionar estocs a gestionar fluxos.* Les fonts no renovables (els fòssils) es presenten en forma d'estocs a partir dels quals es gestiona l'oferta en funció de la demanda. En canvi, les fonts renovables (en especial, la fotovoltaica i l'eòlica) es basen en fluxos naturals intermitents i/o aleatoris (radiació solar, vents, pluges), de manera que cal prioritzar-ne la captació en el moment en què es produeixen i, si convé, emmagatzemar-los. Fent un símil amb l'economia, diríem que el sistema energètic actual viu del capital (l'estoc de fòssils), mentre que el futur sistema energètic renovable viurà del salari (els fluxos renovables). Aquest canvi és un dels aspectes més determinants del nou paradigma, que afectarà les actituds, les formes de gestió i les infraestructures.

2. *D'una economia de creixement a una de contenció.* Viure d'un capital porta a la temptació de dilapidar-lo. I és el que fa avui dia l'economia associada estretament als recursos i

a l'energia: no funciona si no creix. El sistema energètic renovable està limitat pel valor de la irradiació solar, les tecnologies per capturar-ne l'energia i els límits dels ecosistemes terrestres, entre els quals hi ha els materials escassos i la necessitat de tornar a implantar processos circulars. El nou paradigma renovable s'ha d'adaptar a una economia emmarcada per activitats sostenibles al llarg del temps.

3. *D'energia tèrmica a energia elèctrica.* El paradigma energètic bascula d'un mix dominat per fonts que generen calor (carbó, petroli, gas) a un nou mix en què predominen les que generen electricitat (fotovoltaica, eòlica, hidroelèctrica). El sistema actual transforma (amb un rendiment molt baix) la major part dels combustibles en electricitat (centrals tèrmiques i nuclears) i en mobilitat (motors tèrmics), mentre que el nou sistema renovable haurà de transformar (amb un rendiment alt) una part de l'electricitat en calor (bomba de calor) i en mobilitat (tracció elèctrica). Atès que l'electricitat s'ha d'usar en el mateix moment en què es genera, això duu a prioritzar la gestió de la demanda (en lloc de l'oferta) i a desenvolupar i gestionar un sistema d'emmagatzematge massiu inexistent en el sistema energètic actual.

4. *Disminueix la densitat energètica.* Per primer cop en l'evolució humana, es passa d'unes fonts fòssils i nuclears de més densitat energètica (en MJ/kg i MJ/litre) vers unes fonts renovables de menys densitat energètica (radiació solar, vents i corrents d'aigua). Aquest canvi, que topa amb el paradigma d'una població acostumada a les potències elevades, condueix a l'estalvi i l'eficiència energètica, alhora que també possibilita els usos distribuïts i de proximitat.

5. *Canvis geopolítics en l'accés a l'energia.* Les reserves de fòssils estan geogràficament concentrades (i, al nostre país, són llunyanes), generen forts impactes ambientals i requereixen grans infraestructures i capitals. En canvi, les fonts renovables són distribuïdes, més properes i de fàcil accés, molt escalables, menys intensives pel que fa a capital i d'impactes menors en el territori i el medi ambient. El nou paradigma renovable, alhora que reforça la participació a través de l'autoconsum, consolida la xarxa elèctrica com una veritable àgora energètica, en què es comparteixen els excedents i les manques d'energia, i en què també s'alimenten els serveis generals i les infraestructures. Els drets d'accedir a la xarxa i de participar en la seva gestió han d'esdevenir un dels pilars del nou paradigma renovable.

6. *Nova relació entre energia i territori.* El sistema energètic actual es basa, majoritàriament, en captacions pretèrites d'energia solar durant milions d'anys a través de la matèria orgànica fossilitzada de plantes i d'animals. El nou sistema renovable es basa en la radiació solar d'avui dia, ja sigui de forma directa (solar, tèrmica, fotovoltaica) o indirecta (precipitacions, vents, biomassa). Això afegeix nous requeriments de superfícies de captació (fotovoltaica, biomassa) al territori o d'espais (eòlica, hidroelèctrica) inexistents en el sistema no renovable. Atesos els conflictes ja existents sobre els usos del territori, aquest és un dels aspectes que demanarà més atenció del nou paradigma renovable.

7. *Nou equilibri entre local i global.* L'energia dels fòssils, concentrada i de baix cost, ha generalitzat el transport i ha

reforçat els mercats globals davant dels locals, on els productes importats han anat destruint bona part de la relació entre les comunitats locals i els recursos i les fonts d'energia de l'entorn. Avui dia el petroli, que suporta el 95 % del transport mundial, és el recurs fòssil més proper a l'exhauriment. Les alternatives per al transport pesant i a llarga distància (probablement, a partir de l'hidrogen) són comparativament més costoses i fan aconsellable una moderació de la globalització de mercaderies. Aquesta limitació torna a fer valer els recursos, l'energia i les activitats de l'entorn (de km 0), alhora que augmenta favorablement la resiliència de les comunitats locals.

8. *Reconnectar l'energia amb els usos.* Sorpren constatar que el concepte *energia* no es consolida fins molt tard, a final de segle XIX (Newton parlava de *forces* i no de *energia*), ja en plena Revolució Industrial, quan ja es produïen vectors energètics (vapor, embarrats), amb independència dels usos. La separació entre energia i ús, que subjau en el paradigma energètic no renovable, ha permès un gran progrés, però també ha fomentat moltes ineficiències. El nou sistema renovable, basat en fonts energètiques abundants i distribuïdes però de menor densitat energètica, ha de potenciar l'estalvi i l'eficiència tot capgirant el punt de vista: partir de les necessitats i dels usos, i, aigües amunt, anar a cercar la font renovable i l'itinerari energètic més favorables.

9. *Recuperar el protagonisme ciutadà.* Amb la consolidació del sistema energètic fòssil i nuclear, la població s'ha anat allunyant del seu control i gestió. Aquest estat de coses ha perdurat mentre aquests recursos no han esdevingut crítics: els oligopolis han fet grans negocis i la ciutadania se n'ha despreocupat. Però l'era dels fòssils i de l'urani arriba a la seva fi i s'ha de construir un nou paradigma d'acord amb unes energies renovables més distribuïdes, en què intervenen molts més actors que intercanvien entre si excedents i altres serveis energètics. Cal un canvi de paradigma mental que interpel·li ciutadans, empreses i administracions (tant els usuaris com els productors, els productors-consumidors o altres subministradors de serveis) per intervenir en la captació, els usos, la gestió i el control del sistema energètic.

12. Conclusions

Com a resum s'estableixen les conclusions següents:

1. Constatació de la crisi

Cal treballar per fer palesa la situació en què es troba la humanitat:

a) La crisi actual dels fòssils, de caràcter energètic i climàtic, és profunda i afecta tots els àmbits de la vida i totes les activitats humanes: ho trastoca tot.

b) Per fortuna, hi ha alternativa: la transició cap a les fonts renovables.

c) Tanmateix, el soroll del dia a dia fa difícil correlacionar el malestar social creixent i els desastres naturals amb

la crisi energètica i climàtica; aquesta desconexió impedeix que molta gent faci un bon diagnòstic i prengui les decisions adequades. Insistir en aquest coneixement va en bona direcció.

d) Tot i que les noves fonts energètiques són més distribuïdes i accessibles a la ciutadania, per primera vegada, són menys concentrades que les anteriors (les fòssils), fet que genera percepcions negatives que cal vèncer.

2. Capgirar el paradigma obsolet

Cal treballar per construir un nou paradigma renovable del qual destaquen els elements següents:

a) Ha de partir de la finitud dels recursos naturals i abandonar la perspectiva del creixement continu.

b) Ha de donar prioritat a l'estalvi i l'eficiència, i reintroduir el concepte *circularitat dels materials i recursos* en les activitats.

c) Ha d'acceptar moderar les potències, aprendre a gestionar la demanda i articular el sistema d'emmagatzematge.

d) Cal una reconsideració global de la relació entre energia i territori.

e) L'encariment del transport farà que l'energia i els recursos propers tornin a tenir valor davant dels mercats globals.

f) S'ha de posar el centre d'atenció en els usos (amb sentit de responsabilitat) per anar a buscar aigües amunt els recursos més eficients.

g) Com a eines de suport, cal dissenyar els productes i serveis per fer-los sostenibles més enllà de la fi de vida i apostar per la digitalització com a eina per millorar l'eficiència i la sostenibilitat dels sistemes.

3. Posar-nos mans a l'obra

Davant de la crisi dels fòssils i de la transició energètica cal ser proactius:

a) Ningú no ens resoldrà la transició energètica: posem-nos mans a l'obra, hi ha feina per a tothom.

b) El sistema energètic renovable que s'ha de construir és nou: s'ha de perdre la por a l'error per atrevir-nos a innovar.

c) Cal concebre solucions resilients per quan fallin coses i preveure alternatives.

d) Finalment, tot i la novetat i complexitat del nou sistema renovable, caldrà edificar-lo amb l'esperit d'aprofitar al màxim tot allò ja existent.

Bibliografia

BANC MUNDIAL (2020). *Population, total* [en línia]. <<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>> [Consulta: octubre 2020].

BARDI, U. (2017). *The Seneca effect: Why growth is slow but collapse is rapid* [en línia]. Springer, 2017. ISBN 978-3-319-57207-9. <<https://www.springer.com/gp/book/9783319572062>>.

COOK, E. (1971). «The flow of energy in an industrial society». *Scientific American*, vol. 255, núm. 3 (setembre).

ESSD = EARTH SYSTEM SCIENCE DATA (2019). «Global carbon budget 2019». *Earth System Science Data* [en línia], vol. 11, núm. 4. <<https://essd.copernicus.org/articles/11/1783/2019/>>. [Les dades són del 2017]

FURRÓ, E. (2016). *Catalunya: Aproximació a un model energètic sostenible*. Barcelona: Octaedro.

— (2019). *La transformació del sistema energètic: Recursos, raons i eines*. Barcelona: Octaedro.

HUBBERT, M. K. (1956). «Nuclear energy and the fossil fuels». *Drilling & Production Practice* (San Antonio, Texas: American Petroleum Institute), p. 7-25. [Actes de la Trobada de Primavera del Districte Sud de la Divisió de Producció de l'American Petroleum Institute]

ICAEN = INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA (2020). *Balanz energètic de Catalunya* [en línia]. <http://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energetic/> [Consulta: juliol 2020]. [Els resultats fan referència al període de 1990 a 2019]

IDDR = POUROUCHOTTAMIN, P.; BARBIER, C.; CHANCEL, L.; COLOMBIER, M. (2013). *Les cahiers du Club Ingénierie Prospective Énergie et Environnement*, núm. 22 (abril): *Nouvelles représentations des consommations d'énergie* [en línia]. 82 p. <https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/clip22_nouvelles-representations-consommations-energie_web.pdf>.

IDESCAT = INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (2020). *Utilització del sòl* [en línia]. <<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=anuals&n=10547&tema=terri&t=201900>> [Consulta: octubre 2020]. [Les dades fan referència a l'any 2019]

IEA = INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2020). *Energy balances* [en línia]. <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables/?country=WORLD&energy=Balances&year=2018>> [Consulta: 2020].

MCGLADE, Ch.; EKINS P. (2015). «The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C». *C. Nature*, vol. 517, núm. 7533, p. 187-190.

RIBA ROMEVA, C. (2011). *Recursos energètics i crisi: La fi de 200 anys irrepetibles*. Barcelona: UPC. També disponible en línia a: <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/12972>>.

— (2012). *Recursos energètics i crisi: La fi de 200 anys irrepetibles*. Barcelona: Octaedro.

RIBA SANMARTÍ, G. (2016). *El cost de l'energia*. Barcelona: Octaedro.

WINKELMANN, R.; LEVERMANN, A.; RIDGWELL, A.; CALDEIRA, K. (2015). «Combustion of available fossil fuel resources sufficient to eliminate the Antarctic Ice Sheet». *Science Advances* [en línia], vol. 1, núm. 8, e1500589 (11 setembre). <<https://advances.sciencemag.org/content/1/8/e1500589>>.

ELS AUTÒMATS DEL TIBIDABO: ART I OFICI PER AL DIVERTIMENT

Lluís Ribas Duran

Professor de mecànica a l'Institut El Palau de Sant Andreu de la Barca i conservador del Museu d'Autòmats del Parc d'Atraccions Tibidabo. lluisribas@hotmail.com

Resum: El present article mostra un recorregut històric, tècnic i humanístic pel Museu d'Autòmats del Tibidabo. Es tracta d'un museu emblemàtic a Barcelona i a Europa, on la màgia de la tècnica es barreja amb la diversió, la curiositat i la història. Tal com es veurà, es tracta de la fusió entre l'art i diferents oficis per crear moments de diversió i entreteniment dins del Museu, a través de personatges i maquetes en moviment.

Paraules clau: autòmats, Museu d'Autòmats del Tibidabo, història de la tecnologia, parc d'atraccions, arts i oficis, mecanismes, restauració, conservació.

THE TIBIDABO AUTOMATA: ART AND CRAFTSMANSHIP IN ENTERTAINMENT

Abstract: This paper makes a historical, technical and humanistic tour of the Tibidabo Automata Museum. This is an emblematic institution of Barcelona and Europe at large, where the magic of technology blends with amusement, curiosity and history. As we will see, it represents a melding of art and crafts to create entertainment, forming a unique communion of technology and the curious gaze of the child we all have inside.

Keywords: automata, Tibidabo Automata Museum, history of technology, amusement park, arts and crafts, mechanisms, restoration, conservation.

Introducció: per què tot va acabar en un museu meravellós?

Benvinguts al món irreplicable dels autòmats. Si després d'albirar les meravelloses vistes de la ciutat de Barcelona i rodalies us decidiu a entrar al Museu d'Autòmats del Tibidabo, veureu que, a mesura que anireu baixant per les delicioses escaletes rodones, us endinsareu en un dels espais que més han meravellat, divertit i entretingut milers de persones al llarg de la seva història, un racó únic per al descans, el diàleg i l'aïllament del brogit del Parc.

Per al descans, perquè és un lloc on l'adrenalina torna al seu cabal normal. Aquí dins estem protegits del brogit ineludible i necessari del Parc; no ens maregem, ni sentim vertigen. Aquí podem gaudir d'unes peces centenàries que, si volem, ens transporten a fer un encantador viatge per l'Europa del segle XIX i principis del segle XX. Amb les indumentàries rocambolesques i extravagants, amb la cara de pallaso entremaliat i amb uns mecanismes que encara avui dia suporten les dures jornades de treball, malgrat la seva antiguitat. Engranatges, politges, palanques i motors s'activen de manera gairebé permanent quan es prem el botó verd i l'electricitat es transforma en moviment.

Per al diàleg, perquè en aquest espai és on els avis es retroben amb els nets i recorden els moments bons que van passar de petits abans d'entrar a la voracitat del món adult que es va empassar l'infant. Aquí els avis i les àvies exerceixen el seu ofici, el que cada vegada és més necessari. Els nets poden fer de nets; amb els nervis a flor de pell, busquen la complicitat dels grans i els obliguen a mirar l'autòmat que comença a moure's. No hi ha treva. Els ulls cansats dels grans viatgen lentament cap als moviments precisos dels més joves, provant d'explicar com han passat els anys. Però quan tot just comencen a articular el seu discurs nostàlgic, els petits ja són tres autòmats més enllà i, agafats a la barana de llautó, ja han premut el botó següent tot xisclant, cridant i reclamant l'atenció que no els donarà ningú més que els que arriben sempre tard, allà on la felicitat es comença a despertar en els cossos menuts i innocents.

Però també hi ha un diàleg que s'estableix entre la tecnologia del passat i la del present: els autòmats són peces que encara avui diverteixen i entretenen, malgrat les noves tecnologies, que han escombrat bona part dels antics i innocents entreteniments. Ens obliguen a aturar-nos i a pensar que allò que estem veient és un xoc estètic respecte del que estem acostumats a veure avui dia. Ens forcen a entretenir-nos i a dedicar-hi una

mica de temps, ja que l'autòmat ens està obsequiant amb una petita representació teatral que no vol presses ni sorolls. És una representació repetida fins a la monotonia, però, no obstant això, revivim l'emoció quan tornem a visitar el Museu, una vegada i una altra. De vegades, sols; sovint, acompanyats, i potser algun dia, amb els petits i petites de casa. Qui sap?

Alguna cosa tenen aquests personatges que, després de cent anys, encara han sobreviscut i perduren. Com si no hagués passat res. Com si fos el primer dia que s'han instal·lat al Tibidabo. Com si el temps s'hagués aturat el mateix dia que es van crear. Així doncs, petits, joves i grans entraran a buscar, cadascun d'ells i elles, allò que hi vulguin trobar. Alguns, descans; d'altres, tecnologia i ciència; d'altres, potser volen il·lusionar-se per primera vegada amb una instal·lació única que no deixa indiferent ningú.

Per a qui redacta aquest article, us haig de dir que el que hi trobo, després de gairebé trenta anys dedicats als autòmats, és una meravellosa barreja d'art i de ciència que queda englobada en un tot. Són gairebé peces tocades per l'humanisme, perquè la tècnica constructiva, camuflada al seu interior, donarà moviment a les parts més estètiques i artístiques que veurem com a públic.

I, així, sastreria, mecànica, electricitat, ebenisteria i escultura van anar treballant en simbiosi amb les mans dels seus creadors i van donar lloc a aquests personatges. Es van instal·lar l'any 1982 en aquest museu modernista, d'incomparable bellesa, amb els finestrons estrets i arrodonits, situat en una de les parts més antigues del Parc, just a sota de l'avió que va fer volar les il·lusions de la gent de la dècada de 1930 cap endavant, quan gairebé ningú no sabia què era volar. Us podeu imaginar què devia suposar per als nostres avis i besàvies baixar d'un vol de Tibidabo Airlines i trobar-se els autòmats escampats pel Parc? Què no faríem per tenir unes ulleres de realitat virtual i barrejar aquells moments de velles tecnologies amb el present de les noves tecnologies, condensats en una pel·lícula on ens veiéssim a nosaltres mateixos en aquells moments?

I ara que ens hem il·lusionat amb el record ancestral d'unes peces que van arrencar el somriure i la il·lusió dels nostres avantpassats, ara que nosaltres podem ser els seus ulls, quan potser ells i elles ja no hi són, i reviu la seva mirada com si els estiguéssim acompanyant en un petit viatge, agafadets del braç, però sent nosaltres grans i elles i ells savis, endinsem-nos a l'interior d'aquesta sala. Sense cridar, sense estridències, els explicarem la joia de viure que vam experimentar quan, de petits, eren ells qui ens agafaven de la mà i s'il·lusionaven veient com en gaudíem. Talment, com si fos ahir.

Entrem al Museu d'Autòmats

Cal dir que els autòmats que podem veure actualment al Museu no sempre han estat exposats a la sala on són ara. De fet, han passat més anys fora d'aquí que no pas a dins, ja que totes aquestes peces havien estat distribuïdes en llocs



FIGURA 1. Imatge de l'antic teatre on ara hi ha el Museu d'Autòmats.
FONT: Arxiu Municipal del Districte de Sarrià - Sant Gervasi.

diferents del Parc i allunyades les unes de les altres. El seu funcionament era també diferent: el públic introduïa una moneda a l'esclatxa del moneder que portaven totes les vitrines i, d'aquesta manera, es posaven en marxa durant un temps determinat. Aquestes esclatxes encara es poden veure avui dia en moltes de les vitrines, com un vestigi del passat, quan el Parc era de titularitat privada i l'objectiu era lucratiu. Però els anys van anar passant i els autòmats s'anaven deteriorant, com a conseqüència d'un ús intensiu i per la dificultat de fer-los un manteniment adequat. També, el fet que fa uns quants anys el Parc passés a ser adquirit per l'Ajuntament de Barcelona va canviar la manera d'entendre aquesta instal·lació i les formes de rendibilitzar-la.

Es va decidir, llavors, col·locar tots els autòmats en una sala, que era la que antigament havia acollit el vell teatre del Tibidabo (figura 1). Aquest teatre tenia ben bé el doble d'alçària que la sala actual, però es va construir un forjat que la dividia en dues parts. A la part inferior hi ha actualment el recorregut de l'Hotel Krüeger, atracció on actors i actrius recreen els personatges de les pel·lícules de terror mítiques, de manera que ens els anem trobant al llarg dels passadissos de l'hotel i ens donen un bon ensurt.

A la part superior, però, que és la que ens interessa, es van instal·lar els autòmats, amb la mateixa distribució que tenen avui dia, és a dir, una part al perímetre oval i una altra (una part de les maquetes), al mig, de manera que el públic podia anar passejant pel voltant de manera còmoda i els podia posar en marxa, simplement, prement un botó. Tot això va passar l'any 1982, després d'una posada a punt i reconstrucció de molts dels autòmats que veiem avui. Aquesta intervenció la van dur a terme els mateixos treballadors del Parc, que, amb una il·lusió desmesurada, van comprendre que estaven creant una petita joia de la qual, molts anys després, encara gaudiríem sense perdre ni un bri d'encert en la idea original. Això demostra que els museus, com més interactius es plantegin, molt més atractius són per als visitants, que en surten pensant que han format part de l'espai.

A la figura 1 es pot veure l'antic teatre del Tibidabo i, al fons de la imatge, la boca de l'escenari, dins de la qual, en aquests moments, hi ha instal·lat l'autòmat *La berbena madrilenya*, amb el taller de manteniment de la sala amagadet



FIGURA 2. Imatge del Museu des de fora, emmarcat dins del rectangle negre.
FONT: BCN Postal, Fons documental del Museu d'Automats.

just al darrere. Cal fixar-se que el sostre és el mateix que hi ha a l'actual Museu i, per tant, amb aquesta imatge ens podem imaginar, quan entrem a la sala, la important reducció d'alçària que va patir.

A la figura 2, de principis del segle xx, es pot veure on se situa el Museu, a la part de fora del Parc, amb un rectangle negre. Cal que ens adonem que a sobre encara no hi havia instal·lat l'avió de 1928. I si llegim la inscripció de la banda dreta superior de la postal, veurem que diu, en castellà: «Mayo, día 19-1919. La caja ya está en mi poder».

L'espai on s'ubica el Museu és una construcció dels anys 1906 a 1909. De fet, abans que fos un teatre, va tenir altres usos. Originàriament havia estat una sala de festes, la qual, més tard, es va projectar com a casino, però no va arribar a inaugurar-se perquè va ser prohibit per la dictadura de Primo de Rivera. Amb el temps es va transformar en teatre, tot i que tampoc no va funcionar de manera oficial, ja que va ser destinat només a representacions privades dels empleats del Parc i els seus familiars —perquè, segurament, aquest personal funcionava com una gran família, de manera molt similar a una colònia, però sense pernoctacions. Durant unes quantes dècades va contenir diverses atraccions, com ara els *Miralls còncics* i el *Laberint de cristall*. Cal dir, però, que els miralls devien ser una instal·lació molt visitada i estimada, ja que actualment encara es pot trobar l'atracció *Els Miramiralls*, situada just al costat del Museu.

Si comparem la figura 2 amb la figura 3, molt més recent, es poden veure les diferències arquitectòniques sofertes amb el pas del temps. Hi ha ben pocs edificis al Parc que conservin l'estil arquitectònic amb què van ser projectats. És, com es pot veure, una de les parts més antigues que queda del Parc i que no ha patit cap modificació des que es va construir. Cal destacar-ne les finestres de punt rodó, tan habituals a l'època, així com un porxat perimetral que protegeix de la llum del sol tot el contingut interior i converteix aquest edifici en un espai perfecte per a contenir-hi les peces del museu. Just a sobre, es pot veure (figura 3) l'estructura triangular amb elements d'acer reblat (no caragolat) que suporta el pes de l'Aviò i que li permet anar fent tombos al voltant de l'eix de gir de l'estructura, com si d'un avió real es tractés. A l'esquerra, encara es pot veure l'antiga *Muntanya russa*, que es va substituir per una de més ràpida i amb molta



FIGURA 3. En aquesta imatge es veuen les diferències arquitectòniques del Parc.
FONT: Fons documental del Museu d'Automats.

més altura. I al fons, a l'esquerra, s'eleva la Torre de les Aigües, propietat d'Aigües de Barcelona.

Un dels atractius particulars del Tibidabo és que s'hi conserven atraccions que, generació rere generació, formen part de la infància de moltes persones i que, per tant, tenen un gran valor emocional, històric i sentimental. Justament per aquest caràcter identitari, les atraccions es qualifiquen d'emblemàtiques. La més antiga de les atraccions que es conserven és l'*Aeromàgic* (actualment, *Embruixa-bruixes*), que consisteix en una cabina monocarri suspesa en una estructura de biga d'acer en forma de T, per on es desplaça gràcies a un motor que fa girar una roda de fricció que es mou sobre l'aleta de la biga. Aquesta atracció tan particular, que va ser inaugurada el 22 de maig de 1915, va recórrer formes sinuoses per fora i per dins de la muntanya. El 18 de desembre de 1921 s'inaugurà la *Talaia* i el 23 de setembre de 1928, l'*Aviò*. La figura 4 mostra la cara que ofería el Parc d'Atraccions Tibidabo a la ciutat de Barcelona. Bona part dels edificis que es veuen ja no hi són, o bé han patit modificacions tan importants que resulta difícil identificar el Parc actual amb l'original.

Els automats van anar arribant al Parc a mesura que anaven passant els anys, ja que els primers provenien de tallers familiars de París. En aquells moments els automats eren peces molt de moda, gràcies al caràcter extravagant de les seves vestimentes, als moviments precisos i gairebé humans, i, especialment, a les caixes de música



FIGURA 4. Vista, des del vessant del funicular, del cim del Tibidabo. A la dreta, en un extrem, es veu el Museu.
FONT: BCN Postal, Fons documental del Museu d'Autòmats.

que amenitzaven els seus moviments xocants. Aquests tallers, que van esdevenir petites indústries de la joguina i els autòmats, van tenir el moment àlgid entre finals del segle XIX i principis del segle XX, cosa que coincideix amb la inauguració del Parc d'Atraccions Tibidabo, l'any 1901.

A mesura que anaven passant els anys s'anaven deteriorant, fins que s'acabaven retirant quan estaven molt malmesos. L'any 1978 es va retirar el darrer i, en aquelles dates, va ser quan es va iniciar la restauració corresponent als tallers del parc mateix, que va durar al voltant de quatre anys i que va ser dirigida per Claudi Aguiló (segons consta a *La Vanguardia* del dia 8 de novembre de 1981, figura 5).

Amb el pas del temps i l'aparició de noves maneres de viure, derivades de les transformacions de la tècnica, aquests autòmats es van convertir en veritables relíquies mecàniques, ja que les noves tecnologies d'aquells anys —l'electrònica i la informàtica— van irrompre de manera progressiva i intensa en la vida de les persones, i van deixar en l'oblit una tecnologia que ho havia estat tot en el món dels humans des de segles enrere: la mecànica.

Des del punt de vista de l'automatització, les màquines només mecàniques (i, per tant, els autòmats) no podien

competir de cap manera amb la gestió que la informàtica feia dels ginys. El cert és que la combinació entre totes aquestes tecnologies (la mecànica inclosa) va fer que tota mena de màquines adquirissin un valor afegit, especialment, quan van entrar a les llars. Així doncs, els autòmats van quedar relegats a peces exòtiques, insòlites i una mica enigmàtiques, cosa que els ubicava més en museus en què exposessin arqueologia tecnològica que no pas en un de peces modernes.

Actualment, els autòmats potser ja no són apreciats per les seves habilitats originals; és a dir, si segueixen sorprenent-nos, ho fan d'una altra manera. Les noves tecnologies actuals superen amb escreix la complexitat tècnica dels autòmats mecànics, però cal fer un esforç per situar aquestes andròmines en el seu marc històric i entendre que, ara fa més de cent anys, no era gens senzill construir-los, atès que no hi havia ni les màquines ni els processos de fabricació actuals. A més a més, la societat d'aleshores també era molt diferent: no hi havia, ni de bon tros, les activitats d'oci que avui arribem a tenir i la majoria de la gent s'il·lusionava quan veia una màquina similar a un ésser humà que es movia, potser de manera anàloga a quan avui dia veiem un robot electrònic.

La inauguració oficial del Museu dels Autòmats es va celebrar el 17 de juny de 1982, amb l'assistència del president de l'Associació del Tibidabo, Joan Anton Andreu, i el conseller adjunt de la Presidència de la Generalitat de Catalunya, Miquel Coll i Alentorn. Aquesta data es documenta també a *La Vanguardia* del dia 8 de novembre de 1981, en què s'especifica que el Museu estaria llest el juny de 1982.

D'on provenien i com es construïren els autòmats del Museu

El Museu té actualment una col·lecció de quaranta-vuit peces, entre els autòmats més antics de la marca Vichy (París), altres autòmats artesanals (i, per tant, peces úniques), ma-



FIGURA 5. La portada i l'interior del diari *La Vanguardia*, en què apareixen els autòmats un cop restaurats.
FONT: *La Vanguardia* (8 novembre 1981). Exemplar conservat al fons documental del Museu d'Autòmats.

FIGURA 6. Firma de Gustave Vichy, constructor dels vuit autòmats de la col·lecció del Museu.
FONT: Bailly, 1991.



FIGURA 7. Publicitat de l'any 1864 de la firma G. & H. Vichy.
FONT: Bailly, 1991.

quetes diverses, diorames i màquines de joc. De la fàbrica de joguines mecàniques Vichy, fundada l'11 de març de 1862, cal dir que només n'hi ha vuit al Museu, que són: *El mandolinista*, *El pallasso i els micos*, *El pallasso i la granota*, *El poeta s'adorm*, *La Monyos*, el *Personatge de reclam*, l'*Orquestra prodigiosa* i *Els meravellosos equilibristes*. Aquests són, potser, els més valuosos des del punt de vista de l'antiguitat i el refinament. En podrem veure unes quantes imatges més endavant.

La figura 6 reproduïx la signatura del fundador de l'empresa i la figura 7, un full de publicitat de la marca. En aquest full propagandístic es poden veure alguns models d'autòmats que van ser produïts per la família Vichy. Cal dir que aquests autòmats es fabricaven com a peces refina-

des que les famílies benestants de la societat francesa compraven i instal·laven als salons o a les sales d'estar com a elements d'ostentació, com si d'una escultura es tractés. Un toc distingit i atrevit d'una part de la societat opulenta parisenc que, més tard, es va traslladar també a altres ciutats importants i industrialitzades d'Europa, com ara Londres o Barcelona, entre d'altres. Per tant, aquests catàlegs de productes, com el que es veu a la figura 7, eren habituals a les fires de mostres que es feien en països que tenien el comerç com a font de riquesa.

Pel que fa a la resta d'autòmats, cal dir que molts són d'origen desconegut, de manera que és impossible traçar-ne la procedència, ja que daten de molt antic i ni tan sols al Parc no hi ha documentació sobre la seva adquisició. El més probable és que es comprassin a artesans que els oferien al Parc o que la mateixa direcció els comprés o reciclés d'altres espais on funcionaven com a reclam per a la venda de xocolatines, xiclets i llepolies. En aquest sentit, hi ha veritables peces meravelloses que, un cop van acabar la funció de reclam, es van incorporar al Museu, perquè se'ls va observar una atracció especial per al públic i, per tant, no es tractava pas de llençar-les i oblidar-les. Només va caldre eliminar el moneder on s'introduïen les monedes per a la compra del producte i, així, ja podien funcionar com a autòmats o maquetes, i passar a engruixir la col·lecció. Les dues darreres peces que ha adquirit el Parc, però, són de l'autor d'aquest article. En concret, els autòmats *Els germans Gaüs o l'equilibri del món*, de l'any 2005, i també l'autòmat *1312*, de l'any 2018. Del primer, en parlarem al darrer apartat d'aquest article, que fa referència als autòmats moderns.

També cal destacar alguns autòmats que van construir els mateixos tècnics del Parc, que van voler aportar el seu gra de sorra al Museu. Mecànics, electricistes, ebenistes i modistes, al llarg dels anys, van aconseguir engruixir el

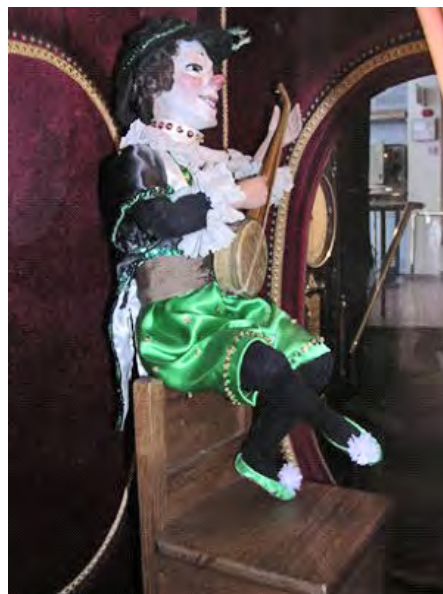


FIGURA 8. Fotografia general de l'autòmat *Pallasso mandolinista* (1880), de Gustave Vichy.
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.

nombre de peces perquè el Museu disposés de prou distracció. Són els casos del *Ring*, el *Harlem*, la *Berbená madrilenya*, l'Òpera i el *Teatre de titelles*, entre d'altres. Hi ha també una petita col·lecció de màquines de joc que estaven distribuïdes pel Parc i que són petites obres d'enginyeria mecànica per la seva complexitat tècnica.

Cal dir que el Museu disposa d'una diversitat important d'autòmats, atenent a la seva procedència i a la tècnica constructiva; encara que aquí tampoc no els podem exposar tots, tenint en compte el nombre de peces. Per categories, hi ha les següents: col·lecció Vichy, col·lecció Nestlé (donació d'aquesta empresa el 1984), màquines de joc, maquetes, aparells científics, autòmats de collita pròpia (construïts pels tècnics al llarg dels anys) i, finalment, els autòmats moderns (construïts per l'autor d'aquest article). A continuació, en veurem uns quants exemples.

L'autòmat de la figura 8 correspon al més antic de la col·lecció del Museu, és el *Pallasso mandolinista*, de 1880, que, per tant, es va construir abans de la inauguració del Parc d'Atraccions (1901).

A la figura 9 es mostra el mecanisme de l'autòmat, amb les lloques que mouen les extremitats al fons. Un autòmat com aquest model, en un inici, portava el motor dins de la cadira i era de tipus mecànic, és a dir, amb molla. Però la instal·lació en un parc d'atraccions va fer que no poguessin estar contínuament donant-li corda. Això va comportar que la Direcció del Parc d'aleshores parlés amb la fàbrica Vichy per tal que instal·lés un motor elèctric als autòmats que es compraven. El mecanisme que veiem a la figura 9 és posterior, fins i tot, al primer model electrificat que va arribar al Tibidabo i és el que avui dia podem veure, després de la restauració de l'any 1982. Els engranatges que s'hi veuen serveixen per a augmentar la velocitat de l'autòmat i adequar-la a les necessitats del personatge.



FIGURA 9. Detall dels mecanismes de funcionament de l'autòmat *Pallasso mandolinista* (1880), de Gustave Vichy.
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.



FIGURA 10. Model original de l'autòmat *Pallasso i granota* (1913), de Gustave Vichy.
FONT: Bailly, 1991.



FIGURA 11. L'autòmat *Pallasso i granota* (1913), de Gustave Vichy. Model restaurat pel Museu l'any 2005.
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.



FIGURA 12. Mecanisme intern de *Pallasso i granota* (1913), de Gustave Vichy, un cop restaurat.
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.

Un altre exemple d'autòmat de Vichy és *Pallasso i granota*, de 1913, exposat, també, al Museu. A la figura 10 es pot veure el model original que sortia de la factoria parisenca. El model de la figura 11 es va acabar de restaurar cap a l'any 2005. És la peça més complexa de la col·lecció, atès que cal coordinar molts moviments i, alhora, cal anar amb més cura perquè no es desestabilitzi el mecanisme, ja que és molt sensible als canvis de temperatura. Hem de pensar que bona part de les peces estan fetes de llautó i que un dels integrants d'aquest aliatge és el coure, material altament dilatable amb els canvis de temperatura entre l'hivern i l'estiu.

A la figura 12 es reproduïx el detall del mecanisme intern de *Pallasso i granota* (1913), un cop restaurat i tenint en compte que la part vella ja no és l'original. Aprofitem aquestes imatges tan tècniques per introduir-nos una mica en alguns conceptes clàssics de la construcció dels autòmats. El motor (element blanc a la fotografia) transmet el moviment a través de la correa (verda) al conjunt de doble reductor de vis sense fi, cosa que redueix molt la velocitat i augmenta, en la mateixa mesura, la força disponible. A la imatge es pot veure, també, l'arbre de lleves (vuit, en total): les lleves activen les palanques, que són les encarregades de transmetre el moviment als fils que faran moure les extremitats.

Fixem-nos que aquí apareix el concepte de reducció de velocitat mitjançant el vis sense fi. Hem de pensar que els motors elèctrics, en general, giren a velocitats elevades, però, en canvi, els autòmats s'han de moure a velocitats reduïdes, perquè, si no, no se'n podria apreciar el moviment. Per tant, cal reduir molt la velocitat final. Això, mecànicament, es pot aconseguir de diverses maneres: a través de moltes rodes dentades de diferent nombre de dents, amb politges de diferents diàmetres enllaçades per correes o amb pinyons de diferent nombre de dents enllaçats amb cadenes. I això passa en tots els autòmats electrificats. Però també es pot aconseguir a través d'una mena d'engrenatge molt particular: el vis sense fi. Fixem-nos en el detall de la imatge (figura 12). Observem que el moviment comença al

motor i aquest fa girar una primera politja motriu, que, a través d'una correa tòrica (de color verd), fa girar una segona politja conduïda. Sobre l'eix d'aquesta politja gira, també, el primer vis sense fi, que farà moure una roda de cinquanta dents. Com que el vis sense fi té només una dent, la relació de transmissió resultant és un número molt petit.

$$i = \frac{1}{50} = 0,02$$

Si el motor gira a 1.500 voltes per minut, això vol dir que, de moment, sobre l'eix de la roda que engrana amb el vis sense fi ja tindrem una reducció important de velocitat, ja que farà trenta voltes cada minut.

$$v = 1.500 \cdot 0,02 = 30 \text{ min}^{-1}$$

Però aquesta velocitat encara és massa elevada per als moviments d'un autòmat que vol seduir la mirada del públic. Així, si continuem mirant el mecanisme, veurem que a l'eix de la roda que engrana amb el primer vis sense fi hi torna a haver un segon engranatge. Aquest porta un vis sense fi i una roda una mica més gran, de setanta dents. Tornem a fer el càlcul i veurem quina és la velocitat final del mecanisme:

$$i = \frac{1}{70} = 0,014$$

$$v_{\text{final}} = 30 \cdot 0,14 = 0,42 \text{ min}^{-1}$$

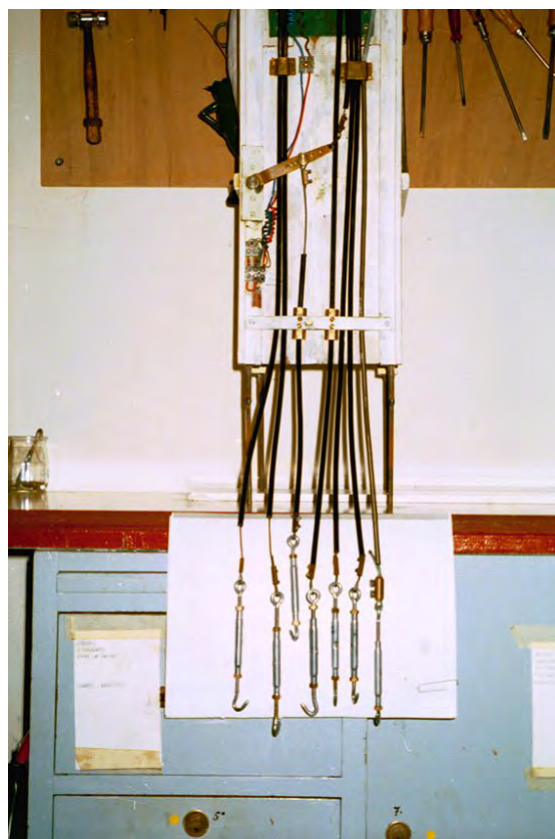


FIGURA 13. Detall del cablejat de l'autòmat *Pallasso i granota*. Vista parcial del darrere del personatge, sense el vestit ni el farcit que li dona forma de cos humà.

FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.



FIGURA 14. Conjunt dels dos arbres, un dels quals amb un vis sens fi, i els dos engranatges.

FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.

Això vol dir que aquesta segona roda i tot el seu eix giraran 0,42 voltes cada minut, una velocitat realment baixa i molt apta per a fer funcionar un autòmat. Si ens hi fixem, aquesta és la velocitat a què giren també les lleves, en el mateix eix que l'engranatge, i, just per sota d'aquestes lleves, es veuen les palanques amb els cables que faran moure els braços, el cap i, en general, les extremitats dels autòmats. Per tant, estem just a sota del personatge i aquests cables entren per darrere l'esquena i es dirigeixen a enclavar-se, a través de palanques, a les extremitats.

A la figura 13 es pot veure el cos del personatge de *Pallasso i granota*, amb els cables que pugen per l'esquena i separen del mecanisme inferior, del qual hem estat parlant anteriorment. Els cables que van dins de les fundes (de color negre) porten uns sensors als extrems, que són els que s'acoblen a les palanques de sota les lleves. Si ens hi fixem, hi ha set cables, un per a cada moviment de l'autòmat: cama dreta, peu dret, mà dreta, braç dret, cap, braç de la granota i coll del personatge.

Després d'aquest viatge per les entranyes de l'autòmat en procés de restauració, cal dir que actualment ja es comercialitzen motors elèctrics que porten incorporats els elements de reducció a la mateixa estructura del motor i això fa que se simplifiqui força el conjunt de mecanismes dedicats a moure el personatge. Malgrat tot, en qualsevol procés de restauració es mira de ser al màxim de fidel a la darrera modificació. I així es va fer.

A la figura 14 es pot veure un dels vis sens fi tret del mecanisme i acabat de restaurar. A la figura 15 observem les lleves antigues i erosionades, extrems del vell mecanisme. I, com que s'esmenten les lleves, podem parlar-ne una mica. Hem de pensar que els autòmats són màquines automàtiques de disseny antic. Quan es projectaven, no hi havia programes informàtics que gestionessin els moviments d'un robot. Si tenim en compte que els autòmats són els ascendents naturals dels robots, allò que permetia automatitzar-ne el moviment no eren motorets que actuessin sobre cadascuna de les extremitats del personatge i que, gestionats per un ordinador, es poguessin programar al nostre gust en qualsevol moment. En aquells temps, els motors elèctrics eren grans, voluminosos i matussers, no com en l'actualitat, que al mercat disposem de micromotors que caben dins d'un telèfon mòbil.

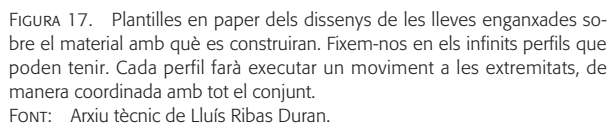
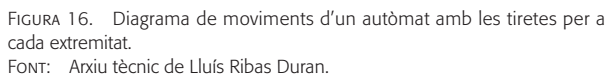


FIGURA 15. Taula de treball amb les eines i les lleves antigues de l'autòmat *Pallasso i granota*. Aquest és el moment en el qual es verifiquen les mides de les lleves i el seu desgast o erosió, i es valora si es refan de nou amb el mateix material o si s'aprofiten les antigues. La imatge prové d'una fotografia d'un dossier tècnic.

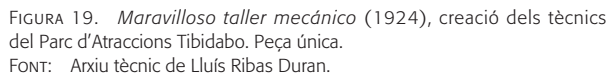
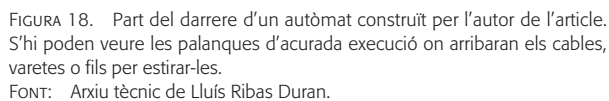
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.

Per tant, els autòmats disposaven d'un únic motor que feia moure un arbre de lleves, tal com s'ha pogut veure en imatges anteriors. Aquestes lleves no es podien modificar, llevat que es canviessin, operació que era molt feixuga i costosa. Per tant, un autòmat antic controla el moviment de les extremitats (peus, cames, cap...) a través de cadascuna de les lleves. Per a cada extremitat, hi ha sempre una lleva amb un perfil característic. Aquest perfil el decideix el dissenyador de l'autòmat i, en general, per assajar els moviments que tindrà el personatge, el dissenyador executa els moviments amb el seu propi cos, simulant els moviments de les extremitats del futur autòmat amb les seves pròpies extremitats. A partir d'això es crea un perfil de lleva o un altre.

A la figura 16 es pot veure el disseny de les nou lleves d'un autòmat construït recentment per l'autor d'aquest article. Aquí comença el procés d'estudi dels moviments i, si ens fixem en imatges anteriors, les lleves es generen a partir d'una circumferència mare. Per tant, entre 0° i 360° es dona tot el cicle de moviment que tindrà una extremitat. Com que totes les lleves giren en un mateix eix (arbre), totes tenen la mateixa velocitat. Però això no vol pas dir que totes hagin de tenir els mateixos recorreguts. Cada lleva pot tenir un recorregut diferent i, fins i tot, dins del recorregut de 360° es donen diferents recorreguts en una mateixa lleva. Aquesta és la gràcia d'aquest element mecànic tan bonic. En aquest diagrama, fet en un full de paper, cada disseny de lleva ocupa una tireta. Els «pics» o «valls» representen moments límit d'actuació. Hi ha, també, pendents ascendents o descendents que fan que el moviment de les extremitats sigui més suau o més brusc, i, evidentment, sobre aquest full és on es pot veure la coordinació entre les diferents extremitats. Un cop s'ha dissenyat aquest diagrama, cal anar a construir les lleves, amb els recorreguts que el constructor estimi necessaris. Hem de pensar que en aquest diagrama encara no es parla de recorreguts de lleva (cursa de la lleva), d'això dependrà la gràcia del personatge.



Si ens hi fixem, cada lleva té un centre, que és el de la circumferència mare. També podem apreciar els diferents radis que tenen, depenent dels recorreguts que se'ls ha volgut donar. Per acabar amb aquest element, just a sota del paper, es pot veure el material retallat amb la serra i que, posteriorment, caldrà llimar fins a aconseguir l'exactitud desitjada. La plantilla és només una primera apro-



En aquest cas, es tracta d'un autòmat construït enterament amb llautó i acer, en què es poden veure absolutament tots els mecanismes d'actuació de les extremitats. Les formes sinuoses formen part del disseny del cos, fet expressament com a escultura en moviment.

Ja hem vist, per tant, quina és la base de funcionament dels autòmats antics, des del mecanisme motriu, que fa



FIGURA 20. Detalls del *Maravilloso taller mecánico* (1924), creació dels tècnics del Parc d'Atraccions Tibidabo.
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.

mourer el programa mecànic (automatització), fins a les lleves, i com es dissenyen, passant pels elements de transmissió de moviment (cables de la lleva a les extremitats) i els actuadors de les extremitats.

Si abandonem momentàniament els autòmats, cal dir que el Museu disposa d'una fantàstica col·lecció de maquetes, algunes de creades pels mateixos tècnics del Museu ara ja fa anys, encara que l'autoria d'altres es desconeix.

La figura 19 presenta una de les maquetes més atractives del Museu, per la visió tan real del que era i continua sent un taller de fabricació mecànica, amb totes les màquines més representatives d'aquest ofici: els torns —revòlver i cilíndric—, la fresadora, el trepant, les esmoladores, la mandrinadora, la serra alternativa i la llimadora. També hi trobem la forja i l'equip de soldadura autògena, amb les ampolles de gas per a fer la barreja oxiacetilènica, així com el taller d'ajustatge. Pel que fa a aquesta maqueta, l'autor d'aquest article en recorda el funcionament quan de petit el contemplava als braços de la seva mare. La pregunta que ens hem de fer és: quantes motivacions deu haver despertat aquest Museu al llarg dels anys? Deixo la resposta per a cada lector i lectora.

A la figura 20 es pot observar la màquina de vapor, amb l'enorme volant d'inèrcia, i les màquines fetes de fusta tallada. El grau d'exactitud de les màquines és realment remarcable. El *Maravilloso taller mecánico* va ser construït peça per peça i es va ajustar perquè funcionés gairebé sense fricció, amb els embarrats que transporten el moviment des

de les politges motrius de la màquina de vapor fins a les politges conduïdes de cada màquina. Aquesta va ser una de les maquetes que els mateixos tècnics del Parc van construir en el seu moment, en aquest cas, cap a 1924.

El repte de la conservació: mantenir-los en l'estat més pur possible

Cal dir que des que els autòmats d'aquesta col·lecció es van instal·lar al Museu actual, hi ha hagut diversos equips de treball que han mirat de mantenir-los en el més pur estat original possible. Hem de pensar que algunes d'aquestes peces tenen més de cent anys i ens costaria trobar al nostre voltant màquines que hagin sobreviscut tants anys i segueixin funcionant. Afegim, també, que aquest Museu i, prèviament, aquests personatges i els seus mecanismes han estat instal·lats dins d'un parc d'atraccions que no ha parat mai de rebre públic en els seus cent vint anys d'història. Això suposen moltes hores de funcionament i, per tant, molt de desgast acumulat. Tot un repte per als conservadors!

Aquesta erosió i fatiga mecànica, especialment pel que fa a les peces en fricció, es poden anar recuperant de manera indefinida mecanitzant noves peces en forma d'anells protectors (casquets) o mecanitzant la recuperació del material perdut, a través de soldadures o afegits de material de les mateixes característiques tècniques. Malgrat tot, hi ha peces que ja no s'han pogut recuperar degut al seu de-

teriorament. Per tant, al llarg dels anys, probablement, s'han hagut de canviar algunes de les peces originals per altres de novament mecanitzades. Per això, l'any de la gran restauració dels autòmats i maquetes, així com de la creació del nou Museu, es va decidir incorporar temporitzadors de marxa i aturada a totes les peces. D'aquesta manera, es va començar a preservar el funcionament dels mecanismes, a cuidar-los i a disminuir-ne, així, el temps d'utilització. A més a més, es va aconseguir que el públic assistent al Museu estigués expectant per veure quan els autòmats es tornarien a posar en marxa, cosa que els va donar un valor afegit, que no tindrien si estiguessin en marxa contínuament.

És important destacar la robustesa d'aquests autòmats, que han estat i estan treballant de manera permanent en un parc d'atraccions. Altres autòmats de col·leccions privades, tot i que també es van crear fa cent anys o més, només han funcionat unes quantes desenes de vega-

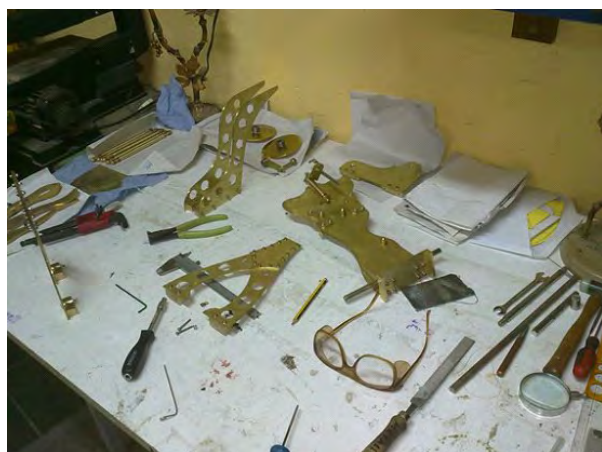


FIGURA 21. Taula de treball en ple procés de construcció de l'autòmat *Forjant una vida*, de Lluís Ribas Duran, amb algunes de les eines emprades. L'autor el va dedicar a la seva filla quan va néixer.
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.



FIGURA 22. Diagrames de llesques, fets en paper, com a plantilla per a retallar les peces de llautó que serviran de llesques. Dibuixos de petits mecanismes i càlculs de recorreguts, de distàncies, de gruixos, etcètera, formen l'univers diari de la construcció i la conservació dels autòmats.
FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.

des al llarg de la seva vida i, per tant, és evident que el desgast d'uns autòmats i dels altres és molt diferent.

Alguns autòmats, com a antiguitats que són, s'han conservat exposats gairebé com a escultures a les cases nobles i aristocràtiques, i no han tingut una vida complicada. Poden passar mesos i anys sense que es posin en marxa, i, encara que després els calgui una posada a punt i una mica de greixatge, els mecanismes no estan malmesos i són perfectament recuperables. Pel que fa als del nostre museu, cal dir que, dins d'aquest espai, hi ha un petit taller que les persones que el van crear (el penúltim mecànic, Màrius Farran) anomenaven *La Milagritos*, ja que la capacitat que van mostrar els tècnics a l'hora de recuperar alguns autòmats, veritablement deteriorats, va ser gairebé miraculosa.

Els dos autòmats que s'han restaurat amb intervencions intenses pel que fa a capes pictòriques, cabells, roba i una part del mecanisme són *Pallasso i granota* i *Els equilibristes*, la darrera restauració dels quals es va portar a terme l'any 2005. Ara, doncs, es va fent una feina de manteniment preventiu per tal que totes les peces del Museu, maquetes incloses, funcionin perfectament, sigui l'època de l'any que sigui, i resistixin l'acció dels milers de visitants anuals que rep el Museu.

El torneigament de peces, especialment de llautó, el fresatge i la construcció de petits engranatges i politges, així com de palanques i suports (construïts, alguns, a mà i ajustats amb una llima), són feines habituals en la conservació d'aquests autòmats. A més, es porta un control estricte de la data en què s'han fet totes les feines, així com del tipus d'intervenció i qui l'ha feta. Sovint, també, cal elaborar plànols de desglossament de les peces que formen part dels conjunts mecànics de què consten els mecanismes dels autòmats. És una manera més d'inventariar peces úniques i arxivar-les per deixar-ne constància de cara als propers anys. A les figures 21 i 22 es mostren dos exemples de la taula de treball durant el procés de disseny i la construcció d'un autòmat.

Però, amb la generació de tecnologia 5G, cap on van els autòmats?

En dècimes de segon ens podem comunicar amb un familiar o conegut als antípodes de la nostra latitud i, pràcticament, en temps real; tenim vehicles elèctrics amb una eficiència energètica impensable per al creador dels automòbils, Gottlieb Daimler, ara fa més de cent trenta anys; disposem a casa nostra de màquines impressores que, malgrat que utilitzen els engranatges per a fer moure els carros de tinta, escriuen a una velocitat vertiginosa... I, així, tants invents com millores que actualment anomenem *noves tecnologies*, algunes de les quals comencen a ser velles per la velocitat a què avança l'enginyeria, acompanyada de la ciència.

A ningú no se li escapa que, malgrat que els autòmats són peces estimades per una gran majoria de públic amb

diferents motivacions, també és cert que estan dotats d'una tecnologia molt antiga que no pot competir de cap manera amb les màquines actuals. No tindria cap sentit fer-ho. Per tant, les preguntes que ens hem de plantejar són: si els autòmats són màquines del passat que encara avui dia encisen tota mena de públic, quina projecció de futur tenen?, com poden encaixar en una societat altament tecnificada i amb una tecnologia que revolucionarà tot el que hem tingut fins ara?

En la meua modesta opinió, els autòmats fa anys que sobreviuen a un passat hereu d'una època en què una màquina simple, com la politja o la rosca, era un avenç importantíssim per a la vida quotidiana. Els autòmats viuen, també, de la nostàlgia per les coses comprensibles i visibles del món. A partir de certa edat, tots podem comprendre com funciona un engranatge o una palanca, si se'ns explica bé. Ho veiem i ens és tangible. Ara bé, passa el mateix amb la tecnologia 5G? Comprenem, la majoria dels consumidors, com funciona aquesta tecnologia? O aquesta comprensió està reservada només per als que l'han creada i la resta en serem mers consumidors?

Els autòmats han anat sobrevivint al mite promogut per les pel·lícules de Steven Spielberg, o a tantes obres de misteri que els han utilitzat per a crear terror, o a la mística de l'androide que ens ha de facilitar la vida i ens ha d'alliberar de les feines més feixugues. Tot això ha estat molt bé, però el cert és que els autòmats «clàssics», els dels museus de tota la vida, tècnicament, no donen per a més des de fa anys.

Malgrat tot, com a persona que fa gairebé trenta anys que em dedico als autòmats, entre altres coses, crec que encara tenen un parell d'escletxes a través de les quals poden continuar estant entre nosaltres: d'una banda, l'art, i de l'altra, la pedagogia tecnològica. Són dues disciplines allunyades, però totes dues tenen un sentit i troben un punt comú quan ens referim a les andròmines que ens ocupen. Vegem-ho.

Els autòmats del passat mostraven, en el seu moment, els avenços tècnics que duïen a terme rellotgers i constructors de màquines mecàniques automàtiques. Aquests feien ballar els autòmats, els feien fer màgia a través dels mecanismes, els feien tocar un instrument... Eren tot de situacions quotidianes amb l'única finalitat d'entretenir. Però quan aquesta mena d'oci ja fa anys que l'han superat les noves màquines electròniques, els autòmats han de buscar un nou camí. A través de l'art es poden crear personatges en moviment amb un discurs de fons, tal com pot oferir la pintura, la fotografia o l'escultura. I, a través d'aquesta darrera especialitat de l'art, no podríem interpretar un autòmat com una escultura que ens vol explicar alguna cosa?

Fixem-nos en *Els germans Gaüs o l'equilibri del món*, que es va crear el 2005 (figura 23). Els germans Gaüs són una família imaginària de funàmbuls que prova d'explicar el precari equilibri social del món a través dels mecanismes que formen un autòmat: grans diferències socials, bosses de marginació, racisme, immigració i violència, com a grans xa-

cres. Però, també, avenços en medicina, enginyeria i qualitat de vida (com a grans accions positives, encara que no per a tothom). Aquest és un tema que es podria representar en una obra de teatre, en una pintura o en una escultura de fang. En canvi, aquí, l'autor fa la seva proposta des de l'ofici que domina.

Per tant, va més enllà de la idea ancestral d'autòmat i passa a ser una escultura artística. Una obra d'art amb un discurs de fons. Mirem, però, quin és aquest discurs.

El nom de *Gaüs* el podem associar a la corba de Gauss (campana de Gauss), que, en general, distribueix les po-

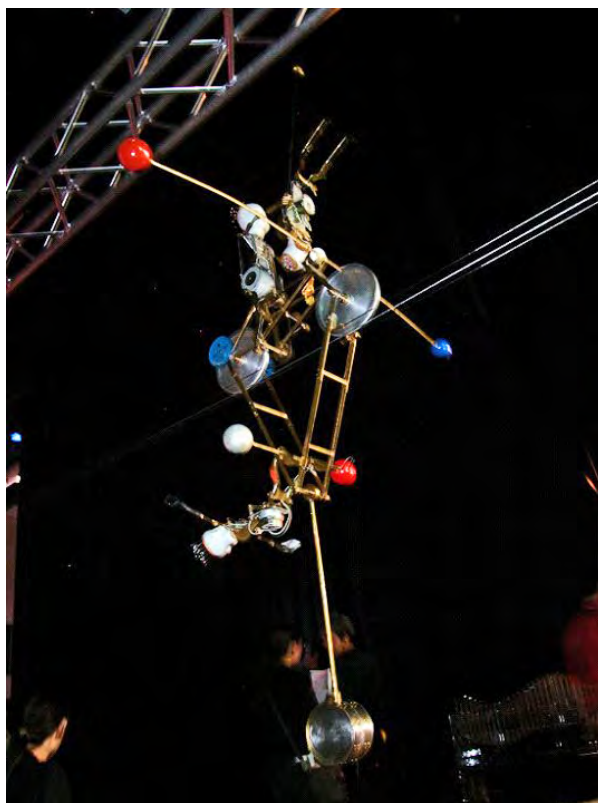


FIGURA 23. *Els germans Gaüs o l'equilibri del món* (2005), de Lluís Ribas Duran.

FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.



FIGURA 24. Detall de l'autòmat *Els germans Gaüs o l'equilibri del món* (2005), de Lluís Ribas Duran.

FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.



FIGURA 25. *Els germans Gaüs o l'equilibri del món* (2005), de Lluís Ribas Duran.

FONT: Arxiu tècnic de Lluís Ribas Duran.

blacions en un grup majoritari i en dos petits grups de població extrems que representen les minories, de vegades amb actituds molt negatives o amb iniciatives molt positives. Fixeu-vos que la musculatura dels tres personatges (figura 24) representa variants d'aquesta funció matemàtica.

Hi ha, però, un gran grup de població que tira el món endavant malgrat les adversitats. És el personatge que pedala amb la bicicleta. De vegades endavant i altres endarrere, però sempre amb continuïtat. És l'èxit i el fracàs.

Hi ha, també, un petit nucli de població que actua de líder de manera positiva. Són les bones iniciatives: la justícia (encara que darrerament és molt interpretable) i la igualtat. Són l'element equilibrador. Aquest es representa amb el personatge del manillar de la bicicleta, que ajuda, així, amb el seu equilibri, a sostenir el món.

Finalment, hi ha l'element desequilibrant (figura 25). El paràsit que sacseja el sistema i les persones. Especula amb allò que pot per treure'n un benefici, sovint econòmic, sense atendre les conseqüències per a la resta. Malgrat tot, està sol i aïllat, per sota del cable. Amagat i covard. Sempre d'incògnit. La bicicleta, però, continua avançant, malgrat l'adversitat i el desequilibri momentani.

Adonem-nos, doncs, que a través de mecanismes es pot crear una escultura mecànica amb un rerefons raonat

prèviament. És l'art cinètic o art en moviment, i, sens dubte, aquest aspecte és contemporani i, per tant, el podem utilitzar eternament sense pensar que els autòmats són figures del passat. Cal pensar en una nova estètica i fer la volta a tot el que representa el classicisme de l'autòmat.

I, finalment, l'altre aspecte que cal considerar és la pedagogia tecnològica. Plantegem-nos, per exemple, què és un *automatisme*. Actualment, i des de fa molts anys, els automatismes formen part de la nostra vida i la nostra quotidianitat. No entendríem que per a rentar la roba o els plats, o per a escalfar aigua, entre moltes altres coses, ens haguéssim d'esperar. Però aquestes meravelloses màquines, que ens han fet la vida més fàcil (no ens oblidem mai de valorar-ho), van tenir un origen tangible: els mecanismes automàtics. A través de lleves i programes mecànics es van fer els primers passos cap a l'automatització de rutines repetitives. Després van arribar les cintes de paper perforat, amb què funcionaven els telers. A continuació, s'hi va afegir l'electrònica, amb vàlvules de buit, i, més endavant, els circuits impresos, els microxips i, així, fins a la tecnologia 5G.

Però, per explicar tot això, per què no fem servir els autòmats i els arbres de lleves, que mouen les palanques i els fils de manera coordinada, cosa que és un veritable automatisme? Aquesta és una altra utilitat dels personatges que ens ocupen. Què són els robots actuals sinó l'evolució d'un autòmat mecànic?

Conclusió

Malgrat que fem un esforç per buscar una utilitat a aquests pobres desamparats que fa tres segles que estan amb nosaltres, haig de dir que, com a constructor d'autòmats, no em suposa pas cap perjudici confessar que, a banda de les peces artístiques, m'apassiona construir autòmats clàssics d'aspecte antic, perquè, a través d'ells, s'ha aconseguit crear un petit espectacle en forma d'exposició itinerant en què s'explica la meravellosa, apassionant i única història dels autòmats.

Agraïments

No voldria pas acabar aquest article sense agrair les valuoses aportacions del company Antoni Hernández-Fernández. Ell mateix va ser qui em va proposar de fer aquest article i, com a boig de la tecnologia del present i del passat que detecto que és, no vaig dubtar a escriure'l. Gràcies, Antoni.

No puc deixar de pensar que també és un bon moment per a dedicar un homenatge a tots aquells i aquelles professors que van introduir, ara fa molts anys, la tecnologia en el món de l'educació. Joan Busquets i Jordi Regalés, entre d'altres, que sempre m'ho van posar fàcil per vincular el Parc d'Atraccions Tibidabo amb el món de l'educació. Van

ser ells qui van confiar en aquest projecte tan estimat que es diu *Ciència, tecnologia i medi ambient a l'entorn del Tibidabo*, quan jo era professor de tecnologia d'educació secundària obligatòria (ESO) al llarg de setze meravellosos anys. Ara continuo fent de professor en cicles formatius i, sense desmerèixer-ho, no és el mateix. Sens dubte, aquells van ser els millors anys de la meua carrera professional en l'educació i, en el moment final, quan s'albiri el nou viatge i no hi hagi temps per a gaire més, serà una de les coses que recordaré. Gràcies a totes i a tots.

Tampoc no em vull oblidar d'algunes persones del Tibidabo. La directora executiva, Rosa Ortiz Gimeno, i qui va ser el cap de l'Àrea de Màrqueting ara fa uns quants anys, Marc Capella. Gràcies a tots dos, el Museu, els autòmats i la vessant pedagògica cap a què va derivar el Parc van fer que aquesta instal·lació més que centenària tingués un valor afegit que ha repercutit directament en les persones visitants i, especialment, en les diferents generacions d'alumnes que hi han passat per aprendre i estudiar tecnologia en un macrolaboratori d'experimentació com és un parc d'atraccions. Rosa Ortiz Gimeno i Marc Capella hi van creure i per a ells és, també, l'homenatge.

I, finalment, a totes les persones que som boges de la tècnica, la tecnologia i la ciència, perquè l'entnem com a única font de coneixement a través de la qual ens podem salvar dels disbarats creats per nosaltres mateixos. A tot aquest professorat que cada dia ha de guiar amb els i les joves, gràcies per haver vingut al Parc d'Atraccions Tibidabo per aprendre, comprendre i riure.

Bibliografia

La major part de llibres d'aquesta petita bibliografia estan descatalogats o són llibres d'autors que han publicat amb autoedició. Per tant, és molt possible que ja no es trobin a la Xarxa.

BAILLY, Christian (1991). *L'âge d'or des automates: 1848-1914*. París: Ars Mundi.

BEDEL, Jean (1987). *Les automates*. París: Jacques Granher.

BONHÔTE, Daniel; BAUD, Frédy; RAUSSER, Fernand (1972). *Au temps des Boîtes à musique: Des origines aux orgues de fête foraine*. Vevey: Mondo.

CORREDOR MATHEOS, José (1982). *Museo de autómatas*. Barcelona: Tibidabo.

TROQUET, Daniel (1989). *Au pays des boîtes à musique et des automates*. Sainte-Croix: Éditions du Cochet.

WEISS-STAUFFACHER, Heinrich; BRUHIN, Rudolf (1976). *Automates et instruments de musique mécaniques*. Friburg: Office du Livre.

Hi ha a la Xarxa multitud de pàgines web que parlen d'autòmats. Són constructors privats, petites empreses de construcció artesanal o pàgines que tracten sobre autòmats antics. No s'ha de caure en l'error de buscar aquests tipus de pàgines a través de les paraules *autòmats* o *autómatas*, ja que el més probable és que apareguin empreses fabricants d'autòmats programables industrials. El més recomanable és introduir conceptes com ara *autòmats artístics*, *autòmats antics* o referències similars.

L'EDIFICI DE COHABITATGE CIRERERS, UN EXERCICI D'ECOLOGIA COMUNITÀRIA

David Fernández Gutiérrez,¹ Diego Carrillo Messa² i Jorge Blasco Miguel³

1. Enginyer industrial de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Celobert Cooperativa. david@celobert.coop

2. Arquitecte de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Celobert Cooperativa.

3. Arquitecte diplomad universitari de postgrau en arquitectura legal i forense i membre de l'Associació de Consultors d'Estructures

Resum: El projecte de l'edifici Cirerers inicia a principis del 2020 la construcció de trenta-dos habitatges i espais comunitaris. Durant dos anys intensos de treball col·lectiu amb les futures unitats de convivència que hi viuran s'ha definit el projecte arquitectònic i l'encaix del model de convivència.

L'edifici se situa a la plaça de les Dones de Nou Barris, al barri de Roquetes. Amb vuit plantes, és l'immoble més alt de l'Estat construït amb fusta. L'edifici serà passiu, perquè tindrà una demanda energètica mínima pel que fa a la climatització i a la producció d'aigua calenta, i serà ecològic, perquè s'utilitzaran materials preferentment orgànics amb una petjada ecològica mínima.

Paraules clau: cohabitatge, comunitat, energia, ecologia, fusta, arquitectura.

THE CIRERERS COHOUSING BUILDING, AN EXERCISE IN COMMUNITY ECOLOGY

Abstract: The Cirerers building project began in early 2020 with the construction of its 32 apartments and community spaces. During two intense years of joint work with the future inhabitants, the architectural project and the fit of the coexistence model have been defined.

The building is located at Les Dones de Nou Barris Square in Barcelona's Roquetes neighborhood. With its eight floors, it is Spain's tallest wooden building. This will be a passive structure because it will have a minimum energy demand in terms of air conditioning and hot water production, and it will be environmentally friendly because organic materials with a minimum ecological footprint will preferably be used.

Keywords: cohousing, community, energy, ecology, wood, architecture.

1. Introducció

Aquest 2021 s'acabaran les obres de l'edifici Cirerers, un immoble de cohabitatge per a trenta-dues unitats de convivència, dissenyat amb estàndards Passivhaus (en català, 'casa passiva'; estàndard de construcció d'edificis energèticament eficients) i que serà la construcció de fusta més alta de l'Estat.

És un projecte innovador, principalment, per tres aspectes:

1. Per la tipologia arquitectònica de cohabitatge, resultat d'un procés de codisseny i cogestió.
2. Per la baixa demanda energètica, ja que segueix l'estàndard Passivhaus.
3. Per l'ús de materials ecològics, en particular, l'estructura de fusta.

2. Tipologia arquitectònica de cohabitatge i procés de codisseny

Un edifici de cohabitatge té dues particularitats clau a l'hora de plantejar-ne el disseny arquitectònic:

1. És un projecte que parteix d'una lògica comunitària, que va més enllà de satisfer només les necessitats individuals d'habitatge. Aquesta dimensió comunitària requereix uns espais específics, més enllà de l'espai privat (el «pis») i dels espais comuns de circulació.

2. Les futures habitants de l'edifici participen en el procés de disseny des de l'inici del projecte fins al final de l'obra. I l'equip tècnic té la responsabilitat de facilitar que el grup prengui les decisions de manera adequada a mesura que avança el procés.

Ambdós aspectes no segueixen els estàndards habituals i requereixen un seguit d'habilitats que els equips tècnics tenim la responsabilitat d'adquirir.

El projecte «Cirerers» sorgeix en el marc d'un concurs de solars per a cohabitatge que publica l'Ajuntament de Barcelona l'any 2016. La cooperativa d'habitatges Sostre Cívic encarrega a Celobert Cooperativa l'acompanyament per a l'elaboració de la proposta arquitectònica, que, finalment, és la guanyadora del concurs. La figura 1 mostra una representació gràfica inclosa en la documentació presentada al concurs.



FIGURA 1. Imatge en 3D de l'edifici Cirerers en fase de concurs (2017).
FONT: Celobert Cooperativa.



FIGURA 2. Emplaçament de l'edifici.
FONT: Celobert Cooperativa.

El projecte «Cirerers» és un edifici comunitari de vuit plantes d'alçària (planta baixa més set pisos), que, un cop finalitzades les obres, allotjarà trenta-dues unitats de convivència. Un total de 2.700 m², construïts en un solar públic de 430 m². L'arquitectura d'aquest edifici respon a una aposta col·lectiva amb uns principis i valors que són fruit d'un procés participatiu entre les futures usuàries i l'equip tècnic del projecte.

Es planteja un projecte que no tan sols ha de donar resposta a les necessitats de les usuàries, sinó que també ha d'aportar valor a l'entorn urbà que l'envolta. D'altra banda, es combinen espais col·lectius amb espais privatis, de manera que la casa és tot l'edifici, amb l'objectiu de fer comunitat. Aquests dos compromisos amb la ciutat i amb la comunitat, així com els ajustaments necessaris que s'han hagut de fer per assegurar la viabilitat econòmica del projecte, s'expliquen de manera més detallada en els apartats següents.

2.1. L'aportació al barri i al territori

L'edifici com a tal, a part dels valors associats al fet de ser un edifici de cohabitatge, es concep des d'una lògica d'aportació social, ambiental i urbanística al territori, principalment, a través de:

1. Aportar habitatge social i de protecció oficial al barri, en un sòl públic i de promoció cooperativa, seguint el model de cessió d'ús, cosa que en garanteix l'ús social al llarg de les generacions futures.
2. Plantejar un edifici 100% compromès amb el medi ambient i amb la lluita contra el canvi climàtic, mitjançant tres estratègies que es desenvolupen més a fons més endavant en aquest article:
 - Una demanda energètica molt baixa.
 - Una petjada ecològica mínima.
 - Instal·lacions renovables i eficients.
3. Proposar una solució de projecte arquitectònic amb vocació de projecte urbà, basat en la idea de fer de ròtula entre teixits urbans.



FIGURA 3. La façana sud-oest de l'edifici i l'entorn urbà directament relacionat.
FONT: Celobert Cooperativa.

Pel que fa a aquest darrer punt, el projecte es planteja com una peça urbana, indicada de color taronja a la figura 2, que facilita l'articulació entre un teixit de casa familiar entre mitgeres de planta baixa més dos pisos, situat a l'oest de la parcel·la —a l'esquerra de la figura 2—, i un teixit d'edifici massiu de planta baixa més cinc pisos i amb un llenguatge més contemporani, situat a l'est —a la dreta de la figura 2.

D'altra banda, i amb el mateix objectiu d'integració paisatgística, el projecte vetlla per mantenir la silueta urbana de planta baixa més dos pisos que domina tota la façana del carrer del Pla dels Cirerers i resol les cinc plantes que té per sobre sense cap mitgera vista i a través d'un esglaonament que s'adapta a la topografia del terreny, tal com mostra la figura 3.

2.2. La casa és tot l'edifici: espais col·lectius versus espais privatis

Els espais que estructuren un edifici de cohabitatge són els espais col·lectius i d'ús comunitari. Aquest són els que donen sentit i identitat al projecte social, i esdevenen l'element central del procés de codisseny arquitectònic. En el

cas del projecte «Cirerers» es plantegen quatre tipus d'espais, que es defineixen pel grau d'obertura i de vincle amb allò comunitari.

2.2.1. Espais oberts al barri: taller escola de cuina i restauració

La part de la planta baixa de l'edifici més oberta a la plaça i al carrer se situa a la cantonada sud-est de l'edifici. En aquests espais, el col·lectiu hi ha decidit allotjar un taller escola de cuina i restauració destinat a la formació de dones del barri. La comunitat aposta, així, per vincular la comunitat amb les necessitats del barri i per oferir noves oportunitats d'orientació laboral.

2.2.2. Espais d'ús comunitari

Els espais restants de planta baixa es destinen de manera íntegra a usos compartits de la comunitat, formada per les trenta-dues unitats de convivència. Els usos que la comunitat ha decidit donar a aquests espais són els que es representen a la figura 4:

- Aparcament de bicicletes. S'aposta per un vestíbul d'entrada de dimensions àmplies per a allotjar-hi bicicletes i que sigui distribuïdor d'accés a les diferents estances de la planta baixa.

- Taller i magatzem de reparació. Local de la planta baixa destinat a l'emmagatzematge i a taller d'eines i de bricolatge, i amb accés directe des del carrer del Pla dels Cirerers.

- Espai de treball i biblioteca. Espai situat a la part interior de la planta baixa, oberta cap al pati d'illa, amb la funció d'esdevenir espai de silenci, de cotreball i d'estudi.

- Sala polivalent i d'usos múltiples, situada també a la planta baixa i amb accés directe des de la plaça de les

Dones de Nou Barris. Es planteja com una zona de la comunitat oberta a l'espai públic de la plaça i facilitadora de llocs de relació amb l'exterior.

- Espais exteriors comunitaris situats a les cobertes de les plantes tercera, sisena i setena, destinats a usos polivalents, com ara activitats lúdiques (planta tercera), menjador comunitari a l'aire lliure (planta sisena) i l'hort (planta setena).

2.2.3. Espais intermedis d'ús col·lectiu: els carrers replà

El projecte preveu un tipus d'espai col·lectiu intermedi, que no és ni 100 % privat, ni 100 % comunitari. És un espai exterior cobert d'uns 40 m² situat a cada planta i que hem anomenat *carrer replà*: des d'aquí s'accedeix als habitatges i l'espai esdevé una sala compartida per les veïnes de cada replà. Aquestes àrees, que tenen vocació d'espais d'expansió dels habitatges i de relació entre les veïnes, allotjaran la zona de bugaderia compartida de cada planta, amb rentadora i estenedor.

2.2.4. Espais d'ús privat: els habitatges

Finalment, arribem als trenta-dos espais d'ús privat: els habitatges. Aquests espais són els d'ús exclusiu per a cada unitat de convivència. Més de dos terços d'aquests habitatges estan plantejats com a *loft* i tenen una superfície de 40 m², que és el mínim que estableix la normativa vigent.

A part, però, tots els habitatges disposen de 40 m² més de carrer replà, de més de 180 m² d'ús comunitari a la planta baixa i de més de 170 m² de coberta exterior, també comunitària.

És per això que la casa és tot l'edifici i no tan sols l'habitatge privat.

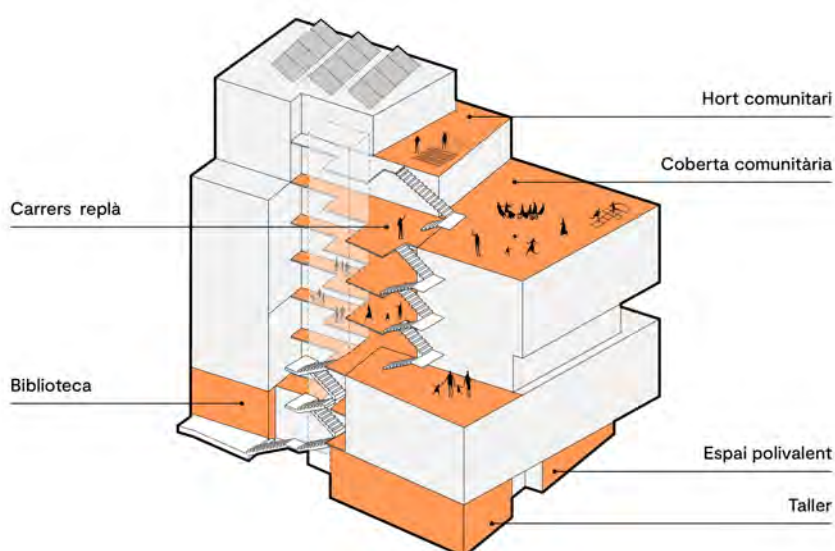


FIGURA 4. Axonometria de l'edifici que n'indica els usos principals.
FONT: Celobert Cooperativa.

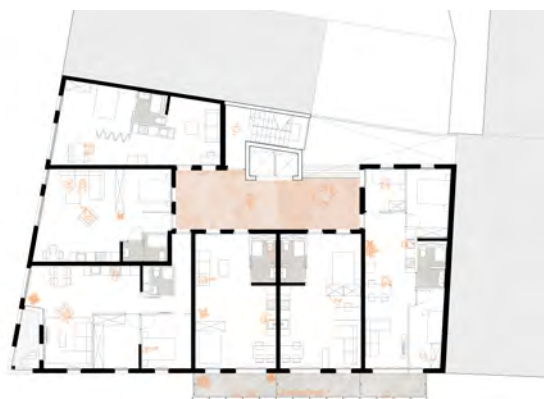


FIGURA 5. Dibuix en planta dels pisos primer i segon de l'edifici.
FONT: Celobert Cooperativa.

A la figura 5 es mostra el cas de les plantes primera i segona, on la zona taronja correspon al carrer replà i les àrees delimitades per la línia negra gruixuda, als sis habitatges de la planta.

2.3. Ajustaments necessaris per a la viabilitat econòmica del projecte

Des del concurs d'idees del 2016 fins al projecte finalment executat el 2021, s'han pres unes quantes decisions estratègiques orientades a fer els habitatges més assequibles des del punt de vista econòmic.

Inicialment, el projecte del concurs preveia vint-i-set habitatges, distribuïts en sis plantes, 170 m² d'espais comunitaris, 270 m² de locals per al barri a la planta baixa i un soterrani destinat a aparcament. El pressupost d'execució de materials (PEM) del projecte se situava per sobre dels 3,3 milions d'euros i calia reduir-lo mig milió d'euros.

Les mesures que el grup d'usuàries va prendre per aconseguir l'objectiu van ser:

2.3.1. Eliminar la planta soterrani d'aparcament

En un inici, el grup va decidir fer una planta soterrani per aparcar-hi vehicles; el sobrecost de fer l'aparcament estava justificat i s'estimava assumible. Un cop valorat l'estudi geotècnic i els sobrecostos reals de l'execució del projecte, el grup va decidir renunciar a l'aparcament soterrat, cosa que va permetre reduir uns 0,2 milions d'euros les despeses del projecte.

2.3.2. Optimitzar i simplificar el sistema constructiu

El segon paquet de mesures s'associa a optimitzar i simplificar les solucions constructives inicialment plantejades, la qual cosa va suposar una reducció de costos d'uns 0,3 milions d'euros:

- Es va reduir la complexitat del projecte des d'un punt de vista estructural, de manera que es van minimitzar els elements d'estructura metàl·lica. El grup va decidir preservar l'estructura principal de fusta pel compromís amb l'ecologia, malgrat que hi havia solucions més econòmiques, tal com s'explicarà més endavant.

- Es va simplificar la solució constructiva de les façanes exteriors i de l'ascensor, i es va optar per solucions més econòmiques, però amb les mateixes característiques d'aïllament tèrmic. Es va substituir la fibra de fusta per la llana de roca i un mur cortina amb sistema d'aïllament tèrmic exterior (SATE).

- Es van simplificar molt les proteccions solars, de manera que es van eliminar les que no eren imprescindibles i es van substituir les persianes orientables i motoritzades per persianes alacantines d'accionament manual.

- Es van simplificar els acabats dels interiors, tant dels habitatges com dels espais comunitaris, i es va prescindir d'allò que no era necessari i que pogués ser incorporat o millorat posteriorment.

2.3.3. Augmentar el nombre d'habitatges de vint-i-set unitats de convivència a trenta-dues

La tercera mesura presa fou augmentar el nombre d'habitatges de vint-i-set unitats de convivència a trenta-dues, per tal de repartir les despeses globals entre més unitats de convivència i, alhora, allotjar més persones demandants d'habitatge protegit. Les decisions associades a aquesta mesura que el grup va haver de prendre van ser les següents:

- Reduir la superfície interior mitjana dels espais d'ús privatiu (habitatges), partint de la lògica que els espais comunitaris i col·lectius també formen part de l'habitatge i examinen el que és estrictament la part d'ús privatiu.

- Canviar la ubicació dels espais d'ús comunitari i desplaçar-los a la planta baixa. D'aquesta manera, s'allibera superfície a les plantes superiors per ubicar-hi habitatges i s'aposta per uns espais d'ús comunitari més relacionats amb el carrer, la plaça i el barri. Els espais de carrer replà sí que es mantenen, ja que tenen una lògica associada a cadascuna de les plantes i no al conjunt de la cooperativa.

- Reduir la superfície dels locals de planta baixa per tal d'ubicar-hi els espais d'ús comunitari, prèviament situats a les plantes superiors. Aquest canvi implica que s'ofereix al barri un espai de menys dimensions, però la cooperativa s'exposa menys al risc econòmic davant l'eventualitat de no trobar persones llogateres.

Aquestes tres mesures es plantegen com una estratègia que pot ser temporal, només dels primers anys de vida de l'edifici, que són els més difícils de sostenir des d'un punt de vista financer. Més endavant, es podrien reconvertir espais privatis en espais comunitaris i alliberar de nou espai de planta baixa per a altres usos comunitaris i/o oberts al barri.

3. Un edifici d'habitatges sostenible: baixa demanda energètica, seguint l'estàndard Passivhaus

Un dels principals valors del projecte és el compromís amb el medi ambient. L'edifici Cirerers fa front a la lluita contra el canvi climàtic mitjançant diferents estratègies, que el converteixen en un edifici bastant diferent respecte del que s'acostuma a fer en la construcció tradicional. L'estratègia principal respon a la premissa que la millor energia, en termes mediambientals, és la que no es consumeix.

Per tal que un edifici tingui una demanda energètica molt baixa ha d'estar pensat de manera que necessiti el mínim d'energia suplementària per tenir confort tèrmic durant tot l'any. És l'arquitectura de l'edifici (la forma, les obertures i la construcció) la que ho determina.

L'edifici Cirerers s'ha dissenyat per assolir un nivell d'eficiència de casa passiva, o edifici de consum d'energia gairebé zero (nZEB, de l'anglès *nearly zero energy building*), que va més enllà del que exigeix la normativa d'estalvi energètic, i segueix els criteris de construcció en què es basa l'estàndard Passivhaus (l'estàndard d'origen alemany d'optimització energètica per a la construcció d'edificis). En comparació de la normativa actual, que és la més exigent aplicada fins ara en edificis de nova construcció al territori espanyol en termes d'eficiència energètica, s'assoleix

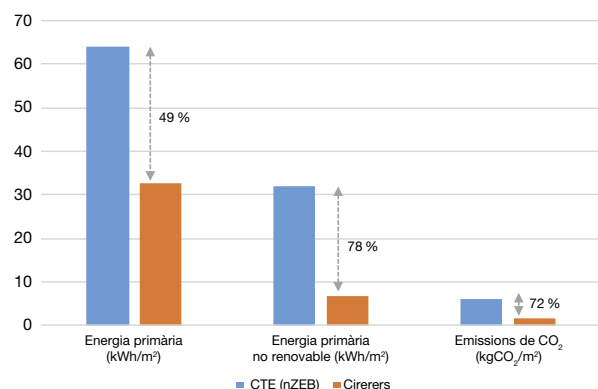


FIGURA 6. Comparativa energètica entre el consum de l'edifici Cirerers i els valors que estableix el codi tècnic de l'edificació (CTE) per a edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB).
FONT: Celobert Cooperativa.



Figura 7. Secció esquemàtica de l'edifici amb aspectes clau de sostenibilitat.
FONT: Celobert Cooperativa.

un estalvi de fins al 72% de les emissions de diòxid de carboni (CO₂), tal com mostra el gràfic de la figura 6.

En els apartats següents s'expliquen els aspectes clau que s'han aplicat per aconseguir reduir les demandes energètiques de calefacció i refrigeració, i d'aigua calenta sanitària (ACS), que bàsicament són quatre, representats de manera simbòlica a la figura 7:

1. Minimitzar i aïllar bé l'envolupant de l'edifici.
2. Reduir les infiltracions d'aire amb un alt nivell d'estanquitat.
3. Tenir elements de control solar i ventilació natural.
4. Disposar d'instal·lacions eficients que aprofitin energies renovables.

3.1. Compacitat i aïllament

El disseny de l'edifici ha tingut en compte que el volum habitable que s'ha de climatitzar tingui el mínim de superfície en contacte amb l'exterior (l'anomenada *compacitat de l'edifici*, representada gràficament a la figura 8). La relació de compacitat favorable, resultat de dividir l'àrea total de l'envolupant entre el volum interior (A/V), ha de ser menor o igual que 0,7 m²/m³. En el cas de l'edifici Cirerers, de set plantes, hi ha una compacitat de 0,46 m²/m³.

D'altra banda, aquesta envolupant ha de tenir un bon aïllament tèrmic. Seguint criteris de confort tèrmic molt alt, és a dir, temperatures interiors d'entre 20 °C i 25 °C, amb demandes tèrmiques properes a 15 kWh/(m² any), s'ha arribat a la composició de les façanes i dels sostres en contacte amb l'exterior que es descriu a la taula 1.

TAULA 1
Característiques dels aïllaments de l'envolupant de l'edifici

	Gruix de la fusta laminada encreuada (CLT) (mm)	Gruix de la llana de roca (mm)
Façanes exteriors	120-160	80-120
Sostres en contacte amb l'exterior	180-220	180-225

FONT: Celobert Cooperativa.

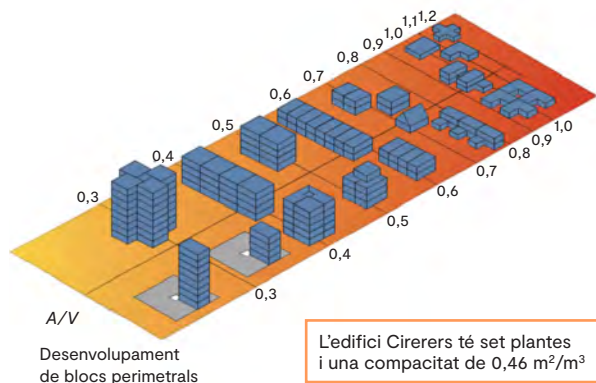


FIGURA 8. Gràfic explicatiu de la relació de compacitat (A/V).
FONT: International Passive House Association, adaptat per Celobert Cooperativa.

A la taula 2 es mostra un càlcul comparatiu d'un dels murs de l'edifici amb una façana equivalent en què, en lloc de fusta, s'utilitzen maons ceràmics, tenint en compte totes les capes de materials segons els gruixos i la conductivitat tèrmica: λ [W/(mK)]. La conductivitat tèrmica és una propietat física dels materials que mesura la capacitat de conducció de calor i és un dels tres mètodes de transferència de calor; els altres dos són la convecció i la radiació. Com més gran sigui la conductivitat tèrmica d'un material, més bon conductor de calor serà. Com més petita, el material serà més aïllant. Podem veure quin gruix d'aïllament caldria en aquest segon cas per arribar al mateix nivell d'aïllament, és a dir, al mateix valor de transmissió tèrmica: U [W/(m²K)]. La transmissió tèrmica és la mesura de la calor que flueix per unitat de temps i superfície a través d'un sistema constructiu, format per una capa de mate-

rial o més, de cares planes i paral·leles, quan hi ha un gradient tèrmic d'1 °C (o 1 °K) de temperatura entre els dos ambients que separa.

Per tant, emprant materials com ara la fusta, amb propietats aïllants per a fer tancaments i estructura, aconseguim millorar l'aïllament de l'edifici i reduir la necessitat d'afegir-hi altres elements aïllants. En el cas analitzat a les taules anteriors, es veu un estalvi de gruix d'aïllament de 33 mm, que, en termes econòmics, tenint en compte tota la superfície d'envolupant de l'edifici, equivaldria a un estalvi de vint-i-un mil euros.

3.2. Alt nivell d'estanquitat

L'edifici Cirerers s'ha dissenyat per tal que els habitatges arribin a un nivell d'estanquitat molt alt, tenint una cura especial de l'anomenada *línia d'estanquitat*, que implica que tota l'envolupant disposa d'una solució que evita les infiltracions d'aire no desitjades. Es preveu arribar a un valor d'estanquitat alt, segons els valors indicats a la taula 3 sobre la taxa d'infiltració n50, que indica les renovacions/hora a una diferència de pressió de 50 Pa, un valor que equival, aproximadament, a una velocitat del vent de 30 km/h. Concretament, en el cas de l'edifici Cirerers, s'espera arribar a un nivell d'estanquitat per sota d'1,7 renovacions/hora a una diferència de pressió de 50 Pa ($n50 \leq 1,7$ renovacions/h). També s'ha previst que les cuines puguin fer servir dos sistemes d'extracció de fums diferents:

- El de recirculació (més eficient i estanc, perquè no expulsarà l'aire a l'exterior), amb campana extractora amb filtres de carboni o de plasma. Aquest és el que funcionarà per defecte.

- El d'extracció (el que és obligatori per normativa), mitjançant la campana convencional, que expulsarà fums a l'exterior, amb la pèrdua d'estanquitat consegüent.

3.3. Elements de control solar i ventilació natural

La geometria de l'edifici, les dimensions i la posició de les obertures de les façanes han estat dissenyades per protegir l'edifici de les entrades de sol a l'estiu i per aprofitar-les a l'hivern, i així afavorir l'entrada de llum natural i minimitzar les pèrdues tèrmiques.

TAULA 3
Valors n50 (1/h) per als diferents nivells d'estanquitat

Nivell d'estanquitat de l'edifici	Edifici unifamiliar	Edifici plurifamiliar o terciari
Alt	Inferior a 4	Inferior a 2
Mitjà	De 4 a 10	De 2 a 5
Baix	Superior a 10	Superior a 5

FONT: Celobert Cooperativa, adaptat de l'annex F de l'estàndard prEN ISO 13790:1999.

TAULA 2

Càlcul comparatiu de transmissió tèrmica d'una solució constructiva de façana amb fusta i amb maó ceràmic

FUSTA				
Material	λ [W/(mK)]	Gruix [mm]	R [(m²K)/W]	U [W/(m²K)]
Resistència superficial interior (R_{si})			0,130	
Morter de calç	0,400	10	0,025	
Aïllament	0,040	40	1,000	
Tauler d'encenalls orientats (OSB)	0,130	15	0,115	
Aïllament	0,070	80	1,143	
Fusta CLT	0,130	140	1,077	
Resistència superficial exterior (R_{se})			0,040	
TOTAL estat inicial		285	3,530	0,28

MAÓ CERÀMIC				
Material	λ [W/(mK)]	Gruix [mm]	R [(m²K)/W]	U [W/(m²K)]
Resistència superficial interior (R_{si})			0,130	
Morter de calç	0,400	10	0,025	
Aïllament	0,040	40	1,000	
Tauler d'encenalls orientats (OSB)	0,130	15	0,115	
Aïllament	0,070	80	1,143	
Maó ceràmic	0,667	135	0,202	
Guix	0,250	15	0,060	
Resistència superficial exterior (R_{se})			0,040	
TOTAL estat inicial		295	2,716	0,37

Capes extres de la intervenció:				
Aïllament EXTRA	0,040	33	0,825	

TOTAL amb aïllament extra		328	3,541	0,28
----------------------------------	--	-----	-------	-------------

FONT: Celobert Cooperativa.

Els elements de voladís, com ara els balcons de les façanes sud i est, i la posició de les persianes alacantines exteriors són fonamentals per a controlar la radiació solar i s'han dissenyat sobre la base de la simulació d'ombres de tota l'envolupant.

Adicionalment, la disposició d'obertures en bandes oposades dins de cada habitatge permet una ventilació natural correcta, així com aprofitar aquesta estratègia per a regular tèrmicament l'habitatge.

3.4. Instal·lacions eficients aprofitant energies renovables

Tots els edificis necessiten energia per a escalfar l'aigua, cuinar, il·luminar, fer ús d'electrodomèstics i ventiladors, i, en alguns casos, també per a millorar el confort del clima interior. Les instal·lacions que aporten aquest confort han de ser el màxim d'eficients i prioritzar l'ús d'energies renovables.

En el cas de l'edifici Cirerers s'han dut terme les instal·lacions següents.

3.4.1. Ventilació mecànica controlada dels habitatges

A més de ventilació natural, tots els habitatges disposen d'un sistema de ventilació mecànica controlada (VMC). Aquest sistema permet renovar, de manera constant, l'aire



FIGURA 9. Esquema d'instal·lació de la climatització aprofitant la VMC, a través d'una bateria de tractament de l'aire connectada al sistema centralitzat d'energia aerotèrmica per a produir fred i calor.

FONT: Celobert Cooperativa.



FIGURA 10. Comparativa entre l'energia necessària per a cobrir la demanda d'ACS del sistema centralitzat d'energia aerotèrmica de l'edifici Cirerers i un sistema estàndard d'energia solar tèrmica amb caldera.

FONT: Celobert Cooperativa.

de totes les estances dels habitatges, cosa que minimitza les pèrdues tèrmiques i evita que s'hagin d'obrir les finestres. La figura 9 representa els elements que configuren el sistema.

Un recuperador de calor (1) aprofita l'energia tèrmica de l'aire abans que sigui expulsat per a renovar-se. Els ventiladors del recuperador mouen l'aire en dos sentits diferents: un, per extreure l'aire humit i amb males olors cap a l'exterior, i l'altre, per deixar-ne entrar de nou prèviament filtrat i temperat.

Per treure el màxim rendiment d'aquest sistema de ventilació, s'incorpora una bateria (2) al recuperador de cada habitatge, que permet augmentar o reduir la temperatura d'aquest aire, aprofitant el sistema centralitzat d'energia aerotèrmica descrit a continuació.

3.4.2. Sistema centralitzat d'energia aerotèrmica per a produir fred i calor

La producció de fred i calor de tot l'edifici es fa mitjançant l'anomenada *energia aerotèrmica*: amb unes bombes de calor d'alt rendiment i amb uns acumuladors centralitzats, on s'emmagatzema l'energia en forma d'aigua escalfada o refredada. Tot aquest sistema se situa a la coberta de la planta setena de l'edifici. Hi ha tres acumuladors, cadascun dels quals té la funció següent:

- Emmagatzemar l'ACS que es distribueix per canonades a tots els punts de consum dels habitatges.
- Fer el tractament antilegionel·la de l'ACS (acumulador més petit).
- Emmagatzemar aigua freda o calenta, que serveix per a refrigerar (a l'estiu) o calefactar (a l'hivern) l'aire del sistema de ventilació dels habitatges, a través de les bateries descrites en el punt anterior.

3.4.3. Energia solar fotovoltaica per a produir electricitat

A la coberta de la planta setena també es disposa de zones de captació solar per a produir electricitat per a l'autoconsum, amb un camp de plaques fotovoltaïques d'uns 8 kWp.

La combinació del sistema centralitzat d'energia aerotèrmica amb el sistema fotovoltaic permet reduir d'un 47% el consum d'energia primària no renovable per a generar tota l'ACS de l'edifici, o bé un 61% les emissions de CO₂, en comparació amb un sistema estàndard d'energia solar tèrmica amb calderes de gas convencionals, tal com mostra la figura 10.

4. Ús de materials ecològics, en particular, l'estructura de fusta

Que un edifici tingui la mínima petjada ecològica vol dir que està pensat per tal que el cost ambiental del procés



Fusta laminada encreuada



Mortor de calç



Plaques de guix laminat



Llana de roca



Construcció en sec

FIGURA 11. Principals materials emprats.
FONT: Celobert Cooperativa.

constructiu de l'edifici sigui mínim. Per a aconseguir-ho, cal construir, preferentment, amb materials naturals o reciclats, o que requereixin una energia mínima per a la seva fabricació i transport. La posada en obra ha de minimitzar els residus i les emissions de CO₂, i també s'ha de preveure un reciclatge orientat al cost energètic i ambiental mínim en el moment en què el material quedi obsolet.

4.1. Materials ecològics emprats

En el cas de l'edifici Cirerers, els principals materials constructius utilitzats són els que es representen a la figura 11 i que s'expliquen a continuació.

4.1.1. Fusta laminada encreuada

La fusta laminada encreuada (CLT, de l'anglès *cross-laminated timber*), en aquest cas, prové d'Àustria i s'aplica a l'estructura i als tancaments de façana de tot l'edifici per sobre de la planta baixa. Tal com descrivim extensament més endavant, té com a principals virtuts ambientals:

- Absorbeix el CO₂ atmosfèric que creix a la natura i, per tant, esdevé pila de carboni.
- És fàcilment reutilitzable i reciclable.
- El volum de residus del procés constructiu és pràcticament inexistent.
- Per la seva baixa densitat, contribueix a l'aïllament tèrmic de l'envolupant.
- Permet reduir el pes global de l'edifici i, consegüentment, el formigó de la fonamentació.

4.1.2. Mortor de calç

El mortor de calç s'utilitza com a revestiment exterior de totes les façanes. És un revestiment natural tradicional que té els avantatges ambientals següents:

- És biodegradable, gràcies a la cocció a baixa temperatura, i és íntegrament natural.
- És transpirable i facilita l'equilibri higroscòpic entre interior i exterior.
- És reciclable, per la facilitat de retirar-lo del suport, i genera uns residus mínims.

4.1.3. Plaques de guix laminat

Les plaques de guix laminat s'utilitzen com a revestiment acústic entre els habitatges i per a les divisòries interiors. Són un material compost per guix i fibra de cel·lulosa, obtinguda del reciclatge de paper, no porten cap altre aglutinant ni producte químic, i es col·loquen en sec.

4.1.4. Llana de roca

La llana de roca s'utilitza com a aïllament tèrmic i acústic a tot l'edifici, ja que permet aïllar els tancaments interiors i exteriors. És un material d'origen natural i reciclable. En el cas de l'edifici Cirerers hauria estat preferible substituir-la per fibra de fusta, que no necessita tanta energia per a la fabricació, però té un cost més elevat i, tal com ja s'ha dit, aquest material es va descartar en una de les simplificacions adoptades per reduir costos.

4.1.5. Construcció en sec

Per sobre de la planta baixa, tot l'edifici està construït mitjançant tècniques en sec, que consisteixen a construir sense aglomerants humits (morters, formigons, guixos), a excepció del revestiment exterior de mortor de calç i els enrajolats interiors dels banys (que estan fixats amb ciment cola). Des d'un punt de vista ambiental, això permet:

- Reduir de manera considerable el volum de residus.
- Facilitar el desmuntatge, el reciclatge i la reutilització dels materials.

4.2. Estructura de l'edifici

L'estructura de l'edifici Cirerers està formada per:

- Formigó armat a la fonamentació, a la planta baixa, al nucli de l'ascensor i a l'escala fins a la tercera planta.
- Acer als pilars i als tornapunts dels balcons i les escales d'accés de la tercera planta a la setena planta.
- Pareds i forjats de fusta laminada encreuada, d'origen austríac, a la resta de l'edifici per sobre de la planta baixa.

Els condicionants que han afegit el valor necessari a l'estructura de fusta pel que fa a l'ús d'aquest material en aquesta promoció són els següents:

- Cost global d'execució del material d'obra.
- Sostenibilitat.
- Característiques de la fusta, com ara l'aïllament tèrmic, el baix pes, la sinergia amb altres elements d'aïllament acústic i el bon comportament davant el foc.
- Millores de les qualitats mecàniques de la fusta laminada encreuada.

4.2.1. Cost d'execució del material d'obra

En les primeres versions del projecte, l'estructura de l'edifici era uns 450.000 euros més costosa del que seria si fos de formigó armat i amb tancaments ceràmics (vegeu la figura 12). Aquesta xifra resultava excessiva i poc justificable, i es van prendre un seguit de mesures orientades a simplificar i a optimitzar l'estructura de fusta, que, bàsicament, van consistir a:

- Reduir al màxim els elements metàl·lics de l'estructura i substituir-los per altres de fusta, atenent a l'alt cost de les estructures mixtes i de les pintures intumescent. Es van modificar els balcons, els carrers replà i el nucli d'ascensors, en què es va canviar el metall per fusta. Així, es va aconseguir un estalvi de 216.821 euros.

- Suprimir la planta soterrani i renunciar a l'aparcament. Amb això es va aconseguir una reducció de 161.641 euros.

Amb aquestes modificacions, el projecte sí que va passar a ser econòmicament viable i es va mantenir l'opció de fer l'estructura totalment de fusta (vegeu la figura 13).



FIGURA 12. Model de CYPECAD per a simular l'estructura de formigó.
FONT: Estudi M103, SLP.

4.2.2. Sostenibilitat

La fusta és més sostenible que el formigó i l'acer.

La producció de formigó i d'acer són summament perjudicials per al medi ambient. La producció de ciment per si mateixa, un ingredient clau del formigó, és responsable, aproximadament, del 8 % de les emissions de carboni del món, més que qualsevol altre país que no sigui la Xina o els Estats Units. I la demanda de sorra, un altre ingredient clau, és insostenible i devastadora per als ecosistemes.

El propòsit d'una construcció sostenible no és l'obra, sinó crear un ambient saludable, adaptable i segur per als habitants. Tal com defensa Frane Zilic Montanari, docent de la Universitat Concepción, per a ser efectiva, la construcció sostenible ha de considerar l'impacte en el medi social, ambiental i econòmic, al llarg de tot el cicle de vida de l'edificació, des de la matèria primera (l'arbre) fins al reciclatge (vegeu la figura 14).

Entre el formigó, l'acer i la fusta, aquest últim és l'únic material estructural renovable, biodegradable, reciclable i que en el procés de producció no emet CO₂, sinó que el captura, de manera que és part de la solució i no del problema. És per això que l'Organització de les Nacions Unides, a l'informe de l'any 2016, assenyala que la construcció amb fusta és una solució per a frenar el canvi climàtic.

En el nostre cas, s'utilitzen uns 732 m³ de fusta, que equivalen, aproximadament, a un emmagatzematge de 732 tones de CO₂.

Per tal d'ampliar aquests conceptes, val la pena llegir l'article escrit originalment per Tim Smedley per a Medium i publicat al blog *Madera21*, titulat «Construir con madera es la última tecnología de captura de carbono».

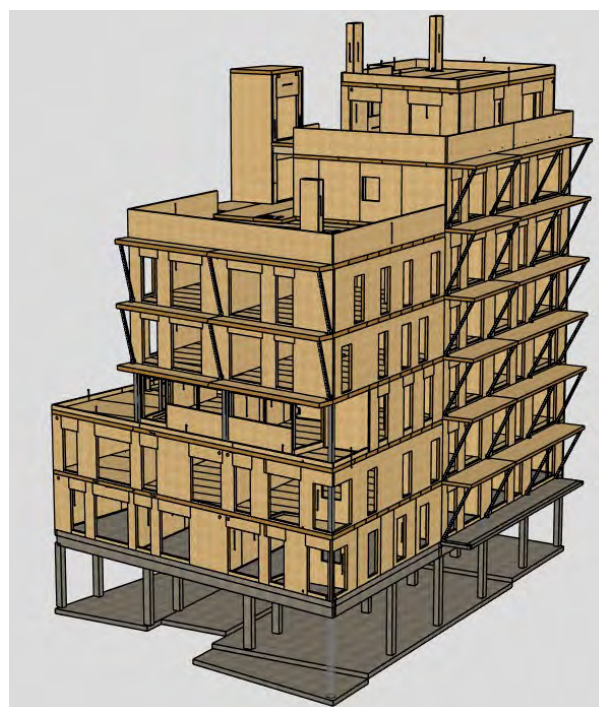


FIGURA 13. Model de Cadwork per a simular l'estructura de fusta.
FONT: Estudi M103, SLP.

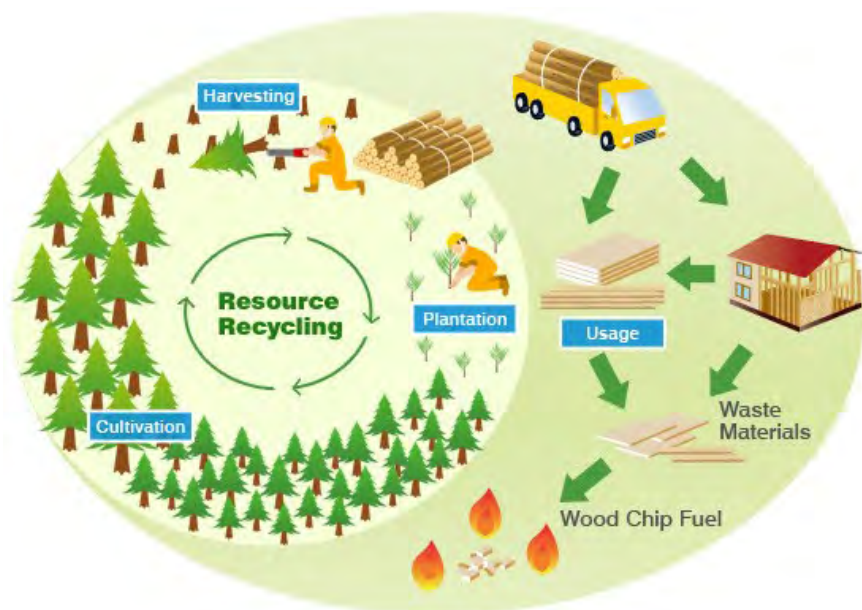


FIGURA 14. Representació del cicle de vida de la fusta.

FONT: <https://www.maderea.es/madera-reusable-reciclable-revalorizable/>.

4.2.3. Altres propietats que afavoreixen l'ús de la fusta

Propietats de la fusta com ara l'aïllament tèrmic, el baix pes, la sinergia amb altres elements d'aïllament acústic i el bon comportament davant el foc fan que sigui un material adient per a la construcció, a banda d'aportar sostenibilitat:

— Gràcies a la baixa densitat, contribueix de manera eficient a l'aïllament tèrmic de l'envolupant. L'alta resistència que ofereix la fusta al pas de calor la converteix en un bon aïllant tèrmic (al voltant de $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$). És a dir, són valors realment baixos, si són comparats amb altres materials de construcció, com ara el maó, que té una conductivitat d'entre $0,85 \text{ W/(mK)}$ i $0,32 \text{ W/(mK)}$, o el formigó, amb un valor de $2,5 \text{ W/(mK)}$.

— Gràcies a la densitat més baixa, redueix el pes global de l'edifici i, en conseqüència, la quantitat de formigó i el cost de la fonamentació.

— Si es compara amb altres materials de construcció, la fusta té una massa molt menor. Per això, propaga vibracions fins i tot de poca energia. D'altra banda, la composició porosa de la fusta absorbeix l'energia mecànica transportada per les ones de so i les transforma, de manera que fa més difícil que la travessin. Per tant, la llei de masses és fonamental, però amb un disseny correcte d'elements compostos; per exemple, amb una paret formada per fusta i materials elàstics s'assoleixen els nivells requerits. És per això que la fusta funciona com a condicionador acústic en combinació amb productes aïllants. Una posada en obra correcta (encara utilitzant els mateixos materials) pot suposar diferències de fins a 10 dB.

— Quan hi ha un incendi en una estructura resistent es pot produir un d'aquests dos fenòmens: el material perd la capacitat resistent per efecte de la calor (aquest és el cas de l'acer, que perd la capacitat mecànica ràpidament per l'augment de la temperatura, però no es crema), o bé desapareix la matèria resistent (aquest és el cas de

la fusta, que es va consumint amb el foc, perquè és un material combustible). La comprovació d'una estructura davant d'un incendi (foc descontrolat) passa per verificar tres requisits:

1. Resistència dels elements estructurals per pèrdua de capacitat portant o material, durant el temps indicat a la normativa.
2. Integritat del material davant el pas de la calor o de les flames a través seu durant el temps indicat a la normativa.
3. Aïllament tèrmic de l'element: que no transmeti temperatures superiors a 140°C - 180°C durant el temps indicat a la normativa.

En el cas de la fusta, encara que sigui un material combustible, es crea una capa carbonitzada a l'exterior —sis vegades més aïllant que la fusta en situació normal— que protegeix la fusta interior i, per tant, amb la pèrdua d'humitat, la resistència augmenta i les propietats físiques i mecàniques es mantenen inalterades. La pèrdua de capacitat portant de l'estructura es deu a una simple reducció de la secció, més que a una pèrdua de resistència del material. És, així, l'únic material estructural que resisteix més en situació d'incendi que en situació normal.

4.2.4. Qualitats de la fusta laminada encreuada

L'estructura de fusta utilitzada en aquest edifici correspon al concepte de *fusta laminada encreuada*. Es tracta d'un panell format per diverses capes de fusta serrada encolades entre si, que han de tenir forma simètrica i estar compostes per un mínim de tres capes (en general, el nombre de capes és imparell). Davant d'un comportament anisòtrop i d'una composició heterogènia de la fusta convencional, la CLT aporta un comportament ortòtrop i una homogeneïtat més gran (és a dir, les característiques mecàniques i resistents són semblants en les dues direccions del tauler, ja que hi

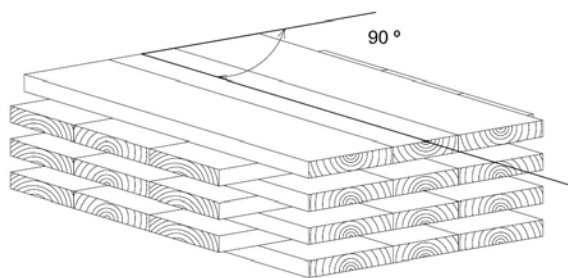


FIGURA 15. Dibuix conceptual dels panells de CLT en què es mostra que es formen apilant i enganxant capes de fusta perpendiculars de manera successiva (set capes, en el cas de la fusta).
FONT: Estudi M103, SLP.

ha làmines amb direccions perpendiculars a les fibres de la fusta), amb molta llibertat pel que fa a les mides, excepte per les limitacions de fabricació, transport i muntatge. A la figura 15 es mostra una representació gràfica d'aquest material.

Segons la documentació tècnica de l'empresa fabricant de taulers de fusta laminada encruada KLH®, la fusta col·locada en aquest edifici està composta per làmines de coníferes superposades que s'encolen utilitzant coles de poliuretà reactiu (PUR) sense compostos orgànics volàtils (COV; en anglès, *volatile organic compounds*, VOC) ni formaldehids, segons l'estàndard EN 15425, d'abet vermell (*Picea abies*).

Les propietats definides són:

- Conductivitat tèrmica: $\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$, d'acord amb l'estàndard EN ISO 10456.
- Capacitat tèrmica: $c_p = 1.600 \text{ J/(kgK)}$, d'acord amb l'estàndard EN ISO 10456.
- Resistència a la difusió: $\mu = 20\text{-}50$, d'acord amb l'estàndard EN ISO 10456.

— Comportament davant el foc: euroclasse D, s2, d0.¹

Quant a la resistència, té unes propietats estàtiques excel·lents (classificació resistent C24). A més, aquest material passa per un control de qualitat en la producció, està format per elements prefabricats amb una gran exactitud de mesures, és fàcil de muntar, el temps de construcció és breu i es construeix amb tècniques en sec, cosa que fa que el lloc de treball sigui més relaxat, net i segur.

Pel que fa al comportament davant el foc, és bo. Un exemple dels elements utilitzats i el comportament davant el foc són els següents:

- Paret de CLT de 14 cm de gruix, protegida davant el foc per una cara (l'altra està protegida amb revestiments de $3 \times 15 \text{ mm}$ de cartró guix), que suporta el foc durant 90 minuts (així, s'aconsegueix una resistència al foc de R-90).
- Paret de CLT de 14 cm de gruix protegida davant el foc amb panells de cartró guix per ambdós costats. Així, s'aconsegueix una resistència al foc de R-90.

1. D: contribució mitjana al foc; s2: producció mitjana de fum; d0: no es generen gotes/partícules.

— Un panell de forjat de sostre d'una planta tipus, de 180 mm de gruix, situat entre habitatges, té una resistència al foc de R-90 sense cap element addicional aïllant.

4.3. Detalls del projecte d'estructura

En concret, el projecte de l'estructura va ser condicionat per:

— El terreny (desnivell existent i baixa capacitat portant), que va requerir una fonamentació profunda (vegeu la figura 16).

— La durabilitat i el foc. La planta baixa és de formigó, davant el requeriment R-120 (resistència al foc durant 120 minuts en tractar-se d'un local amb concurrència pública), la classe de servei no pot ser més gran de CS2 (humitat relativa exterior $< 85\%$ i humitat d'equilibri higroscòpic $< 20\%$) i el requeriment de comportament davant el foc de l'estructura superior és de R-90 (resistència de l'estructura dels habitatges al foc durant 90 minuts).

— Els pilars tubulars, que es van reblir de formigó i tornapunts metàl·lics, perquè si s'haguessin construït amb fusta, haurien tingut unes dimensions excessives. I per requeriments de resistència al foc, havien d'estar protegits amb pintura intumescent.

— Els requeriments acústics, que van fer incrementar el pes de les solucions (en general, solera seca de Ferma-cell) sobre els forjats, tal com es veu a la figura 17 (composició de la secció d'un terra, amb estructura i capes superior i inferiors, i el pes).

— Els condicionants de transport, descàrrega i muntatge, que van limitar la mida de les peces pel pes en punta de la grua fixa de l'obra. S'havia de trobar un equilibri entre

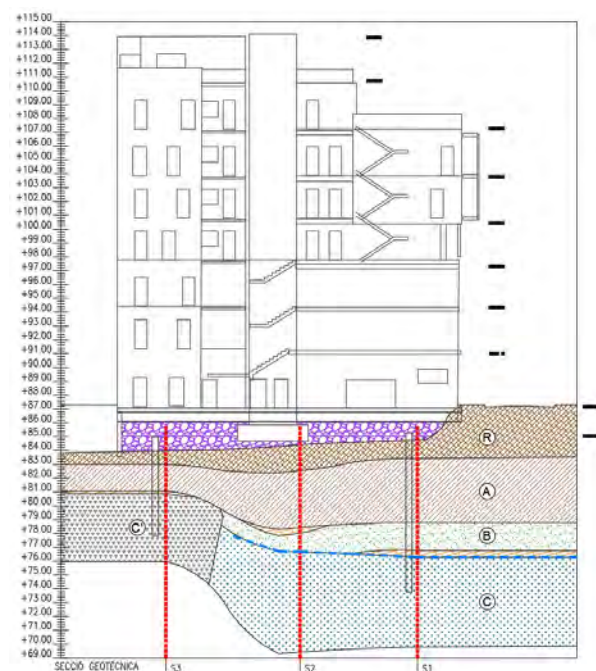


FIGURA 16. Secció geotècnica i nivell de fonamentació del projecte d'estructures.
FONT: Estudi M103, SLP.

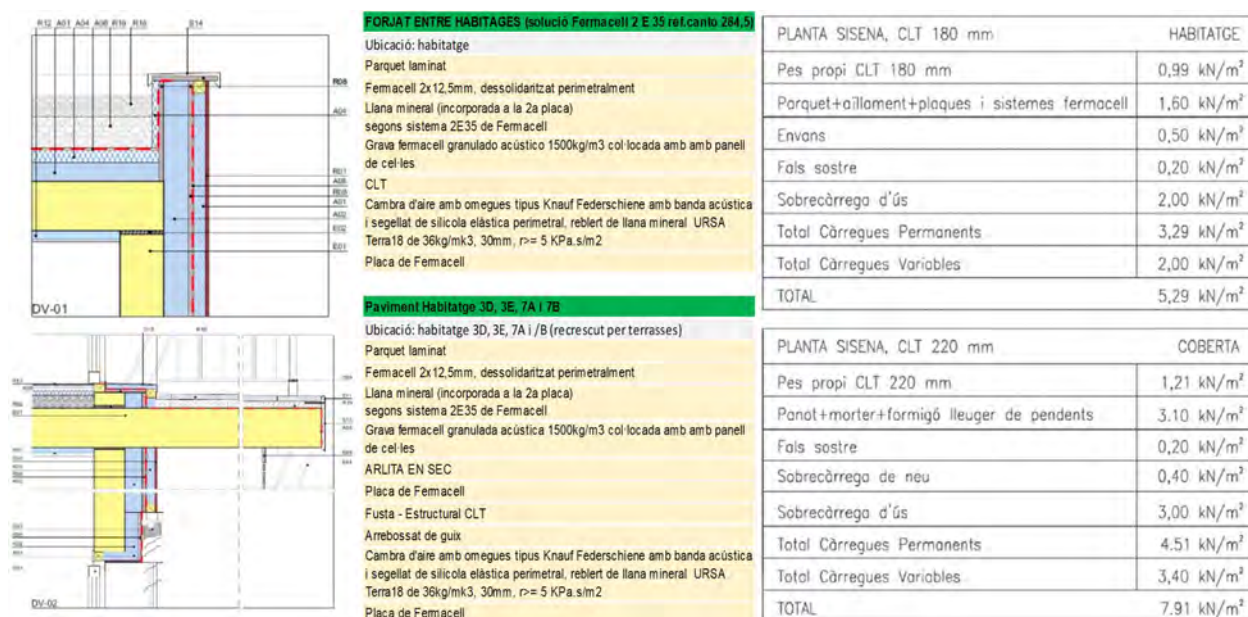


FIGURA 17. Definició de les càrregues als forjats, segons els detalls constructius.
FONT: Celobert Cooperativa (projecte arquitectònic) i Estudi M103, SLP (projecte d'estructures).

l'eficàcia estructural i les limitacions de fabricació i d'espai de l'obra. Es va comprovar que era millor disminuir l'ample dels panells que no pas la longitud i considerar-los com a bigues contínues de dos llums, cosa que ofereix un millor comportament davant de deformacions i esforços, i propicia un cantell més petit. Les figures 18 i 19 reproduïen les mides i la distribució d'alguns panells de l'edifici.

Com que es tracta d'elements superficials, el càlcul es duu a terme mitjançant el mètode dels elements finits (FEM, de l'anglès *finite element method*), amb elements assimilables a superfícies. A principis de la dècada de 1960 els enginyers van començar a utilitzar aquest mètode per a buscar solucions aproximades per als problemes d'anàlisi de l'estrès i d'anàlisi de fluids, per a problemes tèrmics i

per a problemes d'altres àrees. A finals de la dècada de 1960 i a principis de la dècada de 1970, aquesta tècnica va començar a aplicar-se a una gran varietat de problemes d'enginyeria. Es va fer popular durant la dècada de 1980, amb l'aparició de l'ordinador personal. Bàsicament, es converteix un problema de càlcul diferencial en un problema d'àlgebra lineal. Es basa a dividir (discretitzar) superfícies en elements delimitats per nodes, que defineixen una malla triangular o rectangular.

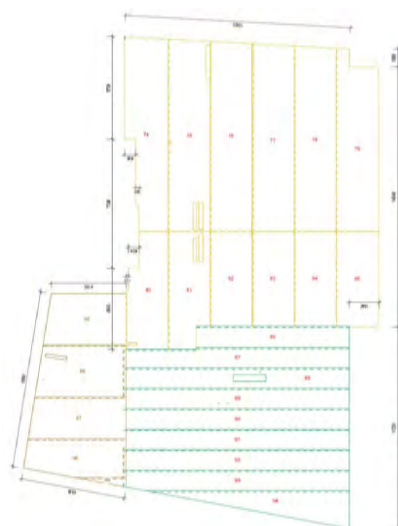


FIGURA 18. Representació en planta de la divisió dels panells del forjat de l'obra, segons els plànols de muntatge de l'estructura.
FONT: Velima System, SL.

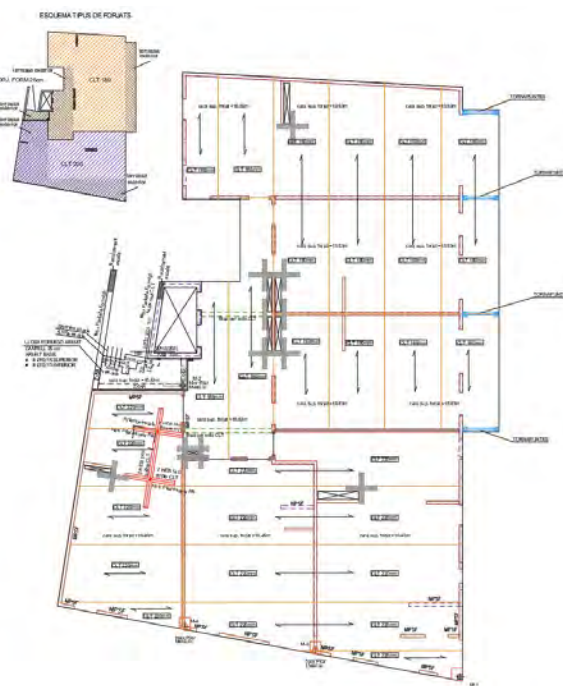


FIGURA 19. Representació en planta de la divisió dels panells, segons el projecte d'estructures.
FONT: Estudi M103, SLP.

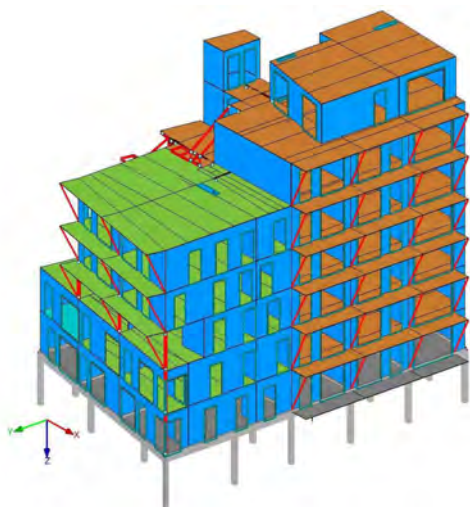


FIGURA 20. Vista 1 del model de càlcul: estructura de fusta.
FONT: Estudi M103, SLP.

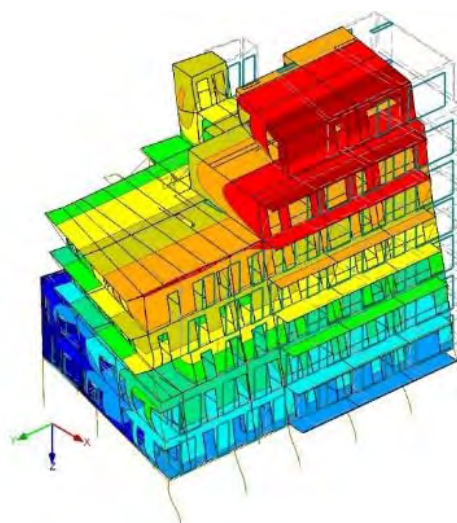


FIGURA 22. Model de càlcul: deformacions totals (combinació quasi permanent).
FONT: Estudi M103, SLP.

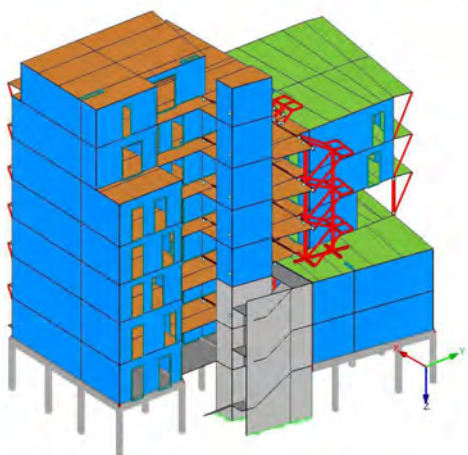


FIGURA 21. Vista 2 del model de càlcul: nucli de l'ascensor i les escales fins a la tercera planta, de formigó; escala entre la tercera planta i la setena, metàl·lica.
FONT: Estudi M103, SLP.

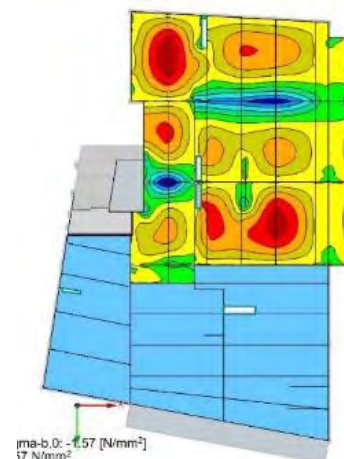


FIGURA 23. Model de càlcul: exemple de resultats de tensions en panells horitzontals per capes.
FONT: Estudi M103, SLP.

En aquest cas, el programari utilitzat és Dlubal RFEM, que incorpora mòduls específics per a fusta i les comprovacions corresponents a aquest material en estats límit últims i de servei. A les figures 20-24 es mostren imatges generades amb aquest programari.

Les unions entre panells de CLT són molt importants, ja que l'estructura de fusta és bàsicament isostàtica, sense unions rígides, i els connectors (els ancoratges, els tirafons, els claus i els elements d'unió prefabricats que són plaques de fixació: WHT hold-down —tracció—, TITAN TTV —tracció i tallant— i TITAN —tallant—) han de garantir una transmissió correcta d'esforços entre elements. Fer aquests càlculs és important i gairebé suposa la tercera part del temps de càlcul. Aquests elements es mostren a continuació a les figures 25-30.

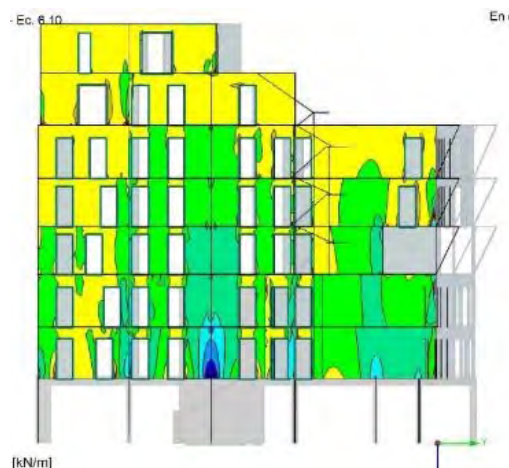


FIGURA 24. Model de càlcul: exemple de resultats de tensions en panells verticals per capes.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 25. Ancoratge SKR per a formigó.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 26. Tirafons utilitzats en unions entre plaques i fusta, i entre panells.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 27. Tirafons utilitzats en unions entre plaques i fusta, i entre panells.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 28. Plaques TITAN N per a tallant.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 29. Plaques TITAN V per a tallant i tracció.
FONT: Estudi M103, SLP.



FIGURA 30. Plaques WHT per a tracció.
FONT: Estudi M103, SLP.

5. Conclusions

L'edifici Cirerers és un projecte d'habitatge cooperatiu en cessió d'ús fet realitat. Aquest model, encara alternatiu, d'accés a l'habitatge és un projecte sense ànim de lucre, no especulatiu i transformador, i, a mesura que es vagi normalitzant, cada vegada serà més accessible. En aquest model, la titularitat de la propietat és col·lectiva i recau en la cooperativa, i les persones sòcies tenen la cessió d'ús dels habitatges. En el camí per a materialitzar el projecte han treballat conjuntament les futures usuàries i els equips tècnics, que han pres decisions en la cerca del sempre difícil equilibri entre els condicionants econòmics, el compromís ambiental i les necessitats i expectatives de les usuàries pel que fa a la qualitat dels espais, així com a les dimensions.

Aquest projecte demostra que és factible construir edificis amb exigències mediambientals molt superiors a les que marca la normativa més exigent i que actualment és vigent. Per a fer-ho, cal invertir en un bon disseny ar-

quitectònic i prioritzar sistemes i materials que no són els més convencionals. La inversió que això suposa es compensa, en part, amb altres renúncies o simplificacions. Tot i així, hi ha un increment en el cost de construcció, que en el cas de l'edifici Cirerers està al voltant del 4%, és a dir, es gastaran uns 40 euros/m² construït més del que costaria construir de manera convencional. Aquesta inversió, a part dels beneficis de confort i ambientals, es calcula que tindrà un període de retorn d'entre quinze i vint anys, de manera que, en termes econòmics, també és una operació rendible.

L'aposta per una construcció sostenible i ecològica permet, a més d'aportar beneficis ambientals i econòmics, gaudir de prestacions altes de confort, salut i seguretat en cas d'incendi, a més de requerir un baix manteniment, ja que es necessiten poques instal·lacions i de baixa potència, i, també, optimitzar l'espai disponible.

Com en qualsevol obra, el disseny d'un edifici té múltiples condicionants —funcionals, econòmics, formals i constructius—, però sempre hi ha unes directrius bàsiques



FIGURA 31. Detall de l'edifici en obra.
FONT: Guifré de Peray | Celobert Cooperativa.



FIGURA 32. Imatge general de l'edifici en obra.
FONT: Guifré de Peray | Celobert Cooperativa.

que desenvolupen les idees principals. En el cas de l'estructura de fusta emprada a l'edifici Cirerers, les característiques que n'afavoreixen i en motiven l'ús són bàsicament la sostenibilitat, la lleugeresa, la rapidesa i el control en l'execució, la netedat en la col·locació en sec i el bon comportament tèrmic. Hem de començar a deixar de banda els prejudicis de fer servir fusta pel comportament davant al foc, ja que, encara que la fusta sigui combustible, és comporta millor i més previsible que altres materials estructurals, i, per tant, és més segura que altres materials constructius que, sense ser combustibles, perden la capacitat portant de manera molt ràpida.

Estem en una època de merescut reconeixement a aquestes qualitats de la fusta, però encara queda pendent que se'n generalitzi l'ús. És evident que l'ús massiu d'aquest material farà més competitiu el producte i promourà una millor gestió dels boscos.

Les figures 31 i 32 són imatges de l'edifici en el moment de redactar aquest article, amb l'estructura acabada.

Bibliografia

- ARGÜELLES, R.; ARRIAGA, F. (2013). *Estructuras de madera: Bases de cálculo*. Madrid: AITIM.
- ARGÜELLES, R.; ARRIAGA, F.; ESTEBAN, M.; ÍÑIGUEZ, G.; ARGÜELLES, R. JR. (2015). *Estructuras de madera: Uniones*. Madrid: AITIM.
- ARGÜELLES, R.; ARRIAGA, F.; ESTEBAN, M.; ÍÑIGUEZ, G.; ARGÜELLES, R. JR.; FERNÁNDEZ CABO, J. L. (2011). *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera* [en línia]. Madrid: Maderia. Construcción. <https://ego.in.com/wp-content/uploads/2017/04/Guia-calculo_union_estructuras.pdf>.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR) (2016). *Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera*. UNE-EN 1995-1-1:2016.

DOLEZAL, F. (2012). *Acoustics in wooden structures*. Barcelona: Impulsos ProHolz. [Cursos avançats en construcció amb fusta]

GONZÁLEZ PRIETO, O.; LUENGO CUADRADO, E.; PERAZA SÁNCHEZ, J. E. (2020). *Cómo se fabrican los productos de la madera*. Vol. II: *Construcción y estructuras*. Madrid: AITIM.

GUINDOS, P. (2019). *Conceptos avanzados del diseño estructural con madera*. Vol. II: *CLT, modelación numérica, diseño anti-incendios y ayudas al cálculo*. Xile: UC.

FUENTE, M.; URIOL, J. (2020). *L'acústica en les construccions en fusta*. Barcelona: PROFUSTA. [Apunts del curs]

McLAIN, R., PE, SE (2018). *Acoustics and mass timber: room-to-room noise control* [en línia]. WW-WSP-11 Wood-Works.

PERAZA SÁNCHEZ, F.; PERAZA SÁNCHEZ, J. E.; ÍÑIGUEZ, G.; LUENGO CUADRADO, E.; MONTÓN LECUMBERRI, J.; BOBADILLA MALDONADO, I. (2010). *Guía de la madera*. Vol. II: *Construcción y estructuras*. Madrid: AITIM.

QUEIPO DE LLANO, J.; GONZÁLEZ RODRIGO, B.; LLINARES CERVERA, M.; VILLAGRÁ FERNÁNDEZ, C.; GALLEGU GUINEA, V. «Conceptos básicos de la construcción con madera». A: *Guía de construir con madera* [en línia]. Madrid: Construir con Madera (CcM). <https://www.ietcc.csic.es/wp-content/uploads/2020/06/libro0_conceptosbasicos.pdf>.

SMEDLEY, T. (2020). «Construir con madera es la última tecnología de captura de carbono». *Madera21* [en línia]. <<https://www.madera21.cl/construir-con-madera-es-la-ultima-tecnologia-de-captura-de-carbono>>. [Ecrit inicialment per a Medium]

WALLNER-NOVAK, M.; AUGUSTIN, M.; KOPPELHUBER, J.; POCK, K. (2014). *Cross-laminated timber structural design*. Vol. 2: *Applications*. Viena: ProHolz. ISBN 978-3-902320-96-4.

CALIOPE: SUPERCOMPUTACIÓ PER A MILLORAR LA QUALITAT DE L'AIRE

Jose L. Cánovas, Marta Terrado i Albert Soret

Barcelona Supercomputing Center - Centre Nacional de Supercomputació (BSC-CNS). services-es@bsc.es

Resum: CALIOPE és un sistema de predicció de la qualitat de l'aire desenvolupat pel Departament de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center - Centre Nacional de Supercomputació (BSC-CNS). Gràcies al potencial quant a tractament i anàlisi de dades que proporciona la supercomputació, CALIOPE ofereix pronòstics de la qualitat de l'aire per a Catalunya, la península Ibèrica i Europa, amb informació detallada sobre els principals contaminants regulats per les autoritats europees. A més, els propers mesos el sistema inclourà la simulació de Barcelona a escala urbana (CALIOPE Urban). Aquesta informació és fàcilment accessible des d'un web dirigit tant a gestors públics com a la ciutadania.

Paraules clau: qualitat de l'aire, contaminació atmosfèrica, meteorologia, sistema de pronòstic, emissions, supercomputació.

CALIOPE: SUPERCOMPUTING FOR AIR QUALITY IMPROVEMENT

Abstract: CALIOPE is the air quality forecast system developed by the Earth Sciences Department of Barcelona Supercomputing Center - Centre Nacional de Supercomputació (BSC-CNS). Thanks to the data processing and analysis potential that supercomputing provides, CALIOPE offers air quality forecasts for Catalonia, the Iberian Peninsula and Europe at large, with detailed information on the main pollutants regulated by the European authorities. In the next few months, the system will include Barcelona's simulation on an urban scale (CALIOPE Urban). This information is easily accessible on a website so that both public administrations and citizens can consult it.

Keywords: air quality, air pollution, meteorology, forecast system, emissions, supercomputing.

1. Introducció

1.1. El problema de la contaminació de l'aire

La contaminació atmosfèrica és una greu amenaça per a la salut humana. Molts habitants de les ciutats d'Europa i de tot el món estem exposats a concentracions de determinats contaminants atmosfèrics que superen els límits establerts per l'Organització Mundial de la Salut (OMS) (WHO, 2016).

El principal impacte de la contaminació de l'aire sobre la salut es produeix per l'exposició crònica als nivells habituals de contaminació, que contribueix a fer augmentar, principalment, les malalties cardiovasculars i respiratòries, el càncer de pulmó i la mortalitat. D'altra banda, l'exposició aguda a nivells alts de contaminació pot tenir un impacte negatiu sobre la salut de persones considerades vulnerables (embarassades, nadons, infants, gent gran o persones amb malalties cardiovasculars o respiratòries cròniques), incloent-hi un augment de la mortalitat a curt termini.

Entre els contaminants més importants que es mesuren actualment, hi ha compostos del nitrogen

(monòxid de nitrogen [NO], diòxid de nitrogen [NO₂], altres òxids de nitrogen [NO_x], amoníac [NH₃]), del carboni (monòxid de carboni [CO], diòxid de carboni [CO₂], metà [CH₄], hidrocarburs totals [HCT]) i del sofre (diòxid de sofre [SO₂], àcid sulfhídric [H₂S], àcid sulfúric [H₂SO₄]), oxidants fotoquímics, com ara l'ozó (O₃), i partícules en suspensió (PM, de l'anglès *particulate matter*), que, segons la mida, es classifiquen en PM₁₀ (inferiors a 10 micres) i PM_{2.5} (inferiors a 2,5 micres). L'Agència Europea del Medi Ambient (EEA, de l'anglès European Environment Agency) calcula que a Europa hi ha anualment 417.000 morts prematures per excés de PM_{2.5} i 55.000 morts per excés de NO₂ (dades corresponents a l'any 2018; EEA, 2020).

El trànsit de vehicles és una de les principals fonts d'emissió de contaminants a la majoria de zones urbanes. Les estratègies per a disminuir les emissions causades pel trànsit plantegen l'adopció de combustibles i tecnologies menys contaminants, com ara l'electrificació de la flota (Soret *et al.*, 2014), així com reduir el volum del trànsit amb mesures que impliquin nous usos del sòl o la instauració de peatges urbans (Creutzig *et al.*, 2012; Keuken *et al.*, 2012).

En el cas de Barcelona, des de l'any 2000 es registren nivells excessius de NO_2 a l'aire de la ciutat. Tot i que les dades han anat millorant lleugerament en els darrers anys, durant el període 2018-2019 el 35 % dels ciutadans van estar exposats a nivells de NO_2 superiors al valor límit anual de qualitat de l'aire, segons dades de l'agència de salut pública local (Rico *et al.*, 2020). De fet, la Unió Europea ha advertit Espanya que podria rebre possibles sancions per infringir la legislació de qualitat de l'aire comunitària, en incomplir de manera continuada els límits d'emissions contaminants a Barcelona i a l'àrea del Baix Llobregat i el Vallès, així com a Madrid.

Barcelona té una densitat de vehicles molt elevada (aproximadament, 5.500 vehicles per km^2) i la majoria dels turismes són dièsel (65 %) (Ajuntament de Barcelona, 2017). Reduir la dependència del cotxe i avançar cap a un model que prioritzi el transport públic i el transport actiu (caminar, bicicleta, etc.) milloraria de manera significativa la qualitat de l'aire i reduiria l'impacte negatiu de les emissions del trànsit per a la salut.

1.2. Episodis de contaminació

En determinades situacions atmosfèriques que redueixen la dispersió i la ventilació dels contaminants, com ara la persistència d'un anticicló durant diversos dies i la manca de vent i pluja, els nivells de NO_2 o de PM_{10} s'incrementen per sobre dels límits de referència de l'OMS. Aquests contaminants provenen tant d'emissions antropogèniques, les que tenen un origen humà, com de l'aportació de partícules d'origen natural, com ara la pols mineral provinent del Sàhara.

Quan es dona una situació en la qual els elevats nivells de contaminació de l'aire es combinen amb condicions meteorològiques que no n'afavoreixen la dispersió, ens trobem davant del que es coneix com a *episodi de contaminació*. Davant d'aquesta situació, les administracions tenen previstos diversos escenaris, que comporten un protocol d'actuació determinat i que pot anar des de mesures per a reduir el trànsit de vehicles privats fins a recomanacions per a limitar l'activitat esportiva a l'aire lliure o abaixar la intensitat de la calefacció.

2. Per què és important estimar la qualitat de l'aire?

En aquestes circumstàncies, predir la qualitat de l'aire esdevé essencial per a gestionar el problema de la contaminació a les grans ciutats, cosa que fa possible la modelització. Un model de qualitat de l'aire és una representació matemàtica que aglutina i sintetitza tots els factors que intervenen en les condicions de l'aire que respirem: condicions meteorològiques (vent, pluja, temperatura, etc.), mobilitat (aranyes de trànsit, perfils de velocitat, etc.) i els principals focus emissors de contaminants (el trànsit, la indústria, etc.).

En general, un model de dispersió dels contaminants atmosfèrics està constituït per un mòdul meteorològic, un mòdul d'emissions i un mòdul fotoquímic o de transport/dispersió dels contaminants. La combinació de tots aquests elements dona com a resultat la distribució espacial i l'evolució temporal de la concentració dels contaminants.

2.1. Quines són les finalitats dels models?

Els instruments utilitzats per a monitorar la qualitat de l'aire han estat, tradicionalment, les estacions de mesurament, que proporcionen observacions sobre els nivells de concentració a l'aire dels principals contaminants atmosfèrics. Els resultats de les mesures que s'obtenen serveixen per a dur a terme les actuacions necessàries per a solucionar els problemes originats per la contaminació. No obstant això, les directives de qualitat de l'aire estableixen que la modelització és una eina complementària a les observacions de les estacions de mesurament, a banda de ser també útil per a la diagnosi, el pronòstic i la planificació de la qualitat de l'aire.

— *Modelització per a complementar les observacions.* Els models serveixen per a complementar els mesuraments *in situ* de la qualitat de l'aire, tot proporcionant una cobertura espacial més gran que la que ofereix la xarxa d'estacions de mesurament, que a Catalunya es coneix com a Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA). Com que es pot estimar la qualitat de l'aire en qualsevol punt, la modelització permet reduir els costos associats a la infraestructura d'estacions. Per exemple, a Catalunya els models proporcionen informació a una escala d'1 km $\times$ 1 km, cosa que equivaldria a tenir més de 32.000 estacions de mesurament distribuïdes per tot el territori. Aquestes dades, no obstant això, no tenen la mateixa fiabilitat que les mesures obtingudes per estacions reals, de manera que disposar d'estacions continua sent imprescindible per a calibrar bé els resultats dels models i, per tant, millorar la modelització. Per exemple, la combinació d'observacions i la modelització s'han aplicat per a l'avaluació integrada de la qualitat de l'aire a Santa Cruz de Tenerife, una regió particularment afectada per episodis de contaminació (Balasano *et al.*, 2014).

— *Modelització per a la diagnosi.* Gràcies a l'anàlisi de les dades del passat, es pot estimar la qualitat de l'aire sobre la base dels diferents contaminants per zones representatives del territori, anomenades *zones de qualitat de l'aire* (ZQA), i veure el comportament d'aquests contaminants a escala local, en funció de les condicions meteorològiques. Això permet estudiar episodis passats i entendre millor quines són les condicions en què es produeixen aquests episodis, així com caracteritzar les fonts d'emissió que hi contribueixen. Alguns exemples són l'estudi de les fonts que contribueixen als episodis de contaminació per ozó troposfèric durant l'estiu al sud-oest d'Europa (Pay *et al.*, 2019).

— *Modelització per al pronòstic.* La modelització permet predir la qualitat de l'aire per a les properes hores i dies, la qual cosa pot tenir diverses aplicacions des d'un punt de vista informatiu, tant per a les administracions com per als mitjans de comunicació. Per exemple, a l'hora de llançar alertes sanitàries a la població, especialment dirigides a persones vulnerables a la qualitat de l'aire, com ara infants, pacients de malalties cardiorespiratòries, esportistes, etc. Quant als mitjans, darrerament hi ha hagut un augment destacable de l'interès per oferir informació sobre la qualitat de l'aire de manera complementària a la informació meteorològica. Hi ha exemples de la modelització per al pronòstic de la qualitat de l'aire a diferents escales, des de l'escala europea o nacional fins a la modelització en l'àmbit de carrer (Baldasano *et al.*, 2011; Benavides *et al.*, 2019).

— *Modelització per a la planificació.* La modelització és una eina que ajuda a dissenyar plans i programes per garantir el compliment dels objectius de qualitat de l'aire. Per exemple, permet simular l'impacte de mesures com ara l'electrificació d'una part del parc vehicular de Barcelona, la reducció del nombre total de cotxes que circulen dins dels nuclis urbans o els canvis en la velocitat de circulació (Soret *et al.*, 2014; Benavides *et al.*, 2021). Amb aquestes dades, les administracions poden dissenyar estratègies de planificació urbanística que permetin reduir la contaminació i els seus efectes sobre la salut pública i el medi ambient, com ara la implantació de zones de baixes emissions o l'establiment de mesures de control per a indústries altament contaminants.

3. Models de qualitat de l'aire

3.1. El sistema CALIOPE

CALIOPE és el sistema de predicció de la qualitat de l'aire desenvolupat pel Barcelona Supercomputing Center - Centre Nacional de Supercomputació (BSC-CNS). Creat el 2007, és el sistema operacional de pronòstic de la qualitat de l'aire de referència que utilitzen tant la Generalitat de Catalunya com l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM) de l'àrea de Barcelona. En l'àmbit europeu, la branca de recerca de CALIOPE, que encara no està en accés obert, és un sistema candidat a formar part del Servei de Monitoratge de l'Atmosfera del Programa Copèrnic (CAMS, de l'anglès Copernicus Atmosphere Monitoring Service), un dels serveis que formen part del programa Copèrnic d'observació de la Terra de la Unió Europea (UE). L'objectiu del CAMS¹ és produir dades numèriques i productes de mapatge que proporcionin informació sobre la qualitat de l'aire i la composició atmosfèrica a escala europea, amb l'objectiu de fer aquesta informació fàcilment accessible a tota la ciutadania.

3.1.1. Descripció del sistema

CALIOPE ofereix pronòstics de la qualitat de l'aire amb resolució temporal horària per a Europa (amb una resolució espacial de 12 km × 12 km), la península Ibèrica (4 km × 4 km) i les illes Canàries (2 km × 2 km), amb especial detall per a Catalunya (1 km × 1 km). El sistema ofereix els pronòstics de manera operacional, a 24 i a 48 hores, sobre els principals contaminants regulats per les autoritats europees (Directiva 2008/50/EC) i l'OMS, que inclouen O₃, NO₂, SO₂, CO, PM i benzè.

Actualment, el sistema està format per la interacció de diversos models numèrics que permeten simular i pronosticar el comportament dels processos físics i químics que afecten els nivells de qualitat de l'aire. Això es fa a través d'un conjunt de models que simulen paràmetres meteorològics (WRF),² emissions antropogèniques (HERMESv3)³ i biogèniques (MEGAN),⁴ de pols mineral del desert (BSC-DREAM8bv2.0)⁵ i de transport fotoquímic o de dispersió de contaminants (CMAQ).⁶

Els resultats obtinguts amb el sistema són processats per a ser explotats de manera visual mitjançant mapes animats i avaluats a través de la comparació amb dades mesurades a les estacions de qualitat de l'aire pertanyents a la Xarxa Europea d'Observacions i Informació sobre el Medi Ambient (EIONET, de l'anglès European Environment Information and Observation Network),⁷ gestionada per l'EEA. El sistema està implementat i s'executa cada dia al superordinador MareNostrum 4, gestionat pel BSC-CNS.

La visualització dels resultats i l'eina gràfica d'avaluació es duen a terme a través de la pàgina web oficial de CALIOPE (www.bsc.es/caliope/es), mantinguda pel Departament de Ciències de la Terra del BSC-CNS (figura 1).

El sistema permet seleccionar el dia que es vol consultar i el contaminant que es vol representar (figura 2). Per defecte, l'eina de visualització mostra de manera animada els mapes de concentracions horàries per a cada pas de temps del pronòstic (per a les properes 24 i 48 hores). Alternativament, l'usuari pot escollir visualitzar els mapes de les mitjanes o màximes diàries per al primer i el segon dia de pronòstic. Les imatges dels mapes animats poden descarregar-se en format GIF.

CALIOPE també proporciona un indicador diari de la qualitat de l'aire que té en compte diversos contaminants (O₃, NO₂, SO₂, CO i PM) i que es calcula d'acord amb els nivells i els llindars de la Directiva 2008/50/CE i el Reial decret 102/2011. Les diferents categories considerades són:

1. <https://atmosphere.copernicus.eu/>.
2. Weather Research and Forecasting (<http://www.wrf-model.org>).
3. High-Resolution Modelling Emission System, versió 3 (Baldasano *et al.*, 2008).
4. Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (<http://lar.wsu.edu/megan/index.html>).
5. Dust Regional Atmospheric Model (Pérez *et al.*, 2006).
6. Community Multiscale Air Quality Model (<https://www.cmascenter.org/cmaq/>).
7. European Environment Information and Observation Network (www.eionet.europa.eu/).

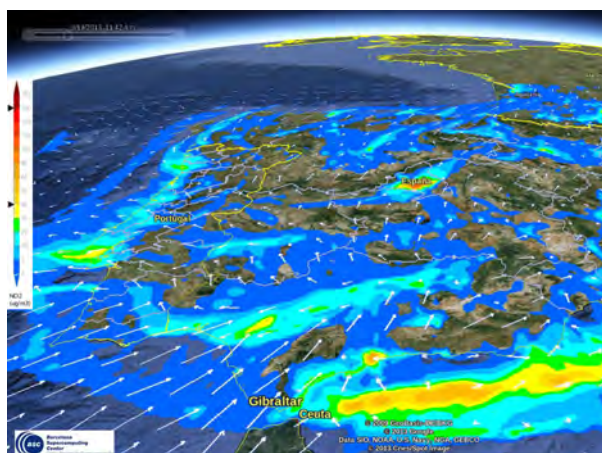


FIGURA 1. El sistema CALIOPE permet veure la distribució de contaminants en qualsevol localització del territori europeu a través del seu web.
FONT: www.bsc.es/caliope/es.

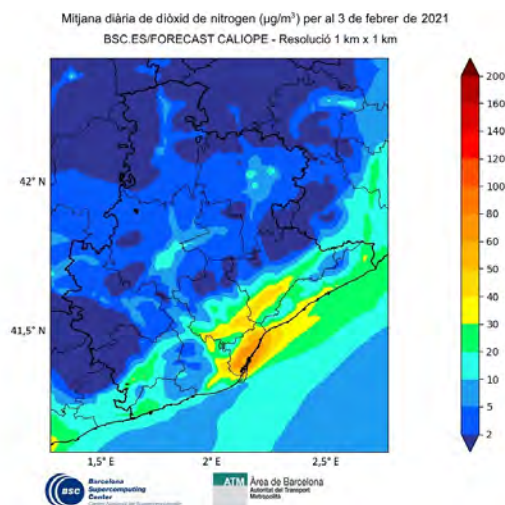


FIGURA 2. El sistema permet seleccionar el dia que es vol consultar i el contaminant que es vol representar, tant al conjunt d'Espanya com a Espanya, a Catalunya i a l'àrea de Barcelona.
FONT: Adaptat de www.bsc.es/caliope/es.

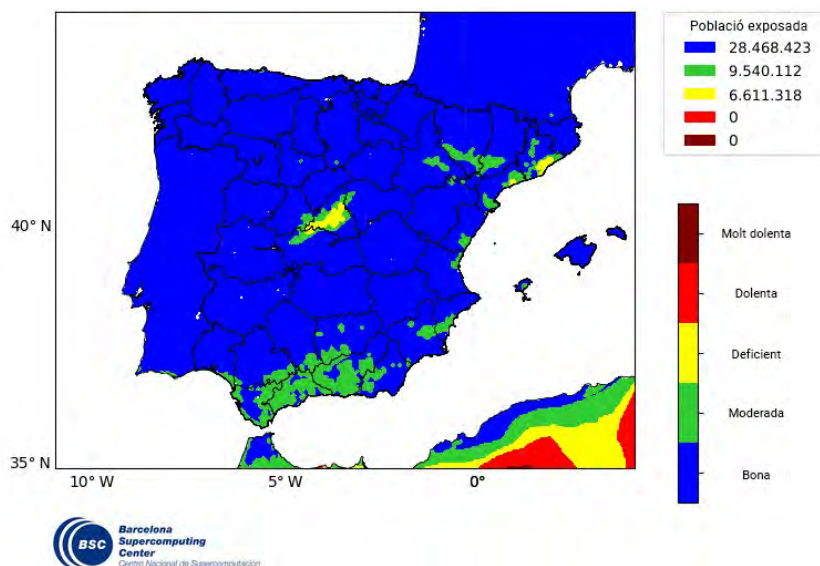


FIGURA 3. CALIOPE permet estimar la població exposada a les diferents categories de qualitat de l'aire a la península Ibèrica, a les Balears i a les Canàries.
FONT: Adaptat de www.bsc.es/caliope/es.

- 1) Bona, quan els contaminants es troben en concentracions baixes a l'aire.
- 2) Moderada, quan la qualitat de l'aire no suposa un risc per a la salut.
- 3) Deficient, quan la qualitat de l'aire està a punt de sobrepassar els nivells límit i, per tant, s'hauria de reduir l'exposició a l'aire lliure.
- 4) Dolenta, quan se supera el valor límit que estableix la legislació per a algun dels contaminants.
- 5) Molt dolenta, quan la qualitat de l'aire pot suposar un risc per a la salut de les persones més vulnerables, ja que algun dels contaminants supera els llindars d'alerta.

Des d'un punt de vista informatiu, el sistema també estima el nombre de persones que es preveu que estiguin exposades a les diferents categories de qualitat de l'aire (figura 3).

Amb l'objectiu de millorar els pronòstics de qualitat de l'aire, s'està treballant per incorporar el model NMMB-

MONARCH dins del sistema CALIOPE-CAT (Pérez *et al.*, 2011; Haustein *et al.*, 2012). Aquest model substituirà el conjunt de models WRF-ARW/CMAQ/BSC-DREAM8bv2, de manera que simplificarà la cadena d'execució del sistema actual CALIOPE-CAT, optimitzarà la consistència entre processos i, en darrera instància, millorarà els pronòstics.

L'NMMB-MONARCH ha estat desenvolupat al BSC-CNS amb el suport d'altres centres d'investigació internacionals (Centres Nacionals per a la Predicció Ambiental dels Estats Units [NCEP, de l'anglès National Centers for Environmental Prediction], NASA i Universitat de Califòrnia a Irvine). Actualment, l'NMMB-MONARCH és el model operacional del Barcelona Dust Forecast Center,⁸ que proporciona pronòstics diaris de pols mineral, operatius a 72 ho-

8. Barcelona Dust Forecast Center (<https://dust.aemet.es>).

res per a dominis globals i regionals. L'NMMB-MONARCH és un model candidat a incorporar-se al sistema de predicció de qualitat de l'aire per a Europa de la iniciativa de Producció Regional de Copèrnic (CAMS50), els pronòstics de la qual es basen en els models més avançats de qualitat de l'aire europeus.

3.1.2. CALIOPE-Urban

CALIOPE-Urban neix de la necessitat de disposar de dades més precises dels nivells de concentració dels contaminants de l'aire, amb l'objectiu de mitigar el problema de la contaminació atmosfèrica a les zones urbanes. Es tracta d'un sistema que combina la tecnologia de CALIOPE regional amb un model urbà, que té en compte la contaminació de l'aire en l'àmbit de carrer i que utilitza informació sobre les emissions del trànsit i dades meteorològiques. El sistema permet capturar la contaminació de l'aire amb resolucions molt altes de fins a deu metres, cada hora, a diferents altures i en qualsevol punt de la ciutat. Això fa possible objectius com ara senyalar els carrers menys contaminats per on caminar o reduir el trànsit al voltant de zones escolars.

El sistema CALIOPE-Urban incorpora noves metodologies adequades per a ciutats molt urbanitzades com Barcelona, on conviuen edificis i carrers amb una àmplia gamma de patrons geomètrics. CALIOPE-Urban considera la geometria urbana, el vent i l'estabilitat atmosfèrica (turbulència) per calcular les concentracions dels contaminants amb una precisió més gran (figura 4). D'aquesta manera, el sistema permet avaluar aspectes com ara l'impacte de l'excés d'emissions d'òxids de nitrogen dels vehicles dièsel en la qualitat de l'aire. Els resultats demostren que a la ciutat de Barcelona les concentracions de NO₂ disminuirien, aproximadament, un 20% si els turismes i les furgonetes dièsel complissin els límits legals que marca la Unió Europea (Benavides *et al.*, 2021).

Mitjana anual de NO₂ (2019)

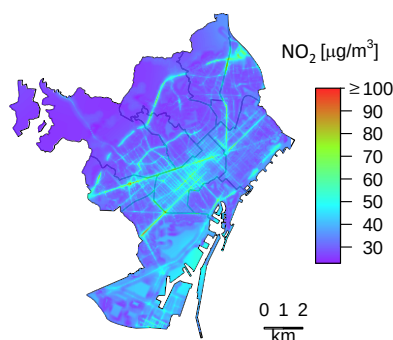


FIGURA 4. CALIOPE-Urban calcula la contaminació de l'aire en qualsevol punt de la ciutat a partir de la geometria, el vent i l'estabilitat atmosfèrica. A la imatge, es pot veure la concentració mitjana anual de NO₂ a Barcelona durant l'any 2019.

FONT: Elaboració pròpia.

4. Les dades massives (*big data*) i la qualitat de l'aire

4.1. Supercomputació

Avui en dia hi ha una gran varietat de sensors que generen dades sobre la Terra de manera contínua. A conseqüència d'això, els investigadors s'enfronten al repte de tractar enormes quantitats de dades heterogènies que creixen a un ritme gairebé exponencial i que són difícils de processar i disseminar utilitzant mètodes convencionals. Aquestes dades procedeixen de fonts molt diverses, des de plataformes satel·litàries o sensors *in situ*, fins a simulacions fetes amb models numèrics del sistema terrestre o avaluacions de les condicions del passat, que combinen totes les fonts d'informació disponibles. Tal com passa en el cas de CALIOPE i CALIOPE-Urban, les millores progressives en els models numèrics impliquen un augment de la resolució espacial per a capturar millor la influència de fenòmens que ocorren a escales més petites o a freqüències temporals més altes, la qual cosa incrementa encara més el volum de dades generades.

En matèria de contaminació de l'aire, l'anàlisi de les dades massives permet conèixer de manera precisa els nivells, la localització i el comportament dels contaminants atmosfèrics. Per proporcionar prediccions de la qualitat de l'aire es requereixen plataformes de càlcul d'altres prestacions, en les quals ordinadors formats d'elements similars als dels ordinadors personals estan connectats per una xarxa especial que permet una interconnexió d'ordres de magnitud més ràpida que la que trobem a Internet, així com infraestructures (discos, nodes de càlcul per al processament, etc.) connectades que permeten gestionar un volum ingent de dades. L'alta resolució que ofereix CALIOPE és possible gràcies a la seva implementació en el superordinador MareNostrum, allotjat al BSC-CNS (figura 5).

CALIOPE és un model operacional que proporciona una predicció cada dia. L'execució del sistema arrenca de



FIGURA 5. L'alta resolució que ofereix CALIOPE és possible gràcies a la seva implementació en el superordinador MareNostrum, allotjat al BSC-CNS.

FONT: Barcelona Supercomputing Center - Centre Nacional de Supercomputació (BSC-CNS).

manera automàtica a les 20.00 hores i la seva duració per a simular un pronòstic de 48 hores és de gairebé 6 hores. Això inclou l'execució tant dels models numèrics de simulació com dels postprocessos en els tres dominis de treball (Europa, península Ibèrica i Catalunya). Aquest tipus d'operació permet que hi hagi temps suficient per a postprocessar, emmagatzemar i disseminar les prediccions de cada dia abans d'haver de tractar les del dia següent. El factor crític rau a proporcionar als usuaris les prediccions —que consisteixen en un resum de les dades obtingudes en la simulació— al més aviat possible perquè puguin prendre les decisions rellevants abans que les prediccions perdin valor.

4.2. Postprocessament de les dades

Els fitxers originals produïts per aquests models contenen la informació modelitzada de cada paràmetre i dimensió, la qual cosa provoca que la seva mida final sigui força elevada. A manera d'exemple, els fitxers originals de sortida d'un dia de simulació (24 hores) dels models WRF-ARW i CMAQ per al domini CAT-1 km ocupen, respectivament, 8,4 Gb i 51 Gb. Seguint amb el mateix exemple, guardar un any sencer de resultats modelitzats per a aquest domini implicaria fer ús d'un emmagatzematge total de més de 21 Tb. En el marc d'un sistema de pronòstic operacional diari, resulta essencial optimitzar la mida original d'aquests fitxers per a permetre'n un emmagatzematge i una gestió correctes.

Un altre factor important és que, en el cas dels resultats de qualitat de l'aire, és útil expressar-los a través de mitjanes diàries, màxims diaris o màxims octohoraris, per tal de facilitar la comparació dels resultats modelats amb els diferents valors límit de qualitat de l'aire que es defineixen a la Directiva europea de la qualitat de l'aire 2008/50/EC. Depenent del contaminant considerat, la Directiva estableix els nivells per a diferents intervals de temps (per exemple, mitjana diària per al material particulat, màxim horari per al NO_2 , etc.).

Per tal de resoldre els punts anteriors (mida i tipus de sortides), el sistema permet seleccionar només les variables meteorològiques i de qualitat de l'aire que es volen guardar, i calcular, a partir dels valors horaris originals, altres paràmetres, incloent-hi mitjanes diàries, màxims diaris o màxims octohoraris. Com a resultat d'aquest procés, l'espai total ocupat pels fitxers de sortida un cop han estat tractats és d'aproximadament 400 Mb per cada dia de simulació (24 hores).

4.3. Avaluació del pronòstic

A banda de ser una eina web de visualització per a mostrar els mapes de pronòstic que el sistema genera, la pàgina web de CALIOPE també s'utilitza per a mostrar l'avaluació del pronòstic a través de la comparació amb dades d'observacions de la xarxa EIONET (figura 6). Per a cada un

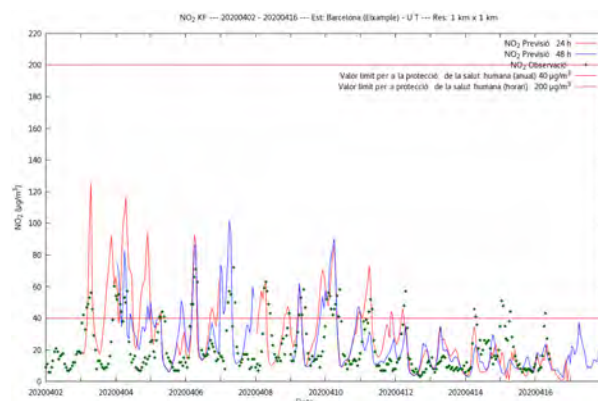


FIGURA 6. CALIOPE també s'utilitza per a mostrar l'avaluació del pronòstic a través de la comparació amb dades d'observacions de la xarxa EIONET. FONT: Adaptat de www.bsc.es/caliope/es.

dels contaminants, les sèries temporals inclouen com a referència els valors límit marcats per la Directiva europea. En el títol del gràfic temporal s'inclou el nom del contaminant, el període temporal, el nom de l'estació i la seva tipologia.

EIONET reporta, de manera diària, valors de concentració horaris de contaminants observats (NO_2 , SO_2 , CO , O_3 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) per a cadascuna de les estacions que formen part de la seva xarxa. Aquestes dades es descarreguen quatre cops al dia, mitjançant una interfície de programació d'aplicacions (API) de descàrrega de dades. Les dades d'observacions s'utilitzen tant per a quantificar el rendiment del model mitjançant la comparació entre dades modelades i observades com per a corregir el biaix sistemàtic del sistema aplicant el filtre de Kalman. Això permet reduir la incertesa dels resultats modelats.

4.4. Reptes futurs

El camp de les dades massives i la intel·ligència artificial aplicat a la qualitat de l'aire avança ràpidament, la qual cosa presenta tot un ventall d'oportunitats per a la recerca, però també nous reptes que caldrà abordar. Actualment, ja hi ha nous satèl·lits que donen dades de la columna d'alguns contaminants i d'aquí a uns quants anys passarem a tenir informació de la qualitat de l'aire a resolucions espacials i temporals més elevades que fins ara. Aquestes noves dades observacionals obren un nou camp per a millorar els models i crear productes de més qualitat i adaptats a les necessitats de la societat. Actualment, s'estan fent els passos necessaris per a adaptar els models al nou tipus d'informació que estarà disponible procedent de la nova generació de satèl·lits geoestacionaris, cosa que facilitarà l'assimilació de les dades.

Els camps de la informació proporcionada pels satèl·lits, la informació de superfície i la modelització s'espera que acabin convergint. Cal tenir en compte que tant la informació de satèl·lit com els mesuraments *in situ* són observacions que es poden utilitzar per a corregir els errors sistemàtics

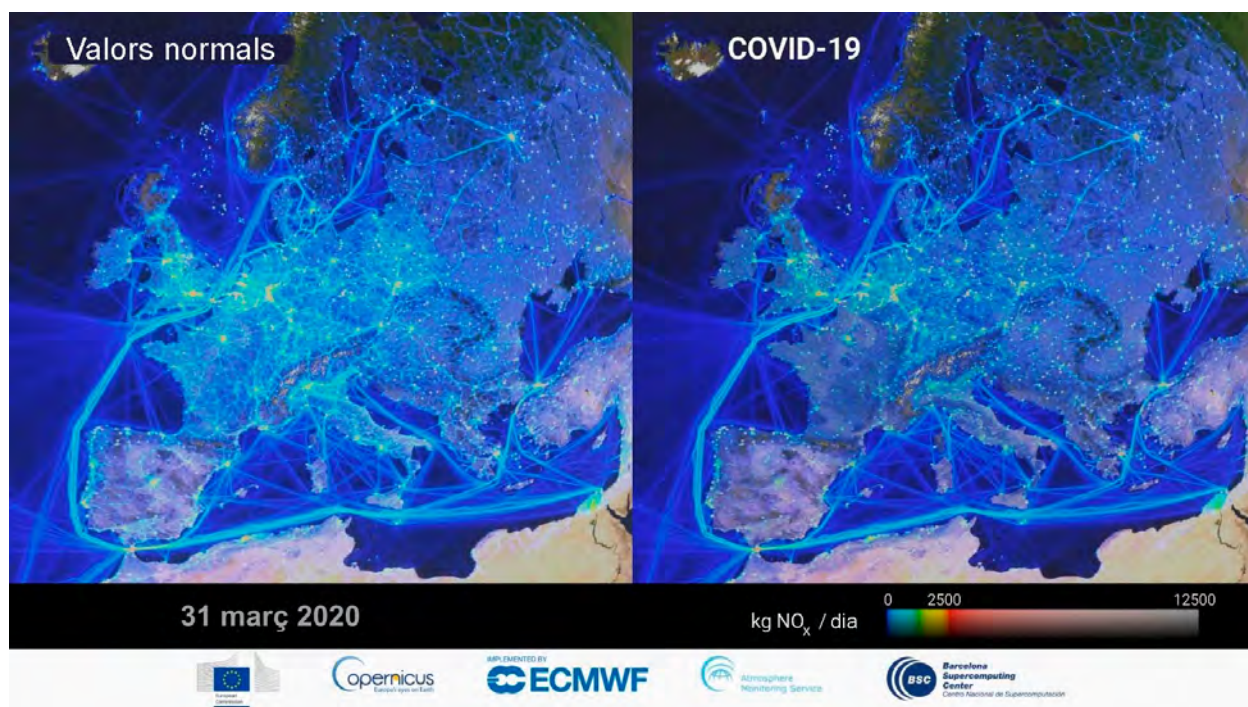


FIGURA 7. Animació que reflecteix el descens de les emissions de NO_x a Europa com a conseqüència de les restriccions causades per la COVID-19 (Guevara *et al.*, 2021).

FONT: Adaptat de Copernicus Atmosphere Monitoring Service/ECMWF/BSC.

dels models. Actualment, els algoritmes d'aprenentatge tenen una evolució molt ràpida i cada vegada hi ha més exemples de l'aplicació de la intel·ligència artificial per a resoldre els problemes de la qualitat de l'aire (figura 7).

5. Casos d'èxit de CALIOPE

La informació que proporciona CALIOPE pot tenir diverses aplicacions. A més de ser una eina de consulta per a la ciutadania a través de la seva pàgina web, també ofereix informació útil per a complementar les observacions de la qualitat de l'aire. Igualment, el sistema es pot utilitzar com a eina de diagnòstic per a estudiar un problema específic, com a eina de pronòstic per a alertar les autoritats sobre els propers pics de contaminació i com a eina de planificació de polítiques urbanístiques i mesures concretes per a fer reduir els nivells de contaminació atmosfèrica a llarg termini.

CALIOPE s'ha utilitzat per a estudiar l'impacte de l'excés d'emissions de NO_x dels vehicles dièsel en la contaminació atmosfèrica en una ciutat compacta com Barcelona (Benavides *et al.*, 2021). Els ciutadans de nombroses capitals europees estem exposats a emissions de NO_x per part dels vehicles dièsel superiors al que estableix la normativa europea, fet que s'ha conegut com l'*escàndol Dieselgate*. L'estudi demostra que aquests vehicles contribueixen a fer augmentar les concentracions de NO_2 , al voltant d'un 20% en el cas de Barcelona, fet que incrementa considerablement el nombre de persones exposades a nivells de contaminació superiors als límits establerts tant per la Unió Europea com per l'OMS. La investigació estableix un diagnòstic que

pot servir com a base per a prendre mesures efectives per a protegir la salut de la ciutadania.

El sistema CALIOPE també es pot utilitzar per a la planificació de la qualitat de l'aire per part de les administracions, ja que permet preveure l'efecte de determinades mesures de reducció de la contaminació abans d'aplicar-les, com ara les zones de baixes emissions (ZBE), o plantejar polítiques urbanístiques, com ara les superilles, en el cas de Barcelona. CALIOPE-Urban s'ha utilitzat per a avaluar l'impacte de l'aplicació de les ZBE en la contaminació atmosfèrica, mesura que restringeix la circulació dels vehicles sense distintiu ambiental al perímetre interior de les rondes de la capital catalana (Benavides *et al.*, 2020). A escala internacional, CALIOPE és un exemple de transferència de tecnologia, en què el BSC-CNS ha desenvolupat un sistema equivalent per a la Secretaria de Medi Ambient del Govern de Mèxic (Sedema) que permet predir la qualitat de l'aire a Ciutat de Mèxic i avaluar mesures per reduir els nivells de contaminació, en el que es coneix com a projecte *Aire CDMX*.⁹

Finalment, també cal destacar com a cas d'èxit que CALIOPE ha esdevingut una font de referència per als mitjans de comunicació de tot Espanya a l'hora de transmetre informació sobre la qualitat de l'aire a la ciutadania. En episodis recents d'alta contaminació, el sistema ha estat utilitzat per les principals cadenes de televisió estatals per a donar prediccions dels nivells de NO_2 i de la seva duració (figura 8).

9. Aire CDMX (<http://www.aire.cdmx.gob.mx>).



FIGURA 8. CALIOPE ha esdevingut una referència per als mitjans de comunicació a l'hora d'oferir informació sobre la qualitat de l'aire.
FONT: RTVE.es (a l'esquerra) i LaSexta.com (a la dreta).

6. El futur de la qualitat de l'aire

Qualitat de l'aire significa qualitat de vida. Cada cop les persones som més conscients de les repercussions que la contaminació de l'aire que respirem té en la nostra salut, per la qual cosa és de vital rellevància que aquestes dades siguin accessibles per a tothom.

Les dades massives contribueixen a un processament massiu de les dades a baix cost, cosa que permet analitzar dades pràcticament en temps real, així com a democratitzar la informació i el coneixement posant-los a l'abast de la ciutadania perquè pugui prendre les seves pròpies decisions. En aquest context, el sistema CALIOPE s'entén com un servei de qualitat de l'aire que proporciona informació i coneixement rellevant per a la societat de manera gratuïta a través de la seva pàgina web. Això permet als ciutadans involucrar-se en temes que els afecten i prendre decisions basades en l'evidència científica i que, al final, repercuten en la seva salut.

Les dades massives estan, també, lligades amb el concepte *Internet de les coses* (IdC), una tecnologia a l'alça i amb projecció de futur que consisteix en una xarxa d'objectes físics que utilitzen sensors i interfícies de programació d'aplicacions per a connectar-se i intercanviar una gran varietat de dades. Des d'un punt de vista de la ciutat, la IdC repercuteix en assumptes globals com ara la sostenibilitat de les ciutats intel·ligents (*smart cities*). L'objectiu de la IdC aplicada a la ciutat és optimitzar els recursos alhora que es millora la qualitat de vida de la ciutadania i la gestió del medi ambient mitjançant diferents serveis, com ara el mapatge de la contaminació de l'aire, la gestió del trànsit o la informació sobre la disponibilitat d'aparcament en temps real.

Tot això implica un canvi de paradigma que contribueix a empoderar la ciutadania i a fer-la més responsable i conscient de la necessitat de canviar d'hàbits i de reclamar a les administracions mesures per a reduir l'exposició de la població a elevats nivells de contaminació atmosfèrica, responsables de milers de morts prematures cada any a tot Europa.

Bibliografia

- AJUNTAMENT DE BARCELONA (2017). *Caracterització dels vehicles i les seves emissions a l'àrea metropolitana de Barcelona* [en línia]. Barcelona: Ajuntament de Barcelona: Àrea Metropolitana de Barcelona: RACC. <https://www.bcnregional.com/ca/projcts/medi_ambient/caracteritzacio-del-parc-de-vehicles-circulant-en-funcio-de-les-seves-emissions/>. [Consulta: 10 juliol 2021]
- BALDASANO, J. M.; GÜERCA, L. P.; LÓPEZ, E. (2008). «Development of a high-resolution (1 km $\times$ 1 km, 1 h) emission model for Spain: The High-Effective Resolution Modelling Emission System (HERMES)». *Atmos. Environ.*, 42, p. 7215-7233.
- BALDASANO, J. M.; PAY, M. T.; JORBA, O.; GASSÓ, S.; JIMÉNEZ-GUERRERO, P. (2011). «An annual assessment of air quality with the CALIOPE modeling system over Spain». *Sci. Total Environ.*, 409, p. 2163-2178.
- BALDASANO, J. M.; SORET, A.; GUEVARA, M.; MARTÍNEZ, F.; GASSÓ, S. (2014). «Integrated assessment of air pollution using observations and modelling in Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands)». *Sci. Total Environ.*, 473-474, p. 576-588. DOI 10.1016/j.scitotenv.2013.12.062.
- BENAVIDES, J.; GUEVARA, M.; SNYDER, M.; RODRÍGUEZ-REY, D.; SORET, A.; PEREZ GARCIA-PANDO, C.; JORBA, O. (2021). «On the impact of excess diesel NO_x emissions upon NO₂ pollution in a compact city». *Environ. Res. Lett.*, 16, 024024. DOI 10.1088/1748-9326/abd5dd.
- BENAVIDES, J.; SNYDER, M.; GUEVARA, M.; SORET, A.; PÉREZ GARCÍA-PANDO, C.; AMATO, F.; QUEROL, X.; JORBA, O. (2019). «CALIOPE-Urban v1.0: coupling R-LINE with a mesoscale air quality modelling system for urban air quality forecasts over Barcelona city (Spain)». *Geosci. Model Dev.*, 12, p. 2811-2835. <<https://gmd.copernicus.org/articles/12/2811/2019/>>. DOI 10.5194/gmd-12-2811-2019.
- BENAVIDES, J.; SORET, A.; GUEVARA, M.; PÉREZ-GARCÍA PANDO, C.; SNYDER, M.; AMATO, F.; QUEROL, X.; JORBA, O. (2020). «Potential impact of a low emission zone on street-level air quality in Barcelona city using CALIOPE-urban model». A: MENSINK, C.; GONG, W.; HAKAMI, A. (ed.). *Air pollution modeling and its application xxvi*. ITM 2018. Springer, Cham.

- (Springer Proceedings in Complexity). DOI 10.1007/978-3-030-22055-6_27.
- CREUTZIG, F.; MÜHLHOFF, R.; RÖMER, J. (2012). «Decarbonizing urban transport in European cities: Four cases show possibly high co-benefits». *Environ. Res. Lett.*, 7, p. 1-9. DOI 10.1088/1748-9326/7/4/044042.
- EEA = EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2020). *Air quality in Europe - 2020 report* [en línia]. Luxemburg: Publications Office of the European Union. (EEA Report; 9/2020). <<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>>.
- GUEVARA, M.; JORBA, O.; SORET, A.; PETETIN, H.; BOWDALO, D.; SERRADELL, K.; TENA, D.; DENIER VAN DER GON, H.; KUENEN, J.; PEUCH, V.-H.; PÉREZ GARCÍA-PANDO, C. (2021). «Time-resolved emission reductions for atmospheric chemistry modelling in Europe during the COVID-19 lockdowns». *Atmos. Chem. Phys.*, 21, p. 773-797. DOI 10.5194/acp-21-773-2021.
- HAUSTEIN, K.; PÉREZ, C.; BALDASANO, J. M.; JORBA, O.; BASART, S.; MILLER, R. L.; JANJIC, Z.; BLACK, T.; NICKOVIC, S.; TODD, M. C.; WASHINGTON, R.; MÜLLER, D.; TESCHE, M.; WEINZIERL, B.; ESSELBORN, M.; SCHLADITZ, A. (2012). «Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model - Part 2: Experimental campaigns in Northern Africa». *Atmos. Chem. Phys.*, 12, p. 2933-2958. DOI 10.5194/acp-12-2933-2012.
- KEUKEN, M. P.; JONKERS, S.; ZANDVELD, P.; VOOGT, M.; ELSHOUT, S. van den (2012). «Elemental carbon as an indicator for evaluating the impact of traffic measures on air quality and health». *Atmos. Environ.*, 61, p. 1-8. DOI 10.1016/j.atmosenv.2012.07.009.
- PAY, M. T.; GANGOITI, G.; GUEVARA, M.; NAPELENOK, S.; QUEROL, X.; JORBA, O.; PÉREZ GARCÍA-PANDO, C. (2019). «Ozone source apportionment during peak summer events over southwestern Europe». *Atmos. Chem. Phys.*, 19, p. 5467-5494. DOI 10.5194/acp-19-5467-2019>.
- PÉREZ, C.; HAUSTEIN, K.; JANJIC, Z.; JORBA, O.; HUNEEUS, N.; BALDASANO, J. M.; BLACK, T.; BASART, S.; NICKOVIC, S.; MILLER, R. L.; PERLWITZ, J.; SCHULZ, M.; THOMSON, M. (2011). «An online mineral dust aerosol model for meso to global scales: Model description, annual simulations and evaluation». *Atmos. Chem. Phys.*, 11, p. 13001-13027. DOI 10.5194/acp-11-13001-2011.
- PÉREZ, C.; NICKOVIC, S.; PEJANOVIC, G.; BALDASANO, J. M.; ÖZSOY, E. (2006). «Interactive dust-radiation modeling: A step to improve weather forecasts». *J. Geophys. Res.*, 111, D16206. DOI 10.1029/2005JD006717.
- RICO, M.; FONT, L.; ARIMON, J.; MARÍ, M.; GÓMEZ, A.; REALP, E. (2020). *Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona: 2019* [en línia]. Barcelona: Agència de Salut Pública de Barcelona. <https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2020/10/Informe_qualitat-aire-2019.pdf> [Consulta: 10 juliol 2021].
- SORET, A.; GUEVARA, M.; BALDASANO, J. M. (2014). «The potential impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain)». *Atmos. Environ.*, 99, p. 51-63. DOI 10.1016/j.atmosenv.2014.09.048.
- WHO = WORLD HEALTH ORGANIZATION (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease* [en línia]. WHO Library Cataloging-in-Publication Data. <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>> [Consulta: 10 juliol 2021].

PERSPECTIVES LABORALS DELS DOCTORATS EN ENGINYERIES I ARQUITECTURA A CATALUNYA

Antoni Olivé^{1, 3} i Miquel Canals^{2, 3}

1. Departament d'Enginyeria de Serveis i Sistemes d'Informació. Facultat d'Informàtica de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. antoni.olive@upc.edu

2. Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona. miquelcanals@ub.edu

3. Secció de Ciències i Tecnologia. Institut d'Estudis Catalans

Resum: La decisió d'emprendre un doctorat no és senzilla. Mentre que la durada i la intensitat de l'esforç necessaris per a assolir-lo es poden determinar raonablement bé, els beneficis professionals que es podrien aconseguir són difícils de conèixer, ja que depenen de les possibilitats d'inserció laboral dels futurs doctors. L'objectiu principal d'aquest article és proporcionar algunes dades sobre les perspectives laborals actuals a Catalunya dels doctorats en les àrees de tecnologies industrials, tecnologies de la informació i la comunicació (TIC), i arquitectura, construcció i enginyeria civil.

A partir de les enquestes d'inserció laboral dels doctors que fa l'Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya (AQU), l'article s'endinsa, per a cadascuna de les tres àrees esmentades, en el lloc de treball dels doctors, la necessitat de tenir la titulació de doctor per a accedir-hi i per a fer la feina que hi fan, el grau de satisfacció amb els estudis i amb la feina, i la valoració de la decisió de fer el doctorat que van prendre en el seu moment.

Les dades que es presenten poden ser útils per als graduats que estiguin valorant seguir un doctorat en les àrees indicades. També poden interessar als responsables dels programes de doctorat, de cara a decidir l'orientació de la recerca que es duu a terme i el contingut de la formació associada.

Paraules clau: doctorat, perspectives laborals, enginyeries industrials, TIC, arquitectura i enginyeria civil.

CAREER PROSPECTS OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE DOCTORATE HOLDERS IN CATALONIA

Abstract: The decision to pursue a doctorate is not an easy one. While the duration and intensity of the effort required to achieve it can be reasonably conceived, the professional benefits that may be achieved are difficult to determine beforehand, as they depend on the employment opportunities of the future doctoral degree holders. This paper seeks to illustrate current job prospects in Catalonia for doctorate holders in the areas of industrial technologies, ICTs, architecture, construction, and civil engineering.

Based on the surveys on access to the labour market for doctors carried out by the Catalan University Quality Assurance Agency (AQU Catalunya), for each of the three areas we delve into the workplace of doctoral degree holders, the reasons why a doctorate is needed to access it and to perform the associated tasks, the degree of satisfaction of doctorate holders with their studies and position, and the evaluation of their decision to take a doctorate.

The information presented here may be useful for graduates who consider taking a doctorate in the above-mentioned areas. It may also be of interest to doctoral program managers, allowing them to prioritize the orientation of research in their programs and to better define the contents of the associated training.

Keywords: doctorate, career prospects, industrial engineering, ICTs, architecture and civil engineering.

1. Introducció

L'objectiu essencial de l'educació doctoral és la formació de nous investigadors. Aquesta formació s'estructura en programes de doctorat, el component principal dels quals és escriure una tesi doctoral (EUA, 2010). Fer un doctorat requereix als doctorands un esforç molt notable de persistència i tenacitat, que sol durar uns quatre anys. Durant aquest temps, els doctorands han de fer una recerca original, que donarà lloc a la tesi doctoral, i, alhora, fer la formació complementària que pugui requerir el programa de doctorat.

Per als graduats universitaris que podrien estar interessats a fer un doctorat, la decisió de fer-lo o no fer-lo no és senzilla (FindAPhD, 2020). La durada i la intensitat de l'esforç necessari per a fer-lo es poden determinar raonablement bé. En canvi, els beneficis personals que es poden aconseguir són difícils de conèixer d'antuvi, ja que, en bona part, depenen de les possibilitats d'inserció laboral dels futurs doctors. Aquestes possibilitats varien molt segons el programa de doctorat que s'hagi seguit i, alhora, segons la situació del mercat laboral en cada moment.

L'objectiu principal d'aquest article és proporcionar algunes dades sobre les perspectives laborals ac-

tuals dels doctorats en enginyeries i arquitectura a Catalunya. Aquestes dades les hem elaborat, bàsicament, a partir de les enquestes d'inserció laboral dels doctors que fa l'Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari de Catalunya (AQU) cada tres anys, des del 2008 fins al 2020 (vegeu l'apartat 2). Les dades, i les conclusions que se'n deriven, poden ser útils per a les persones que estiguin valorant fer un doctorat en els camps indicats. També poden interessar als responsables dels programes de doctorat corresponents, de cara a decidir l'orientació de la recerca que es duu a terme i, especialment, el contingut de la formació associada.

Aquest article s'estructura en set seccions principals i altres de complementàries. Pel que fa a les principals, a la secció següent es descriuen les fonts de les dades d'inserció laboral que s'han usat i com s'han usat. La tercera secció mostra la distribució dels llocs de treball dels doctors i com ha anat evolucionant amb el temps. La quarta secció analitza la necessitat del doctorat per a accedir a un lloc de treball i per a fer la feina que correspon. La cinquena secció se centra en la valoració personal del doctorat i mostra el grau de satisfacció dels doctors amb el doctorat que han fet i amb la feina que fan, així com la resposta que donen a la pregunta de si repetirien o no el doctorat. La sisena secció analitza la relació que hi ha entre la necessitat del doctorat a la feina i la valoració personal del doctorat. A la secció setena s'exposen les conclusions de l'article.

2. Fonts de les dades

La font principal de les dades que es presenten en aquest article ha estat el conjunt de les enquestes d'inserció laboral dels doctors de les universitats catalanes que elabora l'AQU (AQU, 2020a i 2020b). En cadascuna s'enquesta les persones doctorades fa cinc o sis cursos. L'enquesta del 2020 recull les respostes de les persones doctorades els cursos 2014-2015 i 2015-2016.

En aquest treball hem considerat només els doctors que tenen ciutadania espanyola. Els motius d'haver pres aquesta opció són dos:

- 1) Les tres enquestes fetes entre el 2008 i el 2014 només es van passar als doctors espanyols.
- 2) El grau de resposta de les enquestes del 2017 i del 2020 per part de ciutadans d'altres països fou només del 12% i el 15%, respectivament, molt inferior al de la ciutadania espanyola, que es va situar entre el 46% i el 68%, de manera que els resultats d'aquest grup són molt més representatius (AQU, 2020a).

Les enquestes de l'AQU agrupen els programes de doctorat en cinc àmbits: humanitats, ciències socials, ciències experimentals, ciències de la salut i àrea tècnica. En aquest treball considerarem només els de l'àmbit de l'àrea tècnica, que és on estan situats els programes d'enginyeries i arquitectura. Dins de cada àmbit, l'enquesta subdivideix els programes per àrees. Dins de l'àmbit de l'àrea tècnica, es consideren, bàsicament, quatre àrees:

- 1) Tecnologies industrials.
- 2) Tecnologies de la informació i la comunicació (TIC).
- 3) Arquitectura, construcció i enginyeria civil —«arquitectura i enginyeria civil», d'ara en endavant.
- 4) Enginyeria agrícola i forestal, i pesca.

En aquest treball ens centrarem en les tres primeres. Dins de cadascuna d'aquestes àrees, només considerarem les enquestes a doctors que treballaven en el moment de fer l'enquesta, que en cada àrea són més del 95%. En resulten 62, 85 i 57 enquestes per a les tres àrees considerades, respectivament, la qual cosa dona un total de 204 enquestes l'any 2020.

Pel que sabem, no s'han fet públiques gaires enquestes d'inserció laboral de doctors amb un nivell de detall similar al de l'AQU. Una excepció és l'enquesta italiana de l'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT, 2018), la darrera edició de la qual es va fer l'any 2018. En aquest treball ens referirem a algunes dades d'aquesta enquesta amb l'objectiu de comparar resultats amb la catalana.

Per tal que la comparació entre totes dues sigui significativa, de l'enquesta italiana tindrem en compte només:

- Els programes de doctorat de les universitats de la Llombardia, per ser la regió italiana que s'acostuma a considerar més semblant a Catalunya.
- Els doctors que tenen ciutadania italiana.
- Els programes de doctorat de dues àrees: *ingegneria industriale e dell'informazione* (que agrupa les de l'AQU de tecnologies industrials i TIC) i *ingegneria civile e architettura*.

Amb aquestes acotacions, tenim un total de 318 enquestes d'*ingegneria industriale e dell'informazione* i 162 d'*ingegneria civile e architettura*.

3. Lloc de treball

El lloc de treball dels doctors, cinc o sis anys després de doctorar-se, és un indicador explícit de la seva situació laboral i, alhora, de la seva possible carrera futura.

L'enquesta de l'AQU agrupa els llocs de treball en universitats, centres de recerca i empresa, i distingeix, també, si són públics o privats. Tenint en compte l'objectiu d'aquest treball i que el nombre de llocs de treball en universitats privades (18) i en centres de recerca públics i privats (35) és petit, distingirem quatre tipus de llocs de treball:

- Universitats (públiques i privades).
- Centres de recerca (públics i privats, diferents de les universitats).
- Empreses públiques (s'hi inclou tota l'Administració pública).
- Empreses privades.

La figura 1 mostra la distribució percentual dels doctors per lloc de treball i any de l'enquesta per a les tres àrees considerades. Il·lustra amb claredat el paper dominant del tàndem universitat més empresa privada pel que fa a l'absorció laboral de doctors al cap de cinc i sis anys d'haver obtingut el doctorat. Més enllà de la univer-

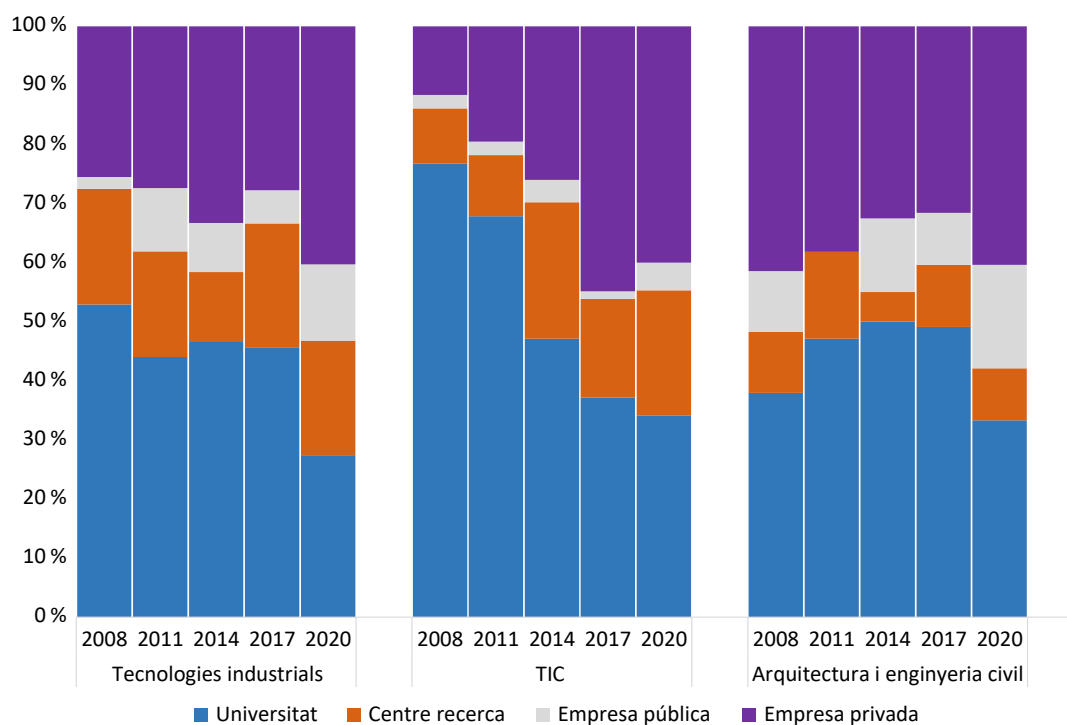


FIGURA 1. Evolució temporal del lloc de treball per àrees segons les enquestes de l'AQU dels anys 2008 a 2020.

siat i els centres de recerca, que podríem entendre com els «destins naturals» dels doctors, la figura 1 fa evident que l'empresa privada és un destí de notable importància pel que fa a l'absorció laboral de doctors en enginyeries i en arquitectura. De fet, en l'enquesta de l'any 2020 l'empresa privada va resultar el lloc de treball principal, exactament amb el mateix percentatge en les tres àrees: el 40%.

A l'àrea TIC s'observa clarament una tendència vers l'augment del pes de l'empresa privada en detriment de la universitat. També passa en tecnologies industrials, però en menor grau. En totes dues àrees la universitat ha perdut, ara com ara, la posició dominant que mostraven les primeres enquestes. La comparació dels resultats dels anys 2008 i 2020 apunta que quelcom, no pas menor, ha canviat en el mercat laboral dels doctors en ambdues àrees.

En el conjunt de les tres àrees, destaca el petit pes de l'empresa pública (Administració), tot i que la darrera enquesta indica una possible mitigació d'aquesta situació, la qual caldrà veure si es consolida en properes enquestes. Caldrà seguir amb atenció la reculada del pes de la universitat en les tres àrees que també mostra la darrera enquesta, més enllà del pes sostingut, ja esmentat, en el cas de les TIC. Amb l'excepció de l'àrea d'arquitectura i enginyeria civil, els centres de recerca se situen de manera sistemàtica entremig de l'empresa pública i el tàndem dominant universitat més empresa privada.

L'enquesta de la Llombardia del 2018 fa la mateixa agrupació dels llocs de treball. Per a l'àrea *ingegneria industriale e dell'informazione* dona els resultats següents (entre parèntesis, la comparació amb el valor de Catalunya el 2020):

- Universitats: 29% (semblant a la dada catalana).

- Centres de recerca: 14% (una mica per sota de la dada catalana).

- Empreses públiques: 5,4% (per sota de la dada catalana).

- Empreses privades: 51,6% (força per damunt de la dada catalana).

Per a l'àrea d'*ingegneria civile e architettura* els valors són molt semblants en les dues enquestes.

Un aspecte molt rellevant del lloc de treball és el país on s'ubica. La taula 1 ho resumeix, per àrees, pel que fa a l'enquesta de l'any 2020. En aquesta taula 1 es fa palès que, en una proporció molt alta (entre el 74% i el 83%, segons l'àrea), els doctors catalans en enginyeries i arquitectura treballen a Catalunya, si més no, durant els cinc i sis primers anys després d'obtenir el doctorat. També en aquest aspecte, les TIC es diferencien de les altres dues àrees, amb el percentatge més alt de llocs de treball a Catalunya: més de quatre de cada cinc doctors treballen a Catalunya, una dada, sens dubte, relacionada amb una forta demanda laboral en aquest sector.

TAULA 1
Distribució en percentatge del lloc de treball per països
(Catalunya/altres) dels doctorats a Catalunya
en enginyeries i arquitectura segons l'enquesta de l'any 2020

	Catalunya	Altres
Tecnologies industrials	74,2	25,8
TIC	83,5	16,5
Arquitectura i enginyeria civil	78,9	21,1

NOTA: La distinció simple entre Catalunya i altres (països) s'ha fet perquè s'ha considerat adient agrupar els llocs de treball de fora de Catalunya, atès que es tracta d'un nombre relativament petit.

4. Necessitat del doctorat a la feina

El doctorat pot ésser necessari per a la feina, principalment, per dos motius: primer, perquè el títol de doctor és un requisit per a accedir-hi i, segon, perquè comporta desenvolupar funcions pròpies de doctor. En el cas ideal, els doctors haurien de fer tasques que requerissin la titulació per a accedir al lloc de treball i, sobretot, que requerissin els coneixements o les capacitats apreses durant el doctorat. L'enquesta de l'AQU inclou preguntes que ajuden a conèixer la situació dels doctors catalans en aquest aspecte. La figura 2 mostra un resum de la situació basat en l'enquesta de l'any 2020.

En totes tres àrees, el doctorat s'exigeix molt més a les universitats i als centres de recerca (41 % - 66 % dels casos) que a l'empresa pública i a l'empresa privada (0 % - 27 %). Aquesta disparitat es pot explicar no tan sols pel perfil dels llocs de treball que s'ofereixen en uns casos i en els altres, sinó també perquè el doctorat és condició *sine qua non* per a l'estabilització i la promoció a places més reconegudes i ben remunerades, tant a la universitat com als centres de recerca. A l'empresa privada el percentatge major s'assoleix a l'àrea TIC (27 %), mentre que el menor es troba en arquitectura i enginyeria civil (4 %). L'empresa pública mostra percentatges especialment baixos en les tres àrees, entre el 13 % de tecnologies industrials i el 0 % de les TIC. Aquest darrer és el cas més extrem: de les quatre persones enquestades que treballaven a l'empresa pública, a cap se li havia exigut el doctorat.

A vegades s'anomena *sobrequalificació* el fet que un lloc de treball sigui ocupat per una persona que té una qualificació superior a la requerida per a accedir-hi (Di Paolo i Mane, 2014). En el cas del conjunt dels llocs de treball de les tres àrees que mostra la figura 2, el 66 % estan sobre-

qualificats, ja que el doctorat fou requerit només en 70 dels 204 llocs de treball de les tres àrees. Ara bé, aquesta conclusió té una matisació important que l'enquesta italiana palesa. L'enquesta AQU pregunta si calia la titulació de doctor per a accedir a la feina, amb les possibles respostes de «Sí» o «No» (en aquest cas, es poden requerir altres titulacions). En canvi, l'enquesta italiana admet una tercera resposta: «No calia, però fou útil (per exemple, en la valoració del currículum)». Els resultats que s'obtenen per a la Llombardia l'any 2018 són que calia el títol de doctor en el 44 % dels casos; no calia però fou útil en el 43 %, i no calia ni fou útil en el 13 %.

La figura 2 també mostra el percentatge de doctors que fan funcions de doctor al seu lloc de treball. A les universitats i als centres de recerca els valors són semblants i se situen a la banda alta (77 % - 90 %). A l'empresa privada i a l'empresa pública els valors són sensiblement més baixos, especialment, a la pública. A l'empresa privada, els percentatges van del 49 % de les TIC al 17 % d'arquitectura i enginyeria civil. Per tant, de l'enquesta de l'any 2020 es desprèn que la majoria de doctors que treballen en empreses privades no hi fan funcions de doctor. A l'enquesta de la Llombardia de l'any 2018, els percentatges són del 33 % per a *ingegneria industriale e dell'informazione* i del 16 % per a *ingegneria civile e architettura*. Així doncs, les xifres indiquen, pel que fa a les funcions de doctor a l'empresa privada, que la situació dels doctors catalans de les àrees de tecnologies industrials i TIC és millor que la dels homònims de la Llombardia.

Pel que fa a aquest indicador, el de desenvolupar funcions de doctor a la feina, l'empresa pública se situa, també, a la banda més baixa (25 % - 0 %), però cal tenir en compte —tal com hem vist abans— que el nombre de doctors que hi treballen és molt baix.

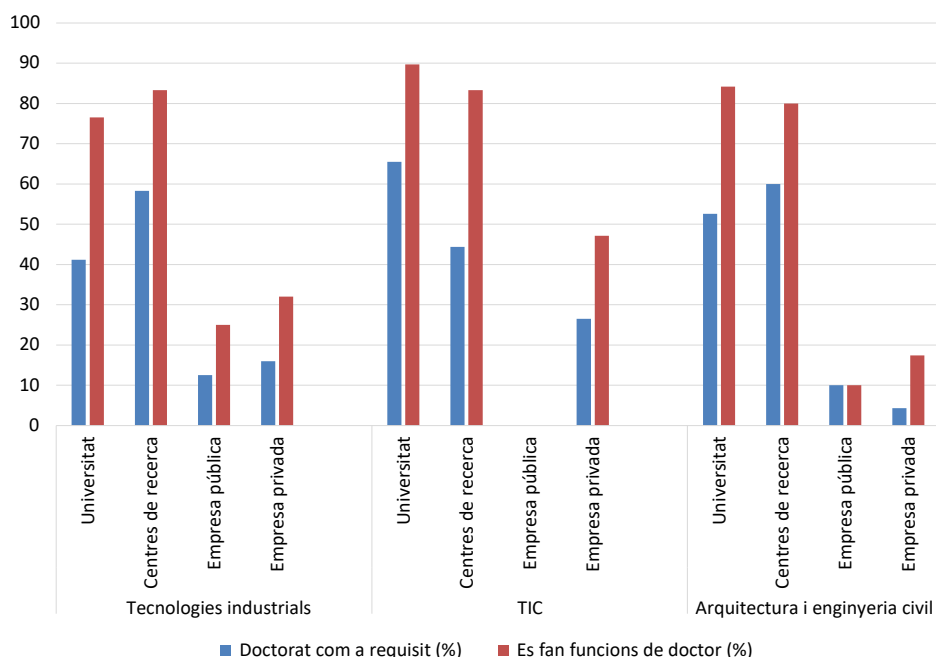


FIGURA 2. Casos en què el doctorat era un requisit per a accedir a la feina (blau) i en què es fan funcions de doctor (vermell), per àrea i lloc de treball, en percentatges, segons l'enquesta de l'AQU de l'any 2020.

5. Valoració personal del doctorat

L'enquesta de l'AQU també inclou preguntes que permeten conèixer quina valoració fan els doctors dels estudis de doctorat i de la feina que fan, així com de la decisió de fer el doctorat. La figura 3 mostra un resum de les tres valoracions a partir de l'enquesta del 2020.

La satisfacció amb els estudis es puntua de l'1 (gens positiva) al 7 (molt positiva). Hem considerat que estan satisfets si la resposta és superior a 4. La figura 3 mostra (barres blaves) els percentatges de doctors satisfets amb els estudis per àrea i lloc de treball. Els valors són alts i semblants (entre el 80 % i el 93 %) en les tres àrees per als doctors que treballen a les universitats i als centres de recerca. També són semblants, però clarament menors (entre el 65 % i el 72 %), per als que treballen en empreses privades. Els valors més alts en tecnologies industrials i TIC corresponen als doctors que treballen a l'empresa pública. En canvi, en arquitectura i enginyeria civil, el percentatge de doctors satisfets que treballen a l'empresa pública és el més baix de tota la sèrie (60 %). En el conjunt de les tres àrees, el 78 % dels doctors estan satisfets amb els estudis que van fer.

Els percentatges de doctors satisfets amb la feina per àrea i lloc de treball són alts i força semblants, entre el 78 % i el 100 %, en tots els casos (figura 3, barres vermelles). En la meitat dels 12 casos considerats, els doctors satisfets amb la feina se situen per damunt del 90 %: 2 en tecnologies industrials, 3 en TIC i 1 en arquitectura i enginyeria civil. El 100 % de satisfacció s'assoleix a l'empresa pública, tant en tecnologies industrials com en TIC, mentre que en arquitectura i enginyeria civil aquest valor màxim s'assoleix als centres de recerca. En el conjunt de les tres àrees, el 90 % dels doctors estan satisfets amb la feina que fan.

La valoració de la decisió de fer el doctorat s'extreu de la pregunta: «Si haguéssiu de començar de nou, tornaríeu a fer els estudis de doctorat?», amb dues respostes possi-

bles: «Sí» o «No». La figura 3 mostra (barres verdes) els percentatges de doctors que repetirien per àrea i lloc de treball. Els valors són molt semblants (entre el 77 % i el 84 %) en les tres àrees per als doctors que treballen a les universitats. Per als que treballen en centres de recerca, els valors són semblants en les àrees de tecnologies industrials i arquitectura i enginyeria civil (83 % i 80 %, respectivament), però, en canvi, la valoració dins l'àrea TIC baixa sensiblement (només el 56 % repetiria el doctorat). Per als doctors que treballen en empreses públiques, els valors varien molt segons l'àrea (entre el 50 % i el 88 %). Finalment, per als que treballen en empreses privades, la valoració és similar al cas dels centres de recerca: els valors en les àrees de tecnologies industrials i arquitectura i enginyeria civil s'assemblen força (72 % i 78 %, respectivament), però a l'àrea TIC el percentatge de les persones que tornarien a cursar el doctorat baixa de manera notable (61 %). En el conjunt de les tres àrees, el 73 % dels doctors repetiria els estudis de doctorat.

Vist en conjunt, és clar que els valors que mostren el grau de satisfacció amb els estudis i la feina, i una resposta afirmativa sobre la possibilitat de tornar a fer els estudis de doctorat, són més grans en tecnologies industrials. En canvi, TIC i arquitectura i enginyeria civil registren més variabilitat i concentren els valors més baixos (figura 3).

L'enquesta de la Llombardia del 2018 també inclou la pregunta sobre la repetició, però amb una variació que matisa la de l'AQU. La variació és que s'admeten tres respostes: «Sí», «No» i «No ho sé». Els resultats són els següents:

— Per a l'àrea d'*ingegneria industriale e dell'informazione*, repetirien el 67 %, no ho farien el 15 % i no ho saben el 18 %. El percentatge de les persones que repetirien és una mica inferior al de l'enquesta de l'AQU del 2020 per a les dues àrees (72 %).

— En l'àrea d'*ingegneria civile e architettura* repetirien el 53 %, no ho farien el 20 % i no ho saben el 27 %. El percentatge de les persones que repetirien és força inferior a l'enquesta de l'AQU del 2020 (75 %).

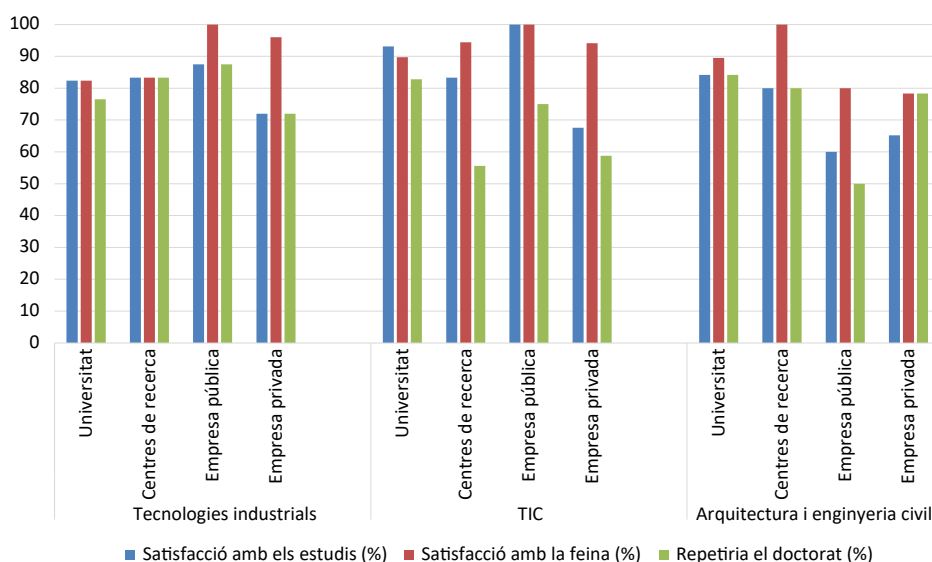


FIGURA 3. Percentatges de satisfacció amb els estudis (blau) i amb la feina (vermell), i de doctors que repetirien el doctorat (verd), per àrea i lloc de treball, segons l'enquesta de l'AQU de l'any 2020.

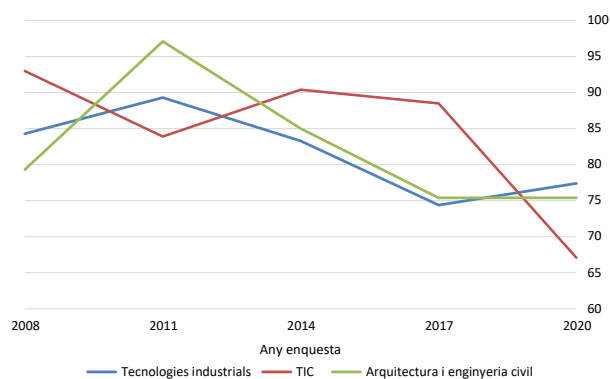


FIGURA 4. Evolució temporal del percentatge de doctors que repetirien el doctorat, per àrea, segons les enquestes de l'AQU dels anys 2008 al 2020.

TAULA 2
Percentatge de doctors que repetirien el doctorat per àrea i país
(Catalunya/altres) del lloc de treball, segons l'enquesta de l'any 2020

	Catalunya	Altres
Tecnologies industrials	73,9	87,5
TIC	66,2	71,4
Arquitectura i enginyeria civil	73,3	83,3

NOTA: La distinció simple entre Catalunya i altres (països) s'ha fet perquè s'ha considerat adient agrupar les respostes dels doctors que treballen fora de Catalunya, atès que es tracta d'un nombre relativament petit.

La figura 4 mostra l'evolució temporal per àrea del percentatge de doctors que repetirien els estudis de doctorat. S'observa una tendència general a la baixa des del 2008 i el 2011 fins al 2020. A la darrera enquesta, la del 2020, en les tres àrees el percentatge és inferior al del 2008. Els darrers anys, la baixada més forta s'ha registrat a l'àrea TIC, amb un retrocés de 22 punts: des del 89 % el 2017 fins al 67 % el 2020. En aquesta àrea, el percentatge dels doctors que treballen en empreses privades i repetirien ha baixat també 30 punts: del 91 % el 2017 al 61 % el 2020.

Finalment, la taula 2 mostra el percentatge de doctors que repetirien el doctorat per àrea, segons si treballen a Catalunya o en altres llocs. En les tres àrees, el percentatge dels doctors que treballen a Catalunya i repetirien és inferior al dels que treballen en altres llocs.

6. Relació necessitat-valoració

Es poden fer diverses anàlisis sobre la relació entre la necessitat de tenir el doctorat en una feina (requisit i funcions) i la valoració global del doctorat (satisfacció amb els estudis i amb la feina, i amb la decisió presa de fer el doctorat). Per a l'objectiu d'aquest article pensem que les anàlisis més interessants són la relació entre si es fan o no funcions de doctor i, primer, la satisfacció a la feina, i, segon, la satisfacció amb la decisió de fer el doctorat.

La figura 5 mostra, per a cadascuna de les tres àrees considerades, el percentatge de doctors que estan satis-

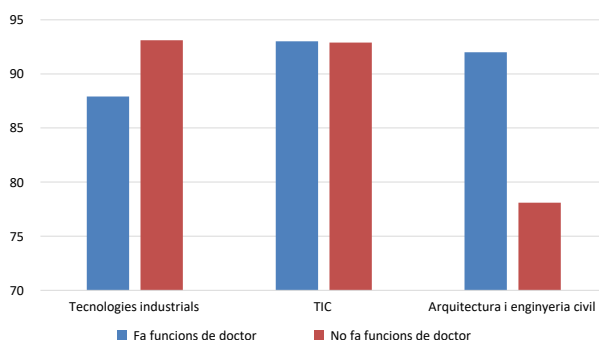


FIGURA 5. Percentatges de satisfacció amb la feina segons si desenvolupen funcions de doctor, per àrea, a partir de l'enquesta de l'AQU de l'any 2020.

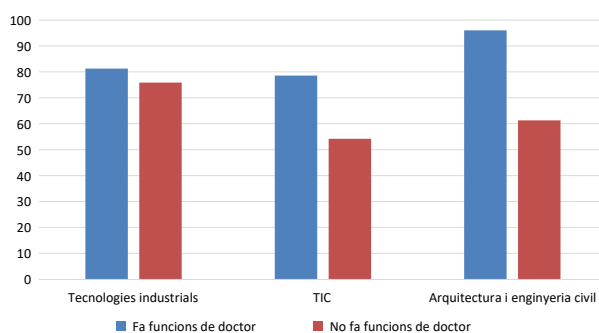
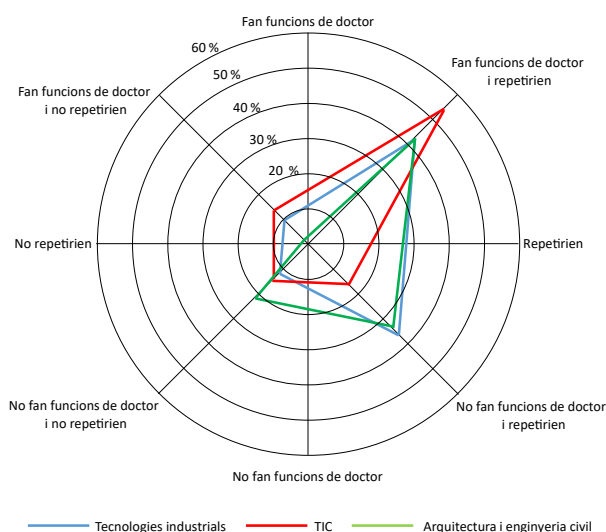


FIGURA 6. Percentatges de doctors que repetirien el doctorat segons si desenvolupen funcions de doctor a la feina, per àrea, a partir de l'enquesta de l'AQU de l'any 2020.

fets amb la feina que fan, segons si fan o no funcions de doctor. Es pot veure que en l'àrea de les TIC no hi ha cap diferència entre els dos casos, que en tecnologies industrials la diferència és insignificant (5 %) i que en arquitectura i enginyeria civil és una mica més gran (14 %), però també petita.

La figura 6 mostra, també per a cadascuna de les tres àrees per separat, els percentatges de doctors que repetirien el doctorat segons si desenvolupen funcions de doctor a la feina, o no. El percentatge de doctors que tornarien a fer el doctorat és menor entre els que no fan funcions de doctor, cosa esperable. La diferència no és notable per a les tecnologies industrials, però ho és molt (24 %) per a les TIC i encara més (35 %) per a arquitectura i enginyeria civil.

Si classifiquem els doctors d'una àrea segons si desenvolupen funcions de doctor i si repetirien el doctorat, s'obtenen quatre grups. La distribució percentual del nombre de doctors en aquests grups dona una imatge més precisa de la seva situació laboral i de la valoració que en fan. La figura 7 mostra aquesta distribució en les tres àrees. El grup més nombrós (43 % - 55 %) és el dels doctors que fan funcions de doctor i repetirien el doctorat. El següent és el dels que no fan funcions de doctor, però repetirien el doctorat. En aquest grup hi ha una diferència notable entre tecnologies industrials i arquitectura i enginyeria civil (34 % - 36 %), d'una banda, i TIC (16 %), de l'altra. El tercer grup és el dels que ni fan funcions de doctor ni repetirien el camí acadèmic (12 % - 21 %). El



quart grup és el dels que, tot i fer funcions de doctor, tampoc no repetirien. En aquest grup, arquitectura i enginyeria civil (2 %) es diferencia clarament de tecnologies industrials i TIC (12 % - 14 %).

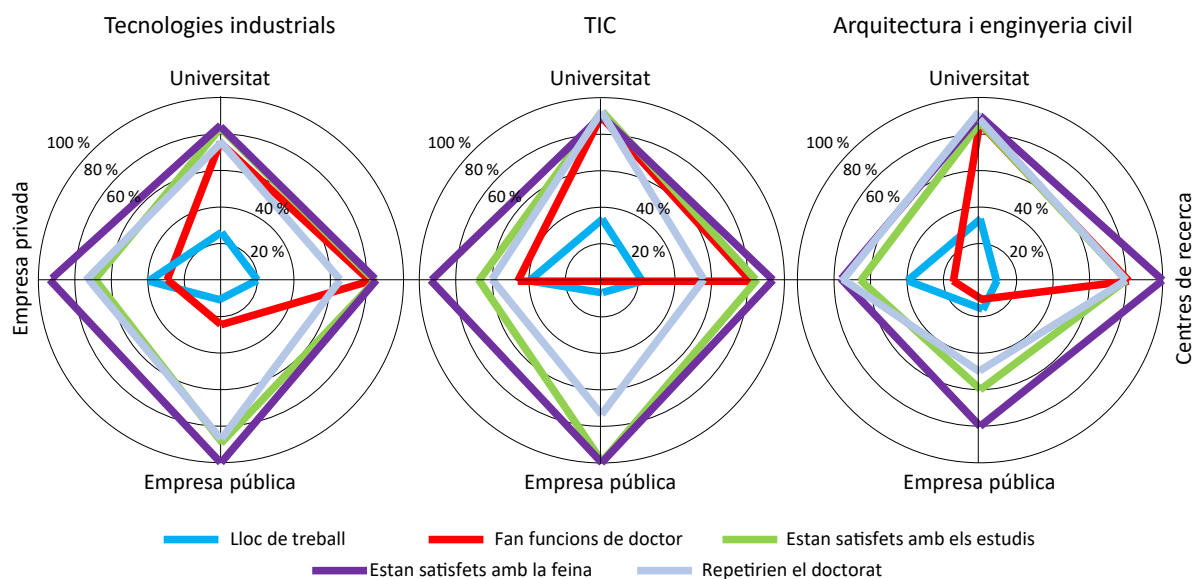
7. Conclusions

Les dades analitzades mostren un seguit de fets rellevants que es resumeixen als gràfics comparatius gairebé integrals de la figura 8. Així, pel que fa a l'absorció laboral de doctors al cap de cinc i sis anys d'haver obtingut el doctorat, en termes de lloc de treball, és ben clar el paper domi-

nant del duo universitat més empresa privada per a les tres àrees considerades. Els centres de recerca tenen un paper menor, mentre que el pes de l'empresa pública (Administració) gairebé el podríem qualificar de residual, si de cas, amb l'excepció relativa de l'àrea d'arquitectura i enginyeria civil (figura 8). Es pot concloure, doncs, que l'empresa pública mostra, en general, una escassa proactivitat pel que fa al reclutament de personal altament qualificat des del punt de vista acadèmic. D'altra banda, convé assenyalar, pel que fa a l'àrea TIC, l'increment sostingut, els darrers dotze anys, del pes de l'empresa privada com a mercat de llocs de treball per a doctors, en detriment de la universitat (figura 1).

Pel que fa a desenvolupar les funcions de doctor, els vèrtexs més prominents del rombe corresponen, en les tres àrees, a universitats i a centres de recerca, mentre que l'empresa privada i la pública presenten valors molt més modestos, o, fins i tot, nuls, com en el cas de l'àrea TIC a l'empresa pública (figura 8). A l'empresa privada, tot i així, i dins l'àrea TIC, el 49 % fa funcions de doctor segons l'enquesta de l'AQU de l'any 2020 (figura 2). Cal destacar, també, la qüestió de la sobrequalificació en els llocs de treball ocupats per doctors, que és del 66 %, ja que el doctorat es requeria només en 70 dels 204 llocs de treball per al conjunt de les tres àrees (vegeu l'apartat 4). Aquesta dada mostra un clar desacoblament entre la qualificació acadèmica i el perfil dels llocs de treball, deixant de banda les especificitats d'una àrea o de l'altra i d'un oferidor de feina o l'altre.

La satisfacció amb la feina és la variable que, sense exclusió, aporta unes valoracions més positives (figura 8), tant si es desenvolupen funcions de doctor com si no. Així, més del 90 % dels enquestats estan satisfets amb les dues circumstàncies en el cas de les TIC, en el cas dels que no



fan funcions de doctor en l'àrea de tecnologies industrials i en el cas dels que sí que fan funcions de doctor en arquitectura i enginyeria civil (figura 5). El valor més baix de satisfacció amb la feina pertany als que no fan funcions de doctor en l'àrea d'arquitectura i enginyeria civil, però, tot i així, és prou alt (78 %) (figura 5).

La satisfacció amb els estudis de doctorat és la segona variable amb valoracions més altes, per a les tres àrees i per als quatre tipus d'ocupadors considerats, matisable segons l'ocupador per a l'àrea d'arquitectura i enginyeria civil (figura 8). N'estan especialment satisfets els doctors que treballen en universitats i en centres de recerca. Per al conjunt de les tres àrees, el 78 % dels doctors estan satisfets amb els estudis que van fer (figura 3).

És alt, també, el percentatge dels que declaren que repetirien el doctorat, amb valors naturalment més alts (més del 79 %) entre els que fan funcions de doctor en qualsevol de les tres àrees que entre els que no, amb una diferència minsa en tecnologies industrials i una de més marcada en l'àrea de les TIC i en arquitectura i enginyeria civil (figura 6).

En definitiva, els nostres doctors en tecnologies industrials, TIC i arquitectura i enginyeria civil:

1) Estan, generalment, satisfets amb els estudis de doctorat, fins al punt que més de la meitat (i, de vegades, molt més), en tots els casos (és a dir, facin funcions de doctor en qualsevol de les tres àrees, o no), tornarien a fer el doctorat. Tot i així, mereix atenció la tendència minvant generalitzada del percentatge de doctors que repetirien el doctorat, més pronunciada en l'àrea TIC (figura 4).

2) Mostren també un grau de satisfacció que cal qualificar de molt alt, facin funcions de doctor a la feina, o no.

3) Desenvolupen funcions de doctor, sobretot, quan treballen en universitats i en centres de recerca, i molt menys a l'empresa privada i, sobretot, a la pública (administracions).

4) Mentre que els llocs de treball prevalents dels nostres doctors en el període 2008-2020 han estat les universitats i els centres de recerca, s'observa una tendència més o menys definida per part de l'empresa privada a ocupar doctors en les àrees de tecnologies industrials i, sobretot, en l'àrea de les TIC, en detriment, sobretot, de les universitats, clarament dominants al començament del cicle temporal considerat i que han perdut de manera progressiva el paper com a ocupadores primàries de doctors en aquestes àrees.

5) A l'empresa privada i a la pública és infreqüent que el doctorat sigui un requisit per a accedir a la feina.

8. Agraïments

Els autors volen expressar el seu agraïment a l'AQU pel seu suport i per respondre en tot moment a les qüestions plantejades en relació amb les dades de les enquestes d'inserció laboral dels doctors i doctores de les universitats catalanes.

Bibliografia

- AQU = AGÈNCIA PER A LA QUALITAT DEL SISTEMA UNIVERSITARI DE CATALUNYA (2020a). 2020: *La inserció laboral dels doctors i doctores de les universitats catalanes* [en línia]. Barcelona: AQU. 44 p. <http://www.aqu.cat/doc/doc_69542234_1.pdf> [Consulta: 20 novembre 2020].
- (2020b). *Dades del sistema universitari català* [en línia]. <<https://estudis.aqu.cat/dades/Web/Inici>> [Consulta: 20 novembre 2020].
- DI PAOLO, A.; MANE, F. (2014). «Are we wasting our talent? Overqualification and overskilling among PhD graduates». *XREAP Doc. Treball* [en línia], 2014-06. <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2456012>>.
- ESF = EUROPEAN SCIENCE FOUNDATION (2017). 2017 *Career tracking survey of doctorate holders* [en línia]. Estrasburg, França: ESF. 108 p. <https://www.esf.org/fileadmin/user_upload/esf/F-FINAL-Career_Tracking_Survey_2017__Project_Report.pdf> [Consulta: 2 gener 2021] [informe del projecte].
- EUA = EUROPEAN UNIVERSITY ASSOCIATION (2010). *Salzburg II recommendations: European universities' achievements since 2005 in implementing the Salzburg principles* [en línia]. Brussel·les, Bèlgica: EUA. 8 p. <https://www.eua-cde.org/downloads/publications/2010_euacde-universities-achievements-salzburg-principles.pdf> [Consulta 30 desembre 2020].
- FINDAPHD (2020). «Is a PhD worth it?» [en línia]. <<https://www.findaphd.com/advice/doing/is-a-phd-worth-it.aspx>> [Consulta 20 desembre 2020].
- ISTAT = ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA (2018). *Anno 2018: L'inserimento professionale dei dottori di ricerca* [en línia]. Roma, Itàlia: ISTAT. 21 p. <<https://www.istat.it/it/files/2018/11/Report-Dottori-di-ricerca-26nov2018.pdf>> [Consulta: 20 novembre 2020].

PROJECTES STEAM: APRENTENT PER ASSAIG I ERROR

Jordi Achón

*Mestre d'educació secundària obligatòria i doctor en pedagogia. Col·laborador del CESIRE (Departament d'Ensenyament).
jordiachon@gmail.com*

Resum: L'article és un resum de l'*Assaig de didàctica*, en el qual es proposa i es desenvolupa un model d'aprenentatge per assaig i error en entorns didàctics que aposten per la resolució de problemes i el treball per projectes STEAM (acrònim anglès de 'ciència, tecnologia, enginyeria, art i matemàtiques') per a l'educació secundària obligatòria (ESO). A fi d'aconseguir la necessària empatia cognitiva amb l'alumnat, es presenta la teoria de la psicologia cognitiva de les tres ments (autònoma, executiva i reflexiva), les quals s'identifiquen en produccions cognitives de l'alumnat. Al mateix temps, aquesta teoria ens proporciona un marc fèril per a interpretar els errors dels alumnes i per a esbrinar les principals heurístiques que s'engueguen en els processos cognitius dels aprenentatges. Amb aquest marc teòric, s'elabora un model didàctic per a l'aprenentatge per assaig i error amb el qual s'exemplifica una activitat curricular sobre el motor elèctric.

Paraules clau: STEAM, didàctica, de l'error al coneixement, aprenentatge basat en problemes, pensar i fer un motor elèctric.

THE STEAM PROJECTS: LEARNING BY TRIAL AND ERROR

Abstract: This paper provides a summary of the book *Assaig de didàctica* (Essay on didactics) (<http://hdl.handle.net/2117/179442>), which proposes and develops a trial and error learning model in didactic environments for problem solving and work on STEAM projects in secondary education. In order to achieve the necessary cognitive empathy with students, we present the cognitive psychology theory of the three minds (autonomous, executive and reflective), which are identified in students' cognitive productions. At the same time, this theory provides a fertile soil for interpreting the errors of students and for drawing out the principal heuristics involved in the cognitive processes of learning. With this theoretical framework, a didactic model is developed for trial and error learning and it is used to exemplify a curricular activity on the electric motor.

Keywords: STEAM, didactics, error to knowledge, problem-based learning, devising and making an electric motor.

Introducció

Per al sisè aniversari de la meua neta vaig regalar-li una joguina programable. Era una mena de marieta riallera d'un pam de llargada. Es desplaçava amb rodes i tenia un cos transparent, dissenyat per a mostrar-ne els components electrònics. Se la programava mitjançant uns botons situats a l'esquena. El repertori d'accions que podia fer era molt simple: avançar, retrocedir, girar a la dreta, girar a l'esquerra, pausa, esborrar memòria i executar. Com que la seva usabilitat era força reeixida, no li van caldre gaires explicacions per a manejar-la.

Poc després, quan ja l'havia remenada i marejada tant com va voler, li vaig proposar el repte de programar-la per recórrer un quadrat, figura que vaig dibuixar a terra amb un dit. Se l'il·luminà la cara i va començar a prémer ràpidament els botons. En executar el programa, la marieta va avançar en línia recta quatre vegades consecutives i després va girar cap a la dreta també quatre vegades consecutives, de manera que acabà el trajecte fent una volta sobre ella mateixa.

Quan va avançar per segona vegada i no va girar, a la meua neta ja li va aflorar a la cara una expressió entre la sorpresa i la contrarietat: la marieta no feia el que ella volia. Tot i que hi vaig insistir, va rebutjar un nou assaig i se'n va anar a fer una altra cosa.

L'algorisme que ella havia concebut era aquest: avança, avança, avança, avança, gira a la dreta, gira a la dreta, gira a la dreta, gira a la dreta. El va pensar en un sol instant, sens dubte, imaginant-se un quadrat i descomponent-lo (analitzant-lo) en parts elementals: quatre costats i quatre cantonades per girar.

L'endemà, una nena cofoia es va plantar davant meu amb la marieta a la mà i, sense badar boca, la va deixar a terra i va prémer el botó d'execució: la marieta va recórrer el quadrat imaginari, i, per bé que els sons de cada acció i les seves pampallugues eren les mateixes que el dia anterior, la tonada, no, ja que l'ordre en què es produí la successió de llums i sons no era el mateix que el dia anterior. Era la tonada de l'èxit. La nova temptativa havia reeixit: quatre vegades (avança i gira a la dreta).

Contràriament al que semblava, no havia pas renunciat al projecte, perquè havia assumit el repte derivat del primer fracàs i havia continuat pensant-hi una vegada assolit el petit trasbals emocional. És obvi que va identificar l'error en l'ordre de les accions d'avançar i girar, i les va reordenar per conferir un nou algorisme.

Aposto que ho feu a través d'una intuïció ràpida, en aquest cas, encertada. Aprenem dels errors i en traiem un profit cognitiu d'una manera implícita. És una capacitat cognitiva codificada al nostre ADN, però que es pot educar.

D'això va aquest article, de com conrear (llegiu-hi *didàctica*) la capacitat d'aprendre per assaig i error de l'alumnat en entorns didàctics pluridisciplinaris que aposten per la resolució de problemes i pel treball per projectes.

Tot plegat s'emmarca en la llarga tradició de la pedagogia activa, l'actualització de la qual també inspira els moviments contemporanis de l'educació STEAM (acrònim anglès de 'ciència, tecnologia, enginyeria, art i matemàtiques'), com el que impulsa el Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya.¹ I també cal esmentar el vesant educatiu del moviment «Fem-ho».²

Finalment, he d'esmentar que aquest article és un resum de la investigació-acció que he dut a terme a l'aula i també vull agrair a Iniciativa Digital Politècnica de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) que la publicués amb el títol *Assaig de didàctica* (Achón, 2020).

La primera part de l'article, la més extensa, se centra en els fonaments teòrics d'un model didàctic per a l'aprenentatge per assaig i error, que són el resultat d'un bon grapat d'activitats experimentades de l'aula estant, que, per raons d'espai, no s'exposaran, per bé que les podeu trobar a l'*Assaig*. A la segona part, més breu, ja s'hi exposa una activitat didàctica elaborada amb aquest model.

Didàctica i empatia cognitiva

L'empatia és la facultat de comprendre els sentiments i les emocions de les altres persones. Si les comprens és perquè pots interpretar-les en els gestos i en les expressions d'altri, i això és possible perquè les coneixes i en tens experiència. L'actitud empàtica és considerada com un dels puntals de l'acció pedagògica.

El significat més comú de l'empatia fa referència a les emocions i prou se sap que aquestes tenen un paper determinant en els aprenentatges. No obstant això, en l'àmbit pedagògic, l'empatia també té una dimensió cognitiva o epistemològica. Vull dir que no tan sols necessites comprendre com i què senten els teus alumnes mentre aprenen, sinó que també has de comprendre com i què pensen.

De la mateixa manera que la punta de l'iceberg emocional són els gestos i les expressions de la cara, la punta de l'iceberg mental de les noies i els nois quan estan en

mode d'aprenentatge són les seves produccions intel·lectuals i materials. Tot allò que pensem durant la resolució d'un problema és fruit d'un procés cognitiu, el qual, avui dia, encara no és observable directament. Ara per ara, les imatges de l'activitat cerebral obtingudes per la neurotecnologia no manifesten com s'ho fa la ment/cervell per sumar dos més dos. Hi ha molt per a descobrir.

De manera que si volem comprendre com i què pensa un alumne concret mentre resol un determinat problema, no tenim cap altra alternativa que interpretar les seves produccions cognitives a partir de models epistemològics i psicològics. En aquest marc, comprendre com es produeixen els errors d'aprenentatge és una de les claus de les bones pràctiques docents. Tot un repte per a la didàctica, ja que, en la mesura que entens què balla al cap del teu alumnat mentre aprèn, podràs optimitzar l'estratègia docent.

Un dels paradigmes de la psicologia cognitiva contemporània (Stanovich, 2011; Kahneman, 2011; Gigerenzer, 2007) estableix que en la nostra ment operen dos sistemes cognitius quan som interpel·lats a resoldre un problema, a raonar, a prendre una decisió, a emetre un judici o a elaborar una conjectura. En la nomenclatura més acadèmica se'ls anomena *sistema I* i *sistema II*.

Els processos cognitius que duu a terme el sistema I, també conegut com a ment autònoma o inconscient cognitiu, es caracteritzen per la rapidesa i per l'automatisme. Bàsicament, són heurístics i associatius. Són de baix esforç cognitiu, és a dir, que no requereixen una concentració mental per a produir-se. Són les idees que ens apareixen a la consciència de sobte, sempre relacionades amb un problema que ens ocupa o que ens ha ocupat en un moment determinat. És el que col·loquialment coneixem com a *intuïció*. Per descomptat, són la font tant d'errors i de biaixos cognitius com de solucions. Quant als continguts que processa el sistema I, són reals, concrets i sempre contextualitzats en un domini específic.

Un dels paradigmes de la psicologia cognitiva és el reconeixement d'una ment inconscient amb capacitat cognitiva i d'aprenentatge. Pot sorprendre, però és una evidència empírica que tothom pot corroborar; si no, com expliquem l'aprenentatge de la parla, per exemple?

Els processos cognitius del sistema II pertanyen a l'àmbit del jo conscient. Són processos lents, controlats, analítics, basats en regles i d'alt esforç cognitiu. Quant als continguts que processen, són hipotètics, abstractes, descontextualitzats i de dominis generals. Hi ha autors que hi distingeixen dos subsistemes (Stanovich, 2011): la ment algorísmica o executiva, i la racional o reflexiva. La primera executa procediments reglats, fruit d'aprenentatges conscients, mentre que la segona fixa objectius, tria i controla les execucions algorísmiques, i avalua les propostes que emergeixen de la ment autònoma.

És obvi que els dos sistemes funcionen en paral·lel i que es realimenten mútuament, tal com es representa a l'esquema de la figura 1.

De l'aula estant, de poc ens serveix aquest model de la ment si no té una aplicació pràctica. Com a model cognitiu,

1. <https://projectes.xtec.cat/steamcat>.

2. <https://conventagusti.com/maker>.

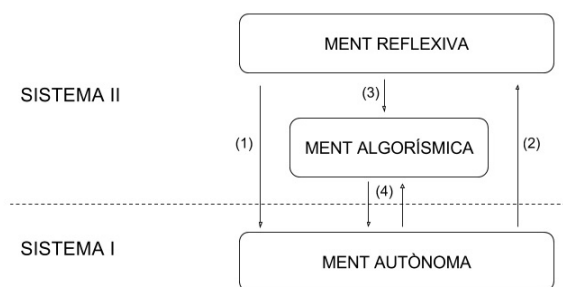


FIGURA 1. Esquema de les tres ments de Keith Stanovich.
FONT: Keith STANOVICH (2011), *Rationality and the reflective mind*, Nova York, Oxford University Press, p. 33.

és una eina metodològica per a modelar l'aprenentatge de coneixements concrets. La seva usabilitat depèn de practicar una mena d'enginyeria didàctica inversa que desconstrueixi els coneixements concrets i ubiqui els elements constituents en cadascuna de les tres ments del model cognitiu. Tot plegat esdevindrà un coneixement didàctic que bastirà l'estratègia docent.

D'heurístiques i problemes

La llegenda posa l'exclamació «Eureka!» en boca d'Arquimedes en el moment en què va descobrir (comprendre) el principi de la flotació. En els àmbits de la ciència i de la tecnologia es qualifica d'heurístic qualsevol procés de resolució d'un problema mitjançant mètodes no rigorosos, és a dir, quan se cerca la solució per tempteig o per procediments emprírics, és a dir, sense usar procediments inductius o deductius. En informàtica, per exemple, un algorisme es qualifica d'heurístic quan normalment troba bones solucions, encara que hi hagi constància que pugui ser erroni en alguns casos. En el camp de la didàctica de la matemàtica, l'ensenyament de la metodologia heurística va originar un corrent pedagògic, vigent actualment, anomenat *aprenentatge basat en problemes* (ABP), del qual George Pólya (1887-1985) fou pioner.

En psicologia cognitiva, el terme es refereix a les propostes d'acció que la nostra ment ens presenta de manera espontània, automàtica i ràpida quan se'ns demana actuar, emetre un judici o prendre una decisió. Les heurístiques, doncs, pertanyen a la constel·lació de les intuïcions i de les conjectures, i són el resultat de processos cognitius que s'esdevenen en les profunditats de la ment autònoma, els quals, literalment, llampeguen en l'espai mental de la consciència.

Les tres característiques bàsiques i generals de les heurístiques (Gigerenzer, 2007; Kahneman, 2011) són les següents:

- Són ràpides i frugals, perquè necessiten poca informació per a activar-se.
- No són el resultat d'un esforç mental.
- Són autònomes, és a dir, que no les produïm d'una manera voluntària, ens venen al cap quan som interpellats de manera directa per algun requeriment o per un problema, o bé quan no hi pensem voluntàriament.

Tenim una predisposició natural a seguir les nostres heurístiques, a fer-ne cas i en elles basem bona part dels nostres judicis i decisions; per això també són una font d'errors.

Quant a l'aprenentatge per assaig i error, la derivada pedagògica d'aquest concepte és clara. Com que són proactives, les heurístiques (*H*) mobilitzen algorismes (*A*), de manera que el binomi $H \rightarrow A$ defineix i concreta l'assaig o temptativa per resoldre el problema que ens ocupa.

De l'aula estant no hi ha millor mètode per a estimular la producció d'heurístiques per part de l'alumnat que les pluges d'idees, tot afavorint un ambient emocional propici, és a dir, superar les pors i les vergonyes dels nois i de les noies a equivocar-se. El docent té el paper d'administrar els protagonismes i de fomentar la cooperació perquè una bona idea en boca d'un alumne acostuma a tenir un bon precedent en boca d'un altre, és a dir, un jugador marca el gol perquè un altre li passa la pilota.

El paper de les heurístiques en els aprenentatges escolars i l'explotació epistemològica i didàctica de les heurístiques errònies són dues realitats poc investigades, per bé que arreu del territori escolar hi ha un munt de bones pràctiques docents que, per pur instint professional, es mouen en aquests paràmetres.

Tant si som en un marc STEAM com si no, és un exercici pedagògic apassionant identificar les heurístiques que fan possible l'aprenentatge de la resolució de problemes concrets i elaborar-ne una descripció. Seguint el tradicional enfocament d'investigació-acció de l'aula estant, a l'*Assaig de didàctica* (Achón, 2020) hi exposo les que em semblen més rellevants:

a) Heurístiques de la interrogació

La ment autònoma està especialment dotada per a distingir allò que és sorprenent o singular d'allò que considerem com a normal o habitual, i quan això s'esdevé, les preguntes ens llampeguen a la consciència i ens interpel·len. Immediatament, la ment racional les passarà pel sedàs del llenguatge i, tot mobilitzant la ment algorísmica, formulem preguntes de manera espontània.

Ara bé, aquesta espontaneïtat es pot educar per fer-la més intel·ligent. Hi ha unes quantes estratègies per a aprendre a formular bones preguntes (Achón, 2020). Per exemple, és més eficient, per concreta, començar una pregunta amb *com* + verb que amb *per què* + nom. Una segona estratègia consisteix a capgirar l'ordre causa-efecte d'un fenomen físic. Una tercera és preguntar-se *Què passaria si...*. Una quarta és conjecturar per analogia.

b) Heurístiques de l'exploració i del descobriment

Si després de llegir o formular un problema s'entreu que la solució depèn d'examinar diferents opcions que són enumerables i practicables, és a dir, que es poden definir i

concretar atenint-nos a un criteri prou precís per a generar-ne variacions, aleshores, som davant d'una heurística exploratòria. Certament, el llampegueig del panorama per explorar és difús i poc clar, precisament, perquè no està explicitat.

Exploració i descobriment caminen agafats de la mà. Explorem un conjunt d'opcions amb l'expectativa de descobrir-hi alguna cosa. A diferència del llampegueig tènue de l'espai d'opcions per explorar, el del descobriment és un llampec intens de clarividència.

c) *Heurístiques del raonament per analogia*

Les analogies són el motor del pensament (Hofstadter i Sander, 2013) i construeixen les categories amb què opera la nostra ment. Una analogia estableix una associació entre dos objectes (objecte d'origen i objecte de destí) que presenten un cert grau de semblança. El llampegueig d'aquesta heurística és una conjectura que pretén esbrinar si una determinada propietat detectada a l'objecte d'origen es trobarà també a l'objecte de destí, si no igual, almenys semblant. Evidentment, la conjectura caldrà provar-la.

d) *Heurístiques del raonament per deducció*

La implicació és una de les operacions lògiques més comunes i més practicades en els raonaments lògics de caràcter deductiu que tenen lloc en els aprenentatges científics. La finalitat de la implicació és evidenciar les proposicions que no estan explicitades en la definició del problema. L'heurística de la implicació actua com una mena d'escàner que llampega quan detecta un element implícit en el context del problema, de manera que estableix una connexió entre antecedent i conseqüent.

e) *Heurístiques del raonament per inducció*

El raonament inductiu opera sobre premisses derivades de l'observació experimental, que generen un conjunt de dades sobre les quals es conjecturen lleis o relacions. A diferència de la deducció, el raonament inductiu opera de la part al tot o de l'efecte a la causa, i estableix una llei general. Una de les característiques de la inducció és que permet anticipar noves observacions i fer prediccions. El llampegueig heurístic es fa sobre poques dades i salta directament a la conjectura, que evidentment caldrà provar.

f) *Heurístiques del prototip*

El procés de creació d'un giny tecnològic arrenca amb un problema concret, de manera que en l'origen hi ha alguna mena d'heurística. Les heurístiques del prototip tenen tres

característiques: responen a un problema «tecnològic», mobilitzen idees i coneixements, i s'integren en un únic sistema que els relaciona i els ordena en un prototip, que és la resposta al problema. El llampegueig heurístic és aquest prototip, que per força és sintètic, és a dir, de trets generals i poc detallats. Recordeu que les heurístiques són frugals per necessitat. Després la ment racional i algorísmica ja les detallaran.

g) *L'heurística del «tot s'hi val»*

Les heurístiques exposades fins ara tenen un munt de casos que les justifiquen. Per descomptat, no pretenc exhaurir ni limitar l'acció de la ment autònoma. Segur que la llista d'heurístiques s'eixamplaria amb un camp més ampli de recerca i en descobriríem més. És per això que tanco aquest apartat amb una mena d'heurística comodí, que anomeno l'heurística del «tot s'hi val», per retre homenatge a la filosofia de l'anarquisme epistemològic (Feyerabend, 1970), que defensa la inexistència de regles metodològiques universals en la producció del coneixement científic.

Sobre els errors d'aprenentatge. La perspectiva docent

Per bé o per mal, l'error és el nostre company de per vida. Així doncs, sens dubte, ja és hora de conèixer-lo (Schulz, 2010). A l'aula estant, passes un munt de temps bregant amb els errors d'aprenentatge de l'alumnat. Una actitud docent proactiva davant la multiplicitat d'errors que fan les noies i els nois durant llurs aprenentatges és una de les claus per a una bona pràctica docent. La dita segons la qual, de l'error, se n'aprèn és ben certa. Tanmateix, com que els errors sovint comporten conseqüències indesitjables i doloroses, socialment són percebuts d'una manera negativa. I aquesta visió, transposada a l'aula, pot alimentar reaccions emocionals de rebuig tant per part del professorat com de l'alumnat.

Si en la història de la ciència i de la tecnologia els errors són gairebé un imperatiu epistemològic (Popper, 1972), com no ho han de ser en els aprenentatges escolars? Per això, considerar l'error com una limitació de l'alumne o com una incompetència docent és una de les moltes causes de l'anomenat *fracàs escolar*. Una de les claus de l'èxit o del benestar escolar, i, en general, de la vida, és aprendre a extreure un profit cognitiu dels errors. I això implica comprendre'ls.

En el marc de l'aprenentatge per assaig i error, a l'apartat anterior ja he exposat que els assajos són temptatives cognitives formades per una heurística i per un algorisme ($H \rightarrow A$), de manera que l'error és, en la major part dels casos, una heurística infructuosa o un algorisme mal executat.

Des de la perspectiva docent, l'anàlisi d'errors d'aprenentatge es comença elaborant una descripció objectivable a partir de les produccions de l'alumnat. I aquí ens tro-

barem, com bé sap qualsevol docent, que, per a cada aprenentatge concret, l'alumnat produeix una diversitat d'errors, de manera que per a cada error caldrà una descripció concreta.

Per no generar confusió i fer practicable l'anàlisi d'errors és necessari establir una frontera metodològica entre la descripció de l'heurística errònia i l'explicació de les possibles causes que la produeixen, per bé que aquestes no sempre és possible evidenciar-les amb claredat. Les causes pertanyen al domini subjectiu, és a dir, al procés cognitiu del subjecte, mentre que la manifestació de l'heurística errònia pertany al domini objectiu, és a dir, a tot allò que una observació rigorosa de les produccions dels alumnes pot descriure.

Esbrinar les causes d'un error concret implica entrar en els dominis de la psicologia cognitiva. De nou es posa de manifest la necessitat d'un model de la ment per a almenys situar les causes, és a dir, si l'error és atribuïble a la ment racional, a l'algorísmica o a l'autònoma. Aquí cal esmentar els anomenats *biaixos cognitius*, àmpliament estudiats per les ciències cognitives i molt freqüents en els aprenentatges. Són errors que es produeixen de manera inconscient i automàtica, són dreceres que fa la ment per respondre immediatament a una qüestió. Un exemple són les tradicions i enganyoses fal·làcies lògiques.

Un exemple clàssic és el *biaix de la substitució per simplificació*, que és deliciós de comprovar quan les noies i els nois s'inicien en el llenguatge algebraic.

Vet aquí el problema: una llibreta i un bolígraf costen 1,10 €. La llibreta costa 1 € més que el bolígraf. Quant costa el bolígraf?

«El bolígraf costa 10 cèntims». És probable que aquesta sigui la primera resposta que us hagi vingut al cap i, segurament, ara mateix desconfieu, i tal vegada sospitareu que té trampa i prendreu consciència que us cal comprovar si els 10 cèntims són, efectivament, la resposta correcta. Esbrinareu que la resposta correcta són 5 cèntims, però no a tanta velocitat com heu pensat en els 10 cèntims.

El problema no té trampa, però és persuasiu i convida a l'equívoc. És un dels tres ítems del test de reflexió cognitiva (Shane, 2005). S'ha testat en milers d'estudiants universitaris i sempre amb resultats sorprenents: aproximadament, la meitat responen, erròniament, que la llibreta costa 10 cèntims. L'objectiu del test no és avaluar els coneixements d'àlgebra, sinó comprovar fins a quin punt confiem cegament en la nostra intuïció, en aquest cas, en l'heurística dels 10 cèntims. Una confiança cega que bloqueja l'acció de la ment racional, l'encarregada d'avaluar les heurístiques que proposa la ment autònoma.

Però una descripció més precisa d'aquest error posa en relleu que s'eludeix o s'esquiva la dificultat comprensiva del fragment de l'enunciat «La llibreta costa 1 € més que el bolígraf» i que se substitueix i s'opera amb un enunciat més simple: «La llibreta costa 1 €». Una vegada feta aquesta simplificació, tot eliminant l'oració subordinada comparativa «més que el bolígraf», se substitueix l'enunciat original per un de més simple: «Una llibreta i

un bolígraf costen 1,10 €. La llibreta costa 1 €. Quant costa el bolígraf?».

Resumint, aquest biaix cognitiu afronta la complexitat del problema simplificant-la en substituir l'enunciat inicial per un altre que és més fàcil i ràpid de manejar, de manera que també redueix l'esforç cognitiu que requereix la solució.

Som éssers fal·libles i economitgem l'energia cognitiva.

De l'error al coneixement: l'aprenentatge

Aprendre dels errors és un procés que ocupa una bona part del temps d'aprenentatge i requereix una didàctica orientada a ensenyar a l'alumnat com extreure coneixement dels errors. Aquesta capacitat forma part del nostre ADN. Exercitar-la és la millor manera de garantir uns aprenentatges profunds i, en la mesura que es practica, es millora la marea de totes les competències educatives: saber aprendre.

Des del punt de vista metodològic es poden establir tres fases amb les quals guiar l'alumnat a fi que s'empoderi del procés de resolució de problemes i exerciti l'autonomia personal.

L'erupció d'un conflicte cognitiu, tant si és espontani com si és induït, és segurament la millor i potser l'única manera eficient de prendre consciència dels errors; per tant, aquesta és la primera fase per passar de l'error al coneixement. I és obvi que mobilitza emocions de molt diversa índole. Si són emocions positives que incentiven la curiositat i la motivació, oli en un llum, però no sempre és així. Atenció a les reaccions emocionals de cada alumne quan s'adonen que s'han equivocat.

Una cosa és saber que t'has equivocat i una altra de molt diferent és localitzar, identificar i analitzar en què consisteix l'error. Aquí comença la segona fase. De fet, aquesta fase és un nou problema que cal resoldre. Si P_0 és el problema inicial contra el qual s'ha llançat una temptativa de solució, una vegada ha emergit l'error, P_i és el problema que té per objectiu localitzar, identificar i analitzar l'error.

P_i té una característica rellevant que cal tenir molt present des d'un punt de vista didàctic. En efecte, d'entrada, no es disposa de cap enunciat, és a dir, que no se sap en què consisteix l'error i, fins que no es localitza i s'identifica com a tal, es poden fer molts tombs. De manera que P_i genera les seves temptatives cognitives ($H \rightarrow A$), que tant poden ser encertades com errònies. Podem trobar-nos amb errors que nien dintre del primer error i entrar en laberints inextricables: és el risc cognitiu. Si l'error està ben localitzat i es comprèn com s'ha produït, aleshores, es pot analitzar i fer-ne una diagnosi que ens aportarà un coneixement valuós per a obrir la tercera fase.

El coneixement que s'obté una vegada resolt P_i esdevé imprescindible per a elaborar la nova temptativa cognitiva que abordarà de nou el problema primari, P_0 . L'eliminació o la depuració de l'error es produeix quan la nova temptativa reïx. Per descomptat que aquesta també pot ser errònia, de manera que el procés de resolució del problema és

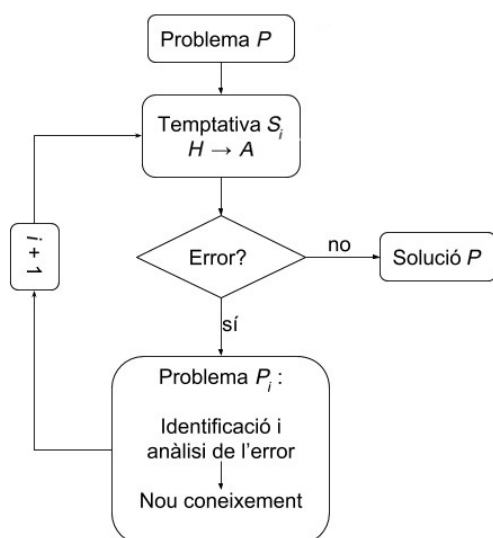


FIGURA 2. De l'error al coneixement: les tres fases.

una dinàmica cognitiva d'assajos i errors conduïda i controlada pel procés racional d'avaluació (ment racional). En això consisteix bàsicament l'aprenentatge per assaig i error (figura 2).

Modelant l'aprenentatge per assaig i error

Devem a Popper (1972) la formulació d'una epistemologia que concep el mètode científic com un procés de resolució de problemes en el qual la formulació de temptatives i l'emergència i l'eliminació d'errors tenen un paper clau en la producció històrica del coneixement científic. No hi ha millor equivalent filosòfic per a l'aprenentatge per assaig i error que l'esquema bàsic de l'anomenada *epistemologia del realisme objectiu*:

$$P_0 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_1$$

A partir d'un problema o una pregunta inicial (P_0), s'elabora una teoria temptativa (TT) que intenta resoldre'l, però quan aquesta teoria es posa a prova mitjançant un procés de falsabilitat (de *falsar*: 'invalidar una hipòtesi, una teoria, etcètera, mitjançant una observació o un experiment') n'emergiran errors i contradiccions, de manera que l'eliminació d'errors (EE) constituirà un nou problema (P_1), la solució del qual mena a una nova teoria, i així continua repetint-se el cicle creatiu. El coneixement científic és un sistema obert. L'epistemologia de Popper és un elogi i una apologia de la fertilitat dels errors en el progrés històric del coneixement. L'analogia d'aquest esquema amb l'aprenentatge per assaig i error salta a la vista. Des de la perspectiva pedagògica, les teories temptatives del model de Popper es corresponen amb les temptatives cognitives ($H \rightarrow A$), és a dir, amb una heurística seguida d'un algorisme, de manera que l'esquema queda:

$$P_0 \rightarrow (H \rightarrow A) \rightarrow EE \rightarrow P_1 \rightarrow \dots$$

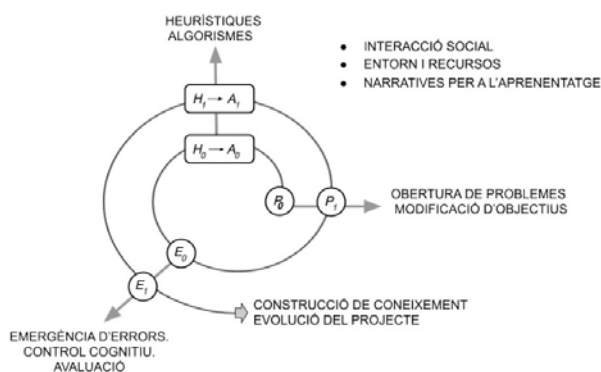


FIGURA 3. Model general de l'aprenentatge per assaig i error.

De fet, aquest esquema és el de la figura 2, en la qual s'ha manllevat la representació de la realimentació i representa un sol cicle, però si tenim present la dimensió temporal i els successius cicles que es poden donar en un aprenentatge concret, la representació més adequada és la de la figura 3.

Cal contextualitzar el model perquè només representa la individualitat de l'aprenent i nosaltres ens movem dins d'una aula amb una rica interacció social, de manera que, situats en el context del treball per projectes i col·laborador, les interaccions entre l'alumnat incideixen plenament en els processos cognitius personals. Una bona pluja d'idees, per exemple, estimula la producció d'heurístiques. En el treball en equip, per exemple, es produeixen avaluacions entre alumnes. Totes aquestes interaccions formen part del model d'aprenentatge d'assaig i error.

Un altre factor molt potent des del punt de vista motivacional és crear narratives per a l'aprenentatge, és a dir, que el projecte que es vol desenvolupar es presenta com un relat que interpel·la l'alumnat perquè protagonitzi i representi diferents rols. Aquestes narratives tenen una funció pedagògica molt definida ateses les implicacions emocionals que comporten i, també, perquè proporcionen un significat als aprenentatges, ja que els connecta amb una realitat, amb el benentès que qualsevol ficció també és una realitat essencial del nostre imaginari col·lectiu o personal.

De les idees als projectes

Un projecte arrenca amb una idea, que és, per necessitat, genèrica i poc concreta, és a dir, de poca complexitat cognitiva. I dic «per necessitat» perquè una idea no conté en ella mateixa el desenvolupament posterior per a fer-la realitat o per a implementar-la. Una idea mare ve a ser l'equivalent d'una cèl·lula mare. De l'aula estant, quan una idea esdevé l'expressió d'una voluntat col·lectiva de fer-la real, de realitzar-la, aleshores, parlem de *projecte didàctic*. Hi ha mil exemples, volem dissenyar un vestit esportiu, volem fer la maqueta d'un planetari, volem construir tots els poliedres platònics, etc.

Des d'una perspectiva escolar, el concepte *projecte* no és el mateix que *projecte tècnic*, que es refereix a un conjunt



FIGURA 4. Resolució del motor de cc: plantejament del problema.

d'especificacions per a assolir un objectiu determinat, sinó que es refereix a l'aventura cognitiva, al procés d'assolir l'objectiu proposat per la idea inicial. La característica principal de la idea mare és projectar-se cap endavant i materialitzar-se fins a esdevenir una realitat concreta més o menys reeixida.

És en aquest punt en què el model d'aprenentatge per assaig i error ha de validar-ne la utilitat; si no, seria pura retòrica. L'exemple que segueix és un projecte concret, prou experimentat per diferents centres de secundària. Forma part de la proposta didàctica «Creant coneixement STEAM: Imants, motors i generadors l'Aplicació de Recursos al Currículum»,³ que trobareu al repositori de materials didàctics del CESIRE.⁴

(Re)Inventant el motor elèctric de corrent continu

La narrativa

Situar l'alumnat en el context social, històric i tecnològic on es van inventar els primers motors elèctrics és molt inspirador. És una part fonamental de la història de l'electricitat. Hi ha una mà de relats sobre la màquina de vapor, que generava tota l'energia mecànica per a moure les màquines de la indústria tèxtil, les mines el transport, etc., fins a la progressiva substitució pels motors elèctrics.

Situats en aquest context, es posen sobre les taules del taller uns quants motors elèctrics de corrent continu (cc) i es planteja a l'alumnat el repte següent (figura 4): «Aprofitant tot el que sabeu d'imants i d'electroimants, dissenyeu i construïu el giny electromecànic que fa girar un eix sense parar, és a dir, un motor elèctric». Vet aquí la idea inicial (P_0). Poc concreta, sí, perquè no saben què hi ha dins la carcassa, però clara, perquè l'objectiu ho és: l'eix ha de voltar.

Recordeu que l'heurística del prototip recorre a un conjunt de coneixements i d'elements tecnològics per a solucionar el problema plantejat. Bàsicament, les noies i els nois han de:

- Conèixer què és una pila elèctrica i el sentit del corrent elèctric continu.
- Saber muntar circuits elèctrics elementals.
- Saber que si es canvia el sentit del corrent elèctric en un electroimant, la polaritat magnètica canvia, és a dir, que l'extrem que és nord canvia a sud i viceversa.

— Conèixer les forces d'atracció i repulsió entre pols magnètics, siguin d'imants permanents o d'electroimants.

— Entendre la regla d'interacció entre pols magnètics: els pols iguals es repel·leixen i els pols diferents s'atrauen. I s'ha observat que la interacció implica un moviment.

— Tenir una mínima experiència amb operadors mecànics.

Fomentar una pluja d'idees per estimular la ideació de prototips és una bona manera de començar aquest projecte. Cada idea que en surti, cal representar-la i sotmetre-la a la crítica, així fins a obtenir-ne una que sembli que funcionarà.

Primera temptativa

A l'apartat «D'heurístiques i problemes» ja s'ha concretat el concepte de temptativa com una heurística que genera un pla d'acció, de manera que detallarem així cadascuna de les temptatives.

Heurística del prototip (H_0). Figura 5, esquerra. Un electroimant es fixa a un eix central de manera que giri lliurement. És l'eix del motor. Aquest electroimant rotor se situa entre dos imants permanents fixos, amb pols diferents encarats. Si se sap com canviar el sentit del corrent de l'electroimant en els moments i en les posicions adequades, les forces d'atracció i de repulsió entre els pols dels imants i els de l'electroimant actuen sobre l'eix rotor, de manera que aquest gira.

Pla de construcció. Algorisme pràctic (A_0). Figura 5, dreta.

Emergència d'errors

El prototip inicial ja està fet. I ara es fa palès l'error del disseny inicial, que no inclou com es resol el canvi del sentit del corrent de l'electroimant en els moments i en les posicions adequades (E_0). Vet aquí el problema emergent que genera aquesta mancança del prototip inicial, la qual origina la segona temptativa: com fer que els dos cables de la font d'alimentació freguin els borns de l'electroimant (els dos claus de la fotografia de la figura 6).

Segona temptativa

Heurístiques. Dues làmines de coure són les escombretes del motor: el problema (P_1) consisteix a esbrinar la posició que han d'ocupar. Com que hi ha diverses possibilitats de col·locar-les, es dispara una heurística de l'exploració (H_1) i es plantegen dues possibilitats: o les escombretes es col·loquen paral·leles als imants (posició A de la figura 7) o transversals (posició B de la figura 7). Per a cada exploració, intervé una heurística del raonament deductiu (H_1), ja que cal mirar la posició de l'electroimant del rotor respecte als imants, és a dir, si s'hi encara o no, ja que ha de desactivar-se cada vegada que s'hi encara. I d'aquí es dedueix

3. <https://apliense.xtec.cat/arc/node/31027>.

4. <https://agora.xtec.cat/cesire/>.

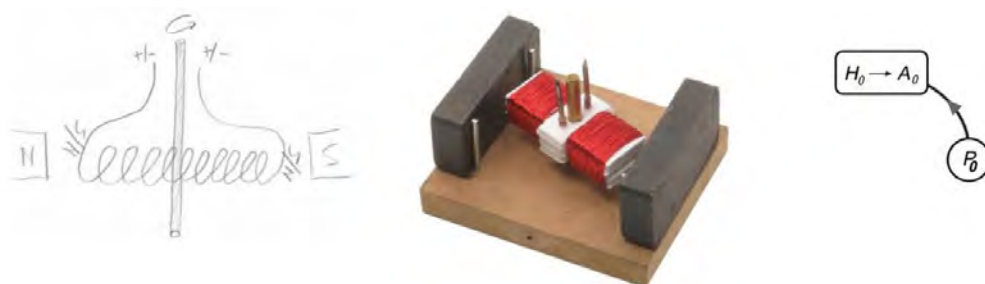


FIGURA 5. Resolució del motor de cc: primera temptativa.

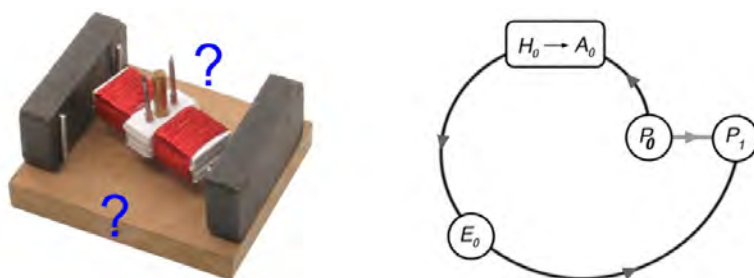


FIGURA 6. Resolució del motor de cc: emergència de l'error.



FIGURA 7. Resolució del motor de cc: segona temptativa.

que la posició A (figura 7) és la que activa i desactiva l'electroimant quan convé.

Pla de construcció. Algorisme pràctic (A_1). Figura 7, dreta.

Emergència d'errors

Una vegada hem posat les escombretes, arriba el moment més emocionat (figura 8). Tots els prototips, si s'han construït correctament i han passat els controls de qualitat respectius, funcionaran. Sovint no arrenquen a la primera. Pocs alumnes resistiran la temptació d'empentar el rotor. I vet aquí com emergeix un error inesperat: el motor s'ha d'engegar sol, quan li donem corrent. Algun error hi ha en el disseny (E_1).

Vegeu el vídeo d'aquest enllaç: <https://www.youtube.com/watch?v=wXg33N4DBww>.

Identificació de l'error. Comencem per *observar* la funció de les escombretes: cada mitja volta del rotor, el sentit del corrent elèctric de l'electroimant s'inverteix i desactiva l'electroimant cada vegada que els braços s'encaren als imants, ja que no fan contacte amb els borns de l'electro-

imant. Com que ens preguntem per què no arrenca d'entrada, probablement, es dispararà una heurística del raonament deductiu: si l'electroimant s'encara als imants, aleshores, les escombretes no freguen els borns de contacte, de manera que està inactiu. Per tant, no pot arrencar.

Tercera temptativa

La identificació d'aquest error ens porta a la conclusió que un rotor de dos braços mai no arrenca sol, llevat que en posició inicial les escombretes freguin els borns de l'electroimant, però això depèn de l'atzar, no del disseny inicial. Un motor eficient no pot dependre d'una empenta externa. La identificació d'aquest error ens planteja un nou problema; per tant, calen noves heurístiques.

I arribats a aquest punt és on actuen les heurístiques del «tot s'hi val»: i si el rotor té tres braços? Si els nois i les noies desmunten un motor, veuran que, efectivament, té tres braços i tres borns. I això anima a construir-lo.

El rotor de tres braços és més complex de disseny i realització, però és una magnífica oportunitat perquè els

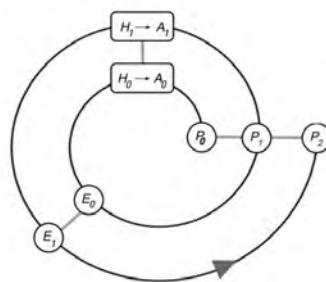


FIGURA 8. Resolució del motor de cc: emergència de l'error.

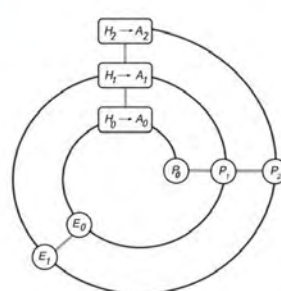


FIGURA 9. Resolució del motor de cc: tercera temptativa.

alumnes més avançats ho intentin (figura 9), ja que els ritmes d'aprenentatge no són uniformes.

Vegeu el vídeo d'aquest enllaç: https://www.youtube.com/watch?v=_AE3NIh2lnQ.

Una vegada es comprova que un rotor de tres braços engega a la primera és el moment d'entendre'n el funcionament, que no té una explicació immediata. En efecte, el circuit elèctric format per tres electroimants connectats en sèrie i el fet que a mesura que els tres borns giren només dos freguen les escombretes, no és senzill de comprendre. A la proposta didàctica esmentada hi trobareu tot el desenvolupament didàctic.

Obrim perspectives, nous projectes

Sempre amb la perspectiva que un coneixement concret no és una peça aïllada i tancada en si mateixa, sinó que és un node d'una xarxa cognitiva extensa i sempre amb connexions, el prototip de motor que acabem de veure esdevé un punt de partida des del qual albirar nous projectes de motors elèctrics. A la proposta didàctica esmentada hi trobareu un nou projecte sobre els motors sense escombretes, el fonament dels motors pas a pas.

Bibliografia

ACHÓN, Jordi (2020). *Assaig de didàctica: De l'error al coneixement: l'aprenentatge: De les idees als projectes (STEAM)* [en línia]. Barcelona: Iniciativa Digital Politècnica. Oficina de Pu-

blicacions Acadèmiques Digitals de la UPC. <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/179442/9788498808230.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

FEYERABEND, Paul K. (1970). *Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge*. Minnesota Studies in the Philosophy of Science. [En castellà: *Contra el método: Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Barcelona: Ariel, 1974]

GIGERENZER, Gerd (2007). *Gut Feelings*. Londres: Penguin Books. [En castellà: *Decisiones intuitivas*. Barcelona: Ariel, 2008]

HOFSTADTER, Douglas; SANDER, Emmanuel (2013). *Surfaces and essences: Analogy as the fuel and fire of thinking*. Nova York: Basic Books. [En castellà: *La analogía: El motor del pensamiento*. Barcelona: Tusquets, 2018]

KAHNEMAN, Daniel (2011). *Thinking, fast and slow*. Nova York: Farrar: Straus and Giroux. [En castellà: *Pensar rápido, pensar lento*. Barcelona: Debate, 2012]

PÓLYA, George (1945). *How to solve it*. Nova Jersey: Princeton University Press. [En castellà: *Cómo plantear y resolver problemas*. Mèxic DF: Trillas, 1965]

POPPER, Karl (1972). *Objective knowledge: An evolutionary approach*. Oxford: Oxford University Press. [En català: *El coneixement objectiu*. Barcelona: Edicions 62, 1985]

SCHULZ, Kathryn (2010). *Being wrong: Adventures in the margin of error*. Nova York: Harper Collins Publishers. [En castellà: *En defensa del error*. Madrid: Siruela, 2015]

SHANE, Frederick (2005). «Cognitive reflection and decision making». *Journal of Economic Perspectives*, vol. 19, núm 4, p. 25-42.

STANOVICH, Keith (2011). *Rationality and the reflective mind*. Nova York: Oxford University Press.

ENTREVISTA A JOSEP PASCUAL

Beatriz López

Universitat de Girona. beatriz.lopez@udg.edu



Josep Pascual, tècnic agrícola i especialitzat en topografia, és conegut per l'afecció a la meteorologia. Així, ha recollit dades meteorològiques des que tenia quinze anys i ha mantingut un registre de dades constant i sistemàtic, que és una font de riquesa per a estudiar el canvi climàtic avui dia.

Pel que fa a la feina com a topògraf, destaca la precisió amb què elabora tots els treballs que li encarreguen pagesos, constructors i arquitectes de l'Empordà i voltants. I aquesta precisió l'ha sabut transportar a la feina de recollida de dades meteorològiques. Josep Pascual és una persona popular, també, per altres afeccions, com ara la música (ha fet estudis de música i tenora amb el mestre Josep Gispert, músic de La Principal de Banyoles) o la fotografia (les seves imatges es reproduïen al llibre *La indestructible bellesa del Montgrí*, de la Fundació Mascort), que li han permès col·laborar amb entitats culturals per tot el territori.

El juny de 2020 Josep Pascual va saltar als mitjans de comunicació després que la NASA es fes ressò de la importància de les bases de dades «mantingudes per l'observador voluntari Josep Pascual en col·laboració amb el CSIC i l'autoritat de l'àrea marina protegida». La NASA remarca per què resulta tan interessant disposar d'un conjunt de registres tan extens en el temps per a entendre el canvi climàtic.¹

Atenent a la importància de les dades en la recerca científica d'avui dia, sorgia la pregunta de com un pioner com Josep Pascual ha fet front als reptes de l'evolució tecnològica, del calibratge i de les incidències que han sorgit durant els quasi cinquanta anys que s'ha dedicat a la tasca de recollir dades meteorològiques i que ha resolt de manera satisfactòria, atenent el seu reconegut prestigi en entitats tan notables com el Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) o la NASA. El resultat del text que trobareu a continuació correspon a una entrevista que va tenir lloc durant el mes de novembre de 2020.

Recollí dades meteorològiques des de fa molts anys i heu anat utilitzant diferents tipologies de mesura. Ens les podríeu introduir?

Recullo diferents dades des que tenia quinze anys; primer, pràcticament sense instrumentació o, com a molt, amb instruments molt senzills, però, amb el temps, i després de contactar amb diferents organismes, s'han anat ampliant. Amb divuit anys, vaig tenir el primer pluviòmetre oficial. Era l'any 1968 i es tractava d'un pluviòmetre de l'Institut Nacional de Meteorologia, l'actual Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). Aviat el vaig complementar amb observacions termomètriques i psicromètriques. A banda d'això, vaig adquirir aparells propis, com ara un barògraf aneròide. Paral·lelament, per casualitats de la vida, vaig contactar amb el doctor Antoni Ballester, de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) de Barcelona (en aquella època, Institut d'Investigacions Pesqueres), que em va proporcionar una ampolla de Nansen

1. Consulteu la notícia a <https://climate.nasa.gov/blog/2997/sea-change-why-long-records-of-coastal-climate-matter/>.



FIGURA 1. Mareògraf
FONT: Josep Pascual.

i termòmetres d'inversió per mesurar la temperatura de l'aigua del mar. També em va oferir la possibilitat d'analitzar salinitats de mostres d'aigua a l'ICM per mesurar la salinitat del mar. Amb el pas dels anys, aquestes institucions han anat ampliant la instrumentació. Per exemple, l'AEMET em va proporcionar un pluviògraf (1985) i una estació automàtica (2004), així com una segona estació dalt de la muntanya del poble, Roca Maura, a 220 metres de cota, per estudiar les inversions tèrmiques i ampliar coneixements sobre els vents (1991). També des de la Generalitat de Catalunya, gràcies a una subvenció, l'any 1995 vaig adquirir una sonda automàtica de conductivitat, temperatura i profunditat (CTD) per mesurar la temperatura i salinitat de l'aigua del mar. Després d'uns quants problemes, va deixar de funcionar i la que tinc ara la va proporcionar l'ICM l'any 2012. A més, dispo de dos aparells de construcció casolana: un heliògraf per a observar les hores de sol (1993) i, especialment interessant, el mareògraf (figura 1), que funciona des de l'any 1990 i que, malauradament, indica la imparable pujada del nivell del mar: deu centímetres des de llavors. Les dades de pluja són de quan es dona aquest fenomen i, moltes de les altres dades (temperatura, humitat, pressió atmosfèrica...), les anoto tres cops al dia. Les dades de temperatura del mar, inicialment (estiu de 1973), les observava prop d'un cop per setmana; ara faig al voltant d'un centenar d'observacions a l'any.

Heu anat canviant la instrumentació... això implica tenir cura que les mesures recollides siguin comparables. Quin procediment heu seguit per assegurar aquesta qualitat en les dades?

Com he comentat abans, he utilitzat diferents aparells, però sempre tenint en compte la conservació i el calibratge. Per exemple, els termòmetres d'inversió per a mesurar l'aigua del mar (avui dia ja no es fabriquen, ja que són de mercuri), que encara ara utilitzo per a aquesta tasca, i la sonda electrònica CTD portaven el número de sèrie i el full de calibratge de la casa constructora, que assegurava que

la precisió era de $\pm 0,02^\circ\text{C}$. Aprofitant això, m'he anat fent taules de calibratge per als diferents termòmetres, així com la sonda CTD. Els termòmetres del psicròmetre que s'utilitzen per a mesurar la humitat relativa, també els he corregit amb aquest sistema.

Segur que de tots aquests anys recordeu algunes situacions inèdites, incidències que us impossibilitessin de fer mesures per les condicions atmosfèriques o per l'estat dels instruments de mesura. Han estat moltes? Com ho heu fet per minimitzar l'impacte en les dades recollides?

Ara seria difícil de recordar totes les incidències, però, sigui com sigui, he intentat que no hi hagués llacunes en les dades. Pel que fa a la temperatura del mar, crec que des de l'estiu de 1973 només hi ha un mes del qual no tinc dades de sortida amb barca, tot i que, perquè no fos massa greu, aquell mes vaig fer observacions a peu de costa. També hi ha incidències amb el mareògraf a causa d'obres al port i a causa d'un accident, en què una barca va embarrancar l'aparell. En tots dos casos es van omplir els buits amb observacions manuals, més espaiades i menys precises, però, d'aquesta manera, s'assegura la continuïtat de les dades. Altres problemes els he tingut amb els termòmetres, especialment en alguna de les tres dades diàries, però el fet de disposar de termohigrògraf des de l'any 1975 i de l'estació automàtica des de 2004 han solucionat aquest punt.

Sou un pioner de les dades en obert. Quina va ser la vostra motivació per a compartir les dades?

En realitat, el tema de les observacions meteorològiques no és la meua professió, sinó que és una afició. Tot i això, he de reconèixer que em va agafar fort. També és cert que he tingut ajudes d'institucions, com ara la Diputació de Girona i, més endavant, el Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, sense oblidar les ajudes en forma de material instrumental de l'ICM, l'AEMET, tal com he comentat abans, i, també, l'Ajuntament de Torroella de Montgrí i l'Estartit. En aquest últim cas, la col·laboració ha consistit a mantenir l'espai on hi ha instal·lats els aparells i a aportar aparells secundaris, com ara l'estació meteorològica automàtica de Roca Maura. També, d'alguna manera, he rebut l'ajuda del Servei Meteorològic de Catalunya, amb el qual mantinc una relació fluïda. Per tot plegat, les dades no són tan sols meves, sinó que són una mica de totes aquestes institucions, que són públiques, de manera que crec que les dades també ho han de ser. En aquest sentit, cada dia passem la informació al Servei Meteorològic de Catalunya i a l'AEMET, que les utilitzen, bàsicament, per a fer previsions, però també per a l'estudi climàtic. També passem informació a les televisions, com ara TV3 i RTVE. I encara són molts els investigadors i estudiants, ja siguin universitaris o no, que ens demanen dades per a fer estudis. Aquestes dades també són utilitzades per a estudiar el canvi climàtic, que, malauradament, ens comença a afectar.

Precisament sobre el canvi climàtic, la NASA ha recollit una notícia sobre la importància de les vostres dades

Aquestes dades les han utilitzades a l'ICM Barcelona, que pertany al CSIC, per a fer diferents treballs i publicacions. Destacaria el treball *Cambio climático en el Mediterráneo español*, del qual ja s'ha publicat una segona edició.² El treball més recent és de l'any 2019. Es tracta d'un article del doctor Jordi Salat, escrit conjuntament amb companys seus: «Forty-five years of oceanographic and meteorological observations at a coastal station in the NW Mediterranean: A ground truth for satellite observations», publicat en una revista americana.³ Aquest article no va passar desapercebut per a la NASA, que va penjar un escrit que hi feia referència a la secció del clima del seu blog: «Sea change: Why long records of coastal climate matter».⁴

Esperem que a partir d'aquest reconeixement hi hagi més investigadors que s'interessin per les vostres dades i que tinguem més models que ens ajudin a entendre el nostre entorn. I, ja per acabar, quins reptes penseu que ha d'assolir la recollida de dades en els propers anys? Per exemple, s'estan recollint moltes dades meteorològiques en molts àmbits, fins i tot als balcons de la ciutadania, per relacionar-los amb l'estat de salut. Són dades amb diferents nivells de granularitat i recollides amb instrumentació diferent. Com es poden combinar?

És cert que cada vegada hi ha més persones interessades, per la raó que sigui, fins i tot per curiositat, a observar dades en llocs que tenen a l'abast, però que sovint són llocs inadequats per a ser vàlids per a estudis climàtics. Sí que són dades interessants per a les persones usuàries: tot i que no són precises en termes absoluts, sí que ho són en termes relatius. Segurament, són útils per a fer estudis comparatius en l'àmbit de la salut, però per a fer estudis climàtics calen dades obtingudes, no només amb aparells precisos, sinó que l'emplaçament on es recullen cal que no estigui influït per edificacions o obstacles que n'afectin el resultat.

2. M. VARGAS-YÁÑEZ et al. (2010), *Cambio climático en el Mediterráneo español* (en línia), 2a ed. actual., Madrid, Instituto Español de Oceanografía i Ministerio de Ciencia e Innovación, <http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio_climatico_reedicion.pdf>.

3. J. SALAT, J. PASCUAL, M. FLEXAS, T. M. CHIN i J. VAZQUEZ-CUERO, «Forty-five years of oceanographic and meteorological observations at a coastal station in the NW Mediterranean: A ground truth for satellite observations», *Ocean Dynamics* (en línia), 69 (2019), p. 1067-1084, <<https://doi.org/10.1007/s10236-019-01285-z>>.

4. Alan BUIS (2020), «Sea change: Why long records of coastal climate matter», *Ask Nasa Climate* (en línia) (23 juny), <<https://climate.nasa.gov/blog/2997/sea-change-why-long-records-of-coastal-climate-matter/>>.

ENTREVISTA A FEDERICO TOBON

Sílvia Zurita i Món

Professora i formadora del professorat del Departament d'Educació i professora associada de la Universitat Politècnica de Catalunya.
szurita.mon@gmail.com



Federico Tobon és un artista i maker que viu i treballa a Los Angeles. Es defineix a si mateix com un artista amb cap d'enginyer i la seva obra inclou tant elements gràfics (dibuixos, fanzins...) com construccions en tres dimensions i màquines amb moviment fetes amb diversos materials, moltes d'elles creades en sèries de treballs que es fan com a repetició, però que són sempre diferents. Treballa, també, des de fa uns quants anys com a professor al Heart of Los Angeles (HOLA). Com a professor de tecnologia, és una delícia veure la seva obra. Podeu consultar les seves webs: <https://wolfcatworkshop.com/> i <https://www.patreon.com/wolfcatworkshop>.

Els dies 22, 23 i 24 d'octubre de 2020 es va celebrar a Barcelona la 6a Conferència Internacional d'Educació STEAMConf.¹ En format en línia, va continuar oferint tallers i conferències imprescindibles per a qualsevol persona interessada en una educació científica i tecnològica actualitzada i de qualitat, i va presentar un cartell espectacular de professionals internacionals i locals relacionats amb l'educació, la innovació i la creativitat.

El format en línia té les seves limitacions, però ens permet consultar els vídeos² de totes les xerrades, entre les quals la del protagonista d'aquesta entrevista, Federico Tobon, amb Laia Sánchez, del Citilab, com a amfitriona. Si recupereu la conversa, podreu gaudir de com Tobon explica la seva obra, però també d'una visió de l'educació de la qual tots podem aprendre: barreja d'aprenentatges i disciplines, posar límits com a manera de fomentar la creativitat, pensar amb les mans, establir una relació amb els materials...

Vam parlar amb ell, al cap d'uns quants dies de la STEAMConf, sobre la seva feina com a artista i *maker*, però, sobretot, com a educador, i aquí teniu un breu resum d'una conversa que es va estendre una hora i mitja.

Treballa com a educador en una escola de Los Angeles, però és una escola molt especial. Ens la pots descriure?

Heart of Los Angeles³ no és una escola formal, curricular. Està gestionada per una associació sense ànim de lucre que la va fundar fa més de trenta anys en un barri del centre de Los Angeles, que en aquella època tenia molts problemes de bandes juvenils.

L'objectiu és oferir experiències formatives d'alta qualitat a nois i noies per tal que tinguin les mateixes oportunitats de què gaudeixen els joves de famílies amb més recursos. Van començar amb un programa de música que col·labora amb l'Orquestra Filharmònica de Los Angeles i, més tard, van obrir un projecte d'arts plàstiques. Recentment han començat a desenvolupar una línia *maker*, que és la que m'ha donat l'oportunitat de fer

1. <https://www.steamconf.com>.

2. <https://www.steamconf.com/videos/>.

3. <https://www.heartofla.org>.

de professor. El context STEAM⁴ dels espais *maker* és viu i interessant, i em permet establir col·laboracions i descobrir experiències molt interessants.

Però no som una escola formal, no avaluem ni donem títols. El que sí que fem és col·laborar amb algunes de les escoles que tenim al nostre voltant i anem a fer tallers i a treballar als seus espais *maker*.

La teva presentació a la STEAMConf em va fer pensar en una formació que vam fer fa uns quants mesos, en què ens plantejàvem l'ensenyament del dibuix en totes les edats: moltes persones adultes asseguren que no saben dibuixar. Es pot ensenyar a dibuixar? S'hauria d'ensenyar a dibuixar?

És una pregunta interessant. La resposta, de manera breu, és sí i sí: es pot ensenyar a dibuixar i s'hauria d'ensenyar a dibuixar.

Per a mi, dibuixar és una manera natural d'expressar-me, la vaig aprendre de petit a casa. La meua mare treballava en l'àmbit de l'arquitectura, vaig créixer entre estris de dibuix i construccions de maquetes; per a mi era natural dibuixar. Però és cert que hi ha molta gent que té por a dibuixar, por al paper en blanc. Quan demanes que els alumnes dibuixin, m'he trobat sovint la reacció de «No sé dibuixar».

Es pot ensenyar a dibuixar, es pot evitar aquesta por al paper en blanc: fent tasques més guiades en un inici, posant límits. Els límits són importants i imprescindibles per a la creativitat, però cal anar-los obrint després.

Però no s'hauria de fer en classes de dibuix desvinculades de tota la resta, com «Ara aprendrem a dibuixar». No s'hauria d'ensenyar dibuix d'una manera descontextualitzada, només per ensenyar dibuix, perquè toca.

I, encara que s'ensenyin tècniques de dibuix, sobretot, cal evitar la por que el dibuix no quedi bonic, que no sigui perfecte. El dibuix és un llenguatge per a transmetre i captar idees, una manera d'expressar: no passa res si els dibuixos estan inacabats, o no són bonics. Cal eliminar la por de «No em quedarà prou bé». Com a artista, faig molts dibuixos inacabats que no són bonics, però està bé, és part del procés de dibuixar.

Un aspecte que crida molt l'atenció de tu i de la feina que fas és la contínua barreja: d'origens i de cultures diferents, de camps de treball, de maneres de pensar, de feines diferents. En canvi, nosaltres venim d'un sistema educatiu que marca moltíssim l'especialització, la separació entre camps de coneixement i maneres de pensar. Això és tan marcat en el vostre sistema educatiu? O en la feina que fas com a docent?

No soc un gran coneixedor del sistema educatiu nord-americà. Com t'he comentat, HOLA és una escola no for-

mal i, per tant, tinc tota la llibertat per a preparar les meves classes i les meves activitats com cregui convenient, per a fer proves a l'aula. Tinc una posició privilegiada en aquest sentit, no he de seguir un currículum, no he de qualificar...

No soc un gran coneixedor del sistema educatiu nord-americà en global. Tenim contactes amb algunes escoles properes, però ignoro com és allà el sistema en general.

Sigui com sigui, des d'un punt de vista personal, a mi m'encanta treballar en camps diversos i tinc tendència a fer-ho, perquè hi ha moltes coses que em criden l'atenció. Aquesta tendència meua a disgregar-me en massa camps té inconvenients, però és, possiblement, el que em fa tan interdisciplinari.

Però això també té desavantatges: de vegades necessito concentrar-me en una sola tasca o en una sola direcció, i no distreure'm cap a altres objectius que em resulten atractius fins que no he acabat de fer tot el recorregut que tinc ara. Però m'hi he d'obligar. I això és una idea que també penso que hauríem de transmetre als alumnes, que es distreuen molt de pressa i amb molta més facilitat de la que voldríem: està molt bé que t'agradi i t'interessin molts temes diferents, però a vegades, per a acabar o construir alguna cosa amb sentit, hem de ser capaços de focalitzar-nos en un tema o en una tasca durant un temps.

A la xerrada de l'STEAMConf comentaves algunes de les classes que has donat. Em va cridar l'atenció que alguns dels suggeriments que feies coincideixen molt amb el que els anys d'experiència o la recerca diuen que cal fer en una aula (pensar amb les mans, la importància dels límits per a la creativitat...). Com a docent, què t'ha funcionat i què no t'ha funcionat a l'aula?

No tinc clara la resposta a aquesta pregunta. Hi ha classes que funcionen millor que d'altres, o que funcionen d'una manera diferent de com t'esperaves.

Em sembla fonamental implicar l'alumnat, transmetre l'interès i l'emoció per la feina que vols fer. Però, per fer-ho, és molt important que allò que presentes et despertí interès i emoció.

Quan he preparat una proposta de treball i la presento als alumnes, la proposta també m'interessa i m'entusiasma a mi; si no, no els ho puc transmetre.

Parlem una mica del tema dels materials. Comentaves que era molt important establir-hi una relació personal i que t'agrada molt experimentar amb diferents materials per les diferents possibilitats que ofereixen...

Sí, conèixer els materials amb què treballes és bàsic.

T'explico una anècdota de fa uns quants anys que em va fer pensar-hi. Vaig treballar com a dissenyador en una consultoria en què hi havia molta gent que era enginyera. Un dels companys volia fer una construcció, un marc, per al qual tenia la idea molt clara al cap i els plànols perfectament dibuixats. S'havia de fer amb alumini i em va demanar ajuda per a fer la construcció entre tots dos.

4. Acrònim anglès de 'ciència, tecnologia, enginyeria, art i matemàtiques'.



FIGURA 1. *Magpie hollow*, obra feta per al Deep Forest Show del 2020.
FONT: <https://wolfcatworkshop.com/index.php/portfolio/kinetic-works/>.

Però quan ens vam posar a treballar, ens vam trobar el problema: encara que tenia claríssima la idea teòrica, no havia treballat mai amb alumini. No sabia com fer-lo anar, no hi tenia cap relació i l'intent de construcció real de l'objecte va ser un desastre: em vaig adonar que faltava la relació, el coneixement amb el material. No l'havia tocat mai abans i no tenia ni idea de les propietats reals, dels problemes, de les limitacions i de les característiques que tenia.

És realment important experimentar amb els materials abans de construir, fer-los servir i manipular-los, perquè les propietats i les possibilitats que et dona cada tipus de material varien molt. El paper és fantàstic i té un moviment orgànic molt especial, la tela és més resistent. L'experiència amb un material és bàsica per a fer-lo servir.

Ja per acabar, al final de la xerrada a la STEAMConf vas començar a parlar de l'experiència que vas provar a l'aula amb el desmuntatge d'objectes. Però les limitacions de temps no van permetre que comentessis gaire més com va anar l'experiència.

Vaig decidir provar de fer una sessió en què els alumnes desmuntessin aparells. Jo, de petit, a casa, desmuntava coses i era una manera molt natural i entretinguda d'apren-

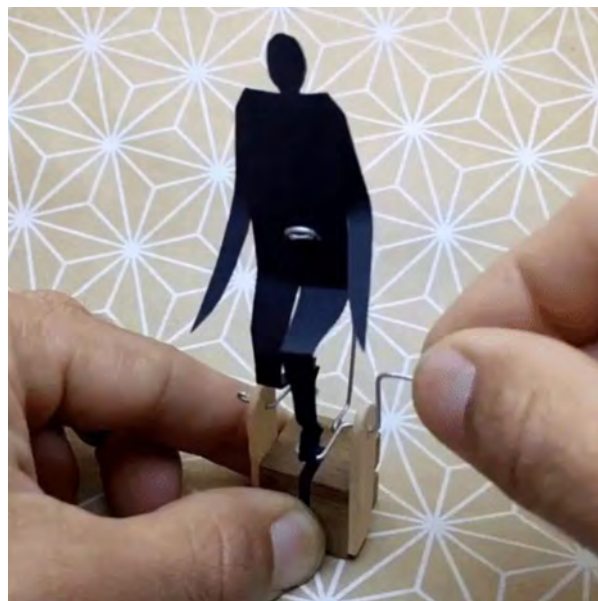


FIGURA 2. Peça de la col·lecció «Un mes de petits objectes».
FONT: <https://wolfcatworkshop.com/index.php/portfolio/one-month-small-machines/>.

dre què hi havia a dins i com funcionaven. A casa em deixaven fer-ho i vaig decidir provar-ho a les classes d'HOLA.

Els nanos van arribar a l'aula i es van trobar una taula plena d'objectes per desmuntar. Els vaig explicar que la classe d'aquell dia consistiria precisament en això, a desmuntar-los. Al començament no s'ho creien. Així, sense més ni més?

Però llavors van començar a treballar-hi. I a fer-se preguntes i a trobar-se problemes. I a partir dels problemes que es trobaven a l'hora de desmuntar els objectes, o dels dubtes que els sorgien, jo anava fent explicacions a la classe: dels diferents tipus d'eines, de com fer-les servir, de què eren les diferents peces o parts que anàvem trobant dins els aparells. A vegades aturàvem la feina i explicava un detall que havia sorgit a un dels alumnes.

Vaig utilitzar el desmuntatge per a fer-los pensar, perquè es fessin preguntes. A vegades els alumnes desmuntaven els objectes i ja està, però a vegades es trobaven problemes que els obligaven a pensar i a fer preguntes. També apareixien parts o peces que ningú no sabia què eren o què feien, i llavors intentàvem esbrinar-ho.

Va ser increïble. És una de les classes que millor ha funcionat de les que he fet, possiblement, la millor.

PUBLICACIONS

Redacció

Ens fem ressò de dos llibres que no fa gaire s'han publicat i que ens permeten veure la tecnologia des d'altres perspectives. En el primer, Carme Torras parla dels robots i de la nostra relació amb la tecnologia. En el segon, Xantal Llavina tracta de la revolució digital. I també ens fem ressò dels diccionaris terminològics publicats pel TERMCAT.

Estimades màquines

Carme Torras

Podem estimar les màquines o els artefactes? Potser els autòmats i robots? Carme Torras i Genís (Barcelona, 1956) ens torna a remoure amb aquest interessantíssim recull de deu relats breus, en els quals replanteja la nostra relació amb la tecnologia. Torras transforma el lector en un dickensià Ebenezer Scrooge que transita pel passat, el present i el futur de la seva relació amb les màquines, amb un enfocament que, amb matisos segons la història, bascula entre el realisme cru i la ciència-ficció.

Amb un estil directe i àgil, arriba a un públic ampli, incloent-hi els joves, ja que *Estimades màquines* es pot llegir des de diferents nivells narratius. Com en el cas dels llibres anteriors de Torras, *Enxarxats* (Males Herbes, 2017) o *La mutació sentimental* (Pagès, 2008), sens dubte, aquesta és una obra a la qual els docents de tecnologia de secundària podran treure molt partit per tal de plantejar dilemes tecnològics a l'aula a partir d'algun dels contes que s'hi inclouen.

Estimades màquines

Carme Torras

Data d'edició: 2020

Descripció física: 183 p.; 13 x 3 x 21 cm

ISBN: 9788412216745

Col·lecció: Distorsions; 75

Editorial: Males Herbes

Preu: 16,90 €

Web de l'editorial: <https://editorialmalesherbes.netlify.app/catalogue/estimades-maquines>

Web de l'autora: <https://www.iri.upc.edu/people/torras/literari.html>



#Somdigitals. Quins seran els protagonistes de la Revolució Digital?

Xantal Llavina, en col·laboració amb Jordi Portals

La periodista Xantal Llavina (Barcelona, 1975), coneguda presentadora de *Revolució 4.0* a TV3 i a Catalunya Ràdio, sintetitza bona part dels dilemes socials de l'anomenada *revolució digital*. El confinament i la pandèmia del coronavirus han accelerat alguns dels efectes socials de la digitalització, que Llavina dissectiona en nou apartats. Els títols d'aquests capítols són més que explicatius, però hi podem afegir alguns interrogants que l'autora no hi va incloure en alguns casos: vivim massa enganxats al mòbil?; el 2050, hauré de crear els nostres llocs de treball?; sempre que hi ha un canvi tecnològic, algú hi perd i algú hi guanya?; la tecnologia ha empoderat les dones?; desapareix la premsa en paper i les plataformes digitals triomfen?; podrem decidir quants anys volem viure?; viurem en megaciutats?; Google i mestres, pantalles i llibres?; i, finalment, l'any 2050 serem més de nou mil milions?

Com a bona periodista, Llavina aporta dades, però sense defugir el posicionament personal, que, en algun cas, podria ser discutit pels nostres lectors tecnòlegs, atès que Llavina deixa caure bombes de

fum en alguna de les preguntes —complexes— que planteja. No és fàcil, doncs, mullar-se en tants àmbits quan ni els més experts no tenen respostes o quan, fins i tot, encara no hem plantejat les preguntes adequades? No deixeu, però, de llegir *#Somdigitals*, ja que cada tema, cada argument, dona per a una molt bona tertúlia amb familiars i amics.

#Somdigitals. Quins seran els protagonistes de la Revolució Digital?

Xantal Llavina, en col·laboració amb Jordi Portals

Data d'edició: 2020

Descripció física: rústica, 144 p.; 15,3 × 23 cm

ISBN: 9788417942502

Editorial: Profit

Preu: 15 € (paper) / 7,99 € (llibre electrònic)

Web de l'editorial (on podeu llegir-ne un fragment gratis):

<https://www.profiteditorial.com/libro/som-digitals/>

Web de l'autora: <https://xantalllavina.com/>



Diccionaris terminològics publicats pel TERMCAT

A partir d'aquest número, ens fem ressò dels diccionaris terminològics elaborats o publicats pel TERMCAT en àmbits relacionats amb la tecnologia. Aquesta vegada, en ser la primera, farem un recull dels diccionaris que ja estan publicats. D'ara endavant, exposarem només les novetats que hagin aparegut des del recull anterior.

Terminologia dels videojocs: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/9>.

Lèxic multilingüe de la indústria: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/22>.

Societat de l'informacion. Novèles tecnologies e Internet (en occità): <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/38>.

Terminologia i fraseologia dels productes informàtics: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/123>.

Vocabulari de les xarxes socials: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/156>.

Terminologia bàsica dels dispositius mòbils: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/171>.

Diccionari de fusteria: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/188>.

Diccionari de telecomunicacions: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/235>.

Diccionari de robòtica industrial: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/237>.

Terminologia de la ciberseguretat: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/239>.

Diccionari d'enginyeria civil: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/240>.

Diccionari d'energia solar: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/241>.

Terminologia de la visualització de dades: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/254>.

Terminologia de la realitat virtual i la realitat augmentada: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/291>.

Normes de publicació

1. Objectius i característiques de la revista

La REVISTA DE TECNOLOGIA és una revista de la Societat Catalana de Tecnologia de l'Institut d'Estudis Catalans. Aquesta revista, adreçada al col·lectiu de tècnics i estudiants de grau i de màster, publica articles de recerca i de divulgació sobre tecnologia i altres ciències frontereres. També inclou seccions i apartats sobre història, docència, documentació, actualitat, Internet i altres temàtiques.

2. Enviament i acceptació d'originals

Els originals s'han d'ajustar a aquestes normes de publicació i s'han d'enviar per correu electrònic a l'adreça: *revista.sct@correu.iec.cat*.

La REVISTA DE TECNOLOGIA accepta la presentació de treballs originals en català que s'adiguin amb la línia editorial de la revista.

Els treballs poden ser articles de recerca o de divulgació originals o de revisió d'articles publicats anteriorment en altres mitjans, comunicacions breus, notes, ressenyes sobre publicacions i webs, etcètera. Atès que els lectors de la revista poden ser tècnics de qualsevol especialitat, es demana als autors que procurin que els seus articles puguin ser compresos per un públic tan ampli com sigui possible.

Els autors dels articles han de donar fe que el treball no ha estat presentat ni publicat en cap altra revista o que, en tot cas, n'és una revisió. Els treballs rebuts que estiguin en procés d'aprovació per una altra revista quedaran invalidats. De manera excepcional, el Consell Editorial pot proposar i admetre, per la seva rellevància, la traducció d'un article difós en una altra publicació.

Els treballs seran revisats per dos experts (*peer review*) i poden ser acceptats, acceptats prèvia modificació o refusats. En el cas que s'accepti el treball però amb modificacions, els autors hauran d'atendre aquests canvis i retornar els treballs degudament modificats.

3. Característiques formals dels treballs

Els treballs han de tenir les característiques formals següents:

- Han d'estar escrits en català.
- Poden ser articles breus (entre 700 i 1.000 paraules) o articles extensos (entre 1.500 i 5.000 paraules).
- El cos general del text ha de ser de 12 punts (del tipus de lletra Times New Roman o Arial).
- L'interlineat ha de ser d'1,5 punts.

- Les pàgines han d'anar numerades correlativament.
- Els textos han d'estar escrits amb el processador de textos Microsoft Word o un altre processador compatible.
- S'ha d'enviar el text en suport electrònic.
- S'ha d'enviar una sola carpeta per article, que ha de contenir el text amb les imatges incloses on corresponguin i també les mateixes imatges en arxius a banda del text.

En els treballs només es poden utilitzar les unitats del sistema internacional (SI).

Els treballs han de tenir els continguts següents:

- Títol de l'article en català i en anglès. No s'han d'utilitzar abreviacions en el títol.

— Nom i cognoms de l'autor, lloc d'adscripció (per exemple, departament i universitat), ciutat i país, i adreça de correspondència. En el cas que hi hagi més d'un autor, caldrà marcar l'autor de correspondència amb un asterisc.

— Resum en català i en anglès (*abstract*) entre 100 i 150 paraules cadascun i entre 3 i 6 paraules clau en català i en anglès (*keywords*).

— L'estructura del treball, en el cas dels articles de recerca, s'hauria d'ajustar, en la mesura del possible, als apartats següents: introducció, resultats i discussió, conclusions, agraïments, bibliografia i notes.

a) *Introducció*: ha d'incloure els fonaments i el propòsit de l'estudi i ha d'utilitzar les citacions bibliogràfiques estrictament necessàries.

b) *Resultats i discussió*: s'han d'exposar les opinions sobre el tema, s'han de descriure els resultats més rellevants i s'han de comparar amb els de treballs anteriors sobre el mateix tema.

c) *Conclusions*: s'han de resumir els resultats obtinguts i també s'han de donar idees o perspectives de futur.

d) *Agraïments*: s'ha d'agrair la col·laboració de les persones que hagin fet contribucions substancials en l'estudi i també s'ha d'especificar la font de finançament de la recerca.

e) *Bibliografia*: ha d'aparèixer al final del treball ordenada alfabèticament segons el cognom dels autors.

• Articles de revista

CASADO, M. P. (2011). «ATLAS: una eina per descobrir la física fonamental de l'Univers mitjançant el gran col·lisionador d'hadrons (LHC)». *Revista de Tecnologia* [en línia], núm. 4, p. 4-11. <<http://revistes.iec.cat/index.php/RTEC>> [Consulta: 15 octubre 2020].

HABERMAN, B.; YEHEZKEL, C.; SALZER, H. (2009). «Making the computing professional domain more attractive: An outreach program for prospective students». *In-*

ternational Journal of Engineering Education, núm. 25 (3), p. 534-546.

- **Llibres o monografies**

CASTELLS, M. (2000). *La era de la informació*. Vol. 1: *La societat red*. 2a ed. Madrid: Alianza.

STONE, W.; JUBERTS, M.; DAGALAKIS, N.; STONE, J.; GORMAN, J. (2004). *Performance analysis of next generation LADAR for manufacturing, construction and mobility* [en línia]. National Institute of Standards and Technology. Building and Fire Research Laboratory. <http://www.stoneaerospace.com/about-us/NISTIR_7117_Final_Complete2.pdf> [Consulta: 8 agost 2020].

- **Capítols de llibres o monografies**

AREA, M. (2009). «Las tecnologías de la información y comunicación en la educación. De la enseñanza asistida por ordenador al *e-learning*». A: *Manual electrónico: Introducción a la tecnología educativa* [en línia]. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de La Laguna. <<https://campusvirtual.ull.es/ocw/file.php/4/ebookte.pdf>> [Consulta: 6 abril 2020].

KOLLOCK, P. (2003). «Regalos y bienes públicos en el ciberespacio». A: SMITH, M. A.; KOLLOCK, P. (ed.). *Comunidades en el ciberespacio*. Barcelona: UOC, p. 259-282.

f) *Notes*: s'han d'introduir com a notes a peu de pàgina i han de seguir una numeració contínua al llarg de tot l'article. El cos de la lletra ha de ser de 10 punts.

4. Característiques formals dels gràfics i les taules

Els gràfics i les taules que es fan servir en els treballs han de tenir les característiques següents:

- Han d'estar en format obert, que es puguin manipular (no en format d'imatge); per exemple, un full de càlcul si s'han fet amb aquesta eina.
- Els gràfics han de tenir un peu que n'identifiqui el contingut i també la font d'on s'ha extret la informació. Dins del text caldria remetre al gràfic corresponent. Han d'anar numerats correlativament d'acord amb l'ordre en què apareixen en el text.
- Els gràfics s'han de lliurar en arxius a banda del text, però també han d'estar inclosos en el text, al lloc on han d'aparèixer dins de l'article.
- Les taules han de tenir un títol, situat en la part superior, que n'ha d'explicar en detall el contingut i també la font d'on s'ha extret la informació. Dins del text caldria remetre a la taula corresponent. Han d'anar numerats correlativament d'acord amb l'ordre en què apareixen en el text.
- Si les taules han estat elaborades fora del document, s'han de lliurar en arxius a banda del text, però tam-

bé han d'estar incloses en el text, al lloc on han d'aparèixer dins de l'article. Si les taules s'han fet directament en el document, no cal lliurar-les a banda.

— Es recomana posar com a màxim 10 imatges (entre taules i gràfics) per article.

5. Característiques formals de les imatges

Les imatges (fotografies, il·lustracions, etcètera) que es fan servir en els treballs han de tenir les característiques següents:

- Han d'estar en format JPG.
- S'han de lliurar en arxius a banda del text, però també han d'estar incloses en el text, al lloc on han d'aparèixer dins de l'article.
- Han de tenir un peu que identifiqui el contingut de cada imatge i també la font d'on s'ha extret la informació.
- Han d'anar numerats correlativament d'acord amb l'ordre en què apareixen en el text.
- Les fotografies han de tenir una qualitat mínima de 300 ppp.

6. Drets d'autor i responsabilitats

La propietat intel·lectual dels articles és dels respectius autors.

Els autors, en el moment de lliurar els articles a la REVISTA DE TECNOLOGIA per a sol·licitar-ne la publicació, accepten els termes següents:

- Els autors cedeixen a la Societat Catalana de Tecnologia (filial de l'Institut d'Estudis Catalans) els drets de reproducció, comunicació pública i distribució dels articles presentats per a ser publicats a la REVISTA DE TECNOLOGIA.
- Els autors responen davant la Societat Catalana de Tecnologia de l'autoria i l'originalitat dels articles presentats.
- És responsabilitat dels autors l'obtenció dels permisos per a la reproducció de tot el material gràfic inclòs en els articles.
- La Societat Catalana de Tecnologia està exempta de tota responsabilitat derivada de l'eventual vulneració de drets de propietat intel·lectual per part dels autors.
- Els continguts publicats a la revista estan subjectes (llevat que s'indiqui el contrari en el text o en el material gràfic) a una llicència Reconeixement - No comercial - Sense obres derivades 3.0 Espanya (by-nc-nd) de *Creative Commons*, el text complet de la qual es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>. Així, doncs, s'autoritza el públic en general a reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada.
- La revista no es fa responsable de les idees i opinions exposades pels autors dels articles publicats.

7. Protecció de dades personals

L'Institut d'Estudis Catalans (IEC) compleix el que estableix el Reglament general de protecció de dades de la Unió Europea (Reglament 2016/679, del 27 d'abril de 2016). De conformitat amb aquesta norma, s'informa que, amb l'acceptació de les normes de publicació, els autors autoritzen que les seves dades personals (nom i cognoms, dades de contacte i dades de filiació) puguin ser publicades en el corresponent volum de la REVISTA DE TECNOLOGIA.

Aquestes dades seran incorporades a un tractament que és responsabilitat de l'IEC amb la finalitat de gestio-

nar aquesta publicació. Únicament s'utilitzaran les dades dels autors per a gestionar la publicació de la revista i no seran cedides a tercers, ni es produiran transferències a tercers països o organitzacions internacionals. Un cop publicada la revista, aquestes dades es conservaran com a part del registre històric d'autors. Els autors poden exercir els drets d'accés, rectificació, supressió, oposició, limitació en el tractament i portabilitat, adreçant-se per escrit a l'Institut d'Estudis Catalans (carrer del Carme, 47, 08001 Barcelona), o bé enviant un correu electrònic a l'adreça dades.personals@iec.cat, en què s'especifiqui de quina publicació es tracta.

Coneixes la Societat Catalana de Tecnologia?

Som la filial de l'Institut d'Estudis Catalans més avantguardista i agrupem perfils diversos que abracen tot l'espectre de les tecnologies, noves i de sempre, que es desenvolupen a Catalunya per donar el millor servei i resposta a la nostra societat. La tecnologia, acompanyant la ciència, ha mostrat la seva cara més humana durant aquest estat d'alerta, i ha quedat palès que ha estat clau en el desenvolupament de respostes immediates i eficaces per a contenir la pandèmia. I ho hem pogut fer sumant talents i multiplicant capacitats. Si t'agrada la tecnologia, en qualsevol de les seves vessants, t'esperem!

Pots associar-t'hi emplenant aquest formulari: <https://blogs.iec.cat/sct/feu-vos-en-socisocia/>

«El futur, serà tecnològic o no serà»

(Núria Salán, presidenta de la Societat Catalana de Tecnologia)

