

L'articulació de la IA com factor d'innovació transversal a Catalunya

Joan L- Mas i Albaigès

Eurecat, Centre Tecnològic de Catalunya

Abstract

Es pot afirmar que la Intel·ligència Artificial (IA) és la tecnologia de naturalesa digital que ha assolit un impacte i grau de penetració social dels més importants, seguint en els darrers anys una evolució de caràcter exponencial. Malgrat aquesta recent explosió la IA té una història gaire bé centenària, que es remunta al treball de científics i tecnòlegs que en van posar els fonaments a partir de la segona meitat del segle passat. La IA també té una llarga trajectòria a Catalunya que s'inicia, entre altres, amb la figura del Professor Emèrit Ramon López de Mántaras i la creació de l'Institut d'Investigació d'IA del CSIC (IIIA-CSIC). Aquest article fa un recorregut de la IA a Catalunya, començant pels principals agents que conformen l'ecosistema de la recerca i la innovació en IA al nostre país.

Es presenta l'estat actual de la IA a Catalunya a partir de l'informe sectorial publicat per ACCIO el maig de 2024 i tot seguit, es descriu l'estratègia CATALONIA.AI impulsada pel Govern de Catalunya i desplegada a partir de 2020. Es detalla l'eix d'innovació empresarial que s'impulsa des d'aquesta estratègia i que es materialitza en el Centre d'Innovació en tecnologies de Dades i Intel·ligència Artificial (CIDAI), descrivint tant qualitativament com quantitativament les activitats més significatives que impulsa.

L'article aborda també el potencial transformador de la IA en l'empresa des de dos punts de vista. El primer aborda les aplicacions de negoci de la IA analítica en conjunció amb altres tecnologies en el context de la Indústria 4.0. El segon es focalitza en la IA Generativa, il·lustrant els principis bàsics dels models fundacionals i desenvolupant les oportunitats multisectorials i multimodals i l'impacte que aquesta variant de la IA provocarà en els diferents sectors productius i de negocis.

Tot seguit s'analitzen les barreres recurrents per a una implantació multisectorial de la IA i que, entre altres, fan referència a qüestions com disponibilitat de dades o manca de talent qualificat.

En paral·lel a aquestes qüestions de caire estrictament tecnològic l'article també s'endinsa en les principals conseqüències de les regulacions en IA que Europa ha aprovat i com s'hi hauran d'adaptar les empreses de productes o serveis basats en sistemes d'IA.

Per últim, l'article dona una visió de l'impacte de la IA en la sostenibilitat i possibles vies de solució.

La Intel·ligència Artificial: del seu origen a la IA Generativa.

La Intel·ligència Artificial (IA) és probablement la tecnologia digital que ha experimentat l'expansió més ràpida i ha assolit el grau de penetració més elevat a nivell global. Malgrat que això ha succeït ràpidament al llarg del darrer decenni, la IA i els conceptes en què es fonamenta van néixer i es van desenvolupar a partir de la segona meitat del segle XX. Tot i que es poden traçar precursors de la IA en èpoques pretèrites, un d'ells en la figura del filòsof mallorquí Ramon Llull amb la seva obra *Ars Magna* de finals del segle XIII, la IA que coneixem avui neix a mitjans del segle XX fruit de la recerca i el treball de científics com, entre altres, Alan Turing, pare dels fonaments teòrics de la computació o John Von Neumann, creador de l'arquitectura base dels computadors actuals. Més endavant, l'estiu del 1956, John McCarthy, professor associat del departament de matemàtiques del Dartmouth College (New Hampshire, EUA) va convocar una trobada, coneguda com la Conferència de Dartmouth, que va aplegar els principals investigadors del moment en disciplines com la teoria de la informació, teoria del coneixement o la computació. Durant vuit setmanes van cercar respostes a una qüestió primigènia: pot una màquina reproduir l'aprenentatge i el raonament humà i, per tant, pot arribar a prendre decisions com ho faria un humà? I va ser en aquesta trobada quan es va usar per primer cop el terme "intel·ligència artificial" (LÓPEZ DE MÁNTARAS, 2023, págs. 15-30),

Si bé la Conferència de Dartmouth va crear grans expectatives, en els anys posteriors el desenvolupament de la IA va passar per períodes d'incertesa en què, degut a un context tecnològic encara no suficientment madur, la viabilitat de la IA es va qüestionar en diverses ocasions. Aquests períodes, coneguts com els "hiverns" de la IA, van succeir el primer a finals dels anys 70 i el segon a principis dels anys 90 del segle passat.

Arribats al primer decenni del segle actual hi ha dos factors determinants que impulsen definitivament la consolidació de la IA. D'una banda, la generació massiva de dades en l'esfera digital que, des d'aleshores, continua creixent de manera gairebé exponencial. De l'altra, l'aparició dels processadors gràfics (GPUs), circuits microelectrònics que permeten assolir el volum de computació que la IA requereix. Aquests dos elements, dades per a entrenar models i ordinadors amb la capacitat de fer bilions d'operacions per segon permeten executar els algorismes d'IA que s'havien pensat teòricament en el passat però que no es podien dur a la pràctica per una tecnologia no prou potent.

Al costat de les dades i de les GPUs cal esmentar el desenvolupament de les diferents famílies algorísmiques de la IA. Inicialment es van implementar algorismes de raonament basat en casos (*Case Based Reasoning*, *CBR*) i posteriorment algorismes d'aprenentatge automàtic (*Machine Learning*, *ML*) que en les seves diverses modalitats poden resoldre problemes de classificació, recomanació, clusterització, etc. El desenvolupament de les xarxes neuronals, fonament de l'aprenentatge profund (*Deep Learning*, *DL*), va significar un pas gegantí en disciplines com la visió automàtica o el processament del llenguatge natural.

Més recentment el disseny dels anomenats *transformers* i les xarxes generatives adversarials (*Generative Adversarial Network, GAN*) han esdevingut la base dels models fundacionals (de llenguatge i altres modalitats) que han donat lloc a la IA generativa, amb aplicacions com ChatGPT i altres, que han popularitzat la intel·ligència artificial a tots els nivells degut a la seva transversalitat i a la seva capacitat d'arribar massivament al públic en general, com ho demostren les xifres de velocitat d'adopció, que superen abastament les de qualsevol altra disrupció tecnològica fins el moment.

La Intel·ligència Artificial a Catalunya

Es pot dir que Catalunya ha esdevingut un pol referent a Europa en l'àmbit de la Intel·ligència Artificial, afirmació que es sustenta en tota una sèrie d'elements que desgranarem a continuació.

La IA tal i com la coneixem avui va arribar a Catalunya de la mà del Professor R. López de Màntaras quan el 1985 va crear un grup de recerca en IA que el 1994 es va consolidar donant lloc a l'Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial (IIIA-CSIC). En paral·lel, la recerca en IA es va anar estenent a les diferents universitats catalanes i actualment es poden seguir estudis reglats relacionats en aquesta matèria als diferents centres universitaris públics i privats d'arreu del país. Destaquen UPC i UAB, dues universitats pioneres en oferir el cicle complet de formació en IA (grau, màster i doctorat) des del curs 2021-22.

L'impuls de la recerca en IA ha promogut diverses iniciatives singulars. El 1994 es va crear l'Associació Catalana d'Intel·ligència Artificial (ACIA) com a punt de trobada d'investigadors catalans en l'àmbit de la IA i que, entre altres activitats, organitza el Congrés Internacional de l'Associació Catalana d'Intel·ligència Artificial (CCIA) que ha arribat a la 26a edició el 2024.

El juliol de 2024 es va inaugurar la unitat ELLIS-Barcelona. ELLIS, sigles en anglès de Laboratori Europeu de Sistemes d'Aprenentatge i Intel·ligència, és una xarxa europea que agrupa, de forma nominal, investigadors de prestigi per avançar en la recerca fonamental en disciplines relacionades amb la IA. La creació d'aquesta unitat és una fita rellevant per al sistema de recerca català que, d'aquesta manera, s'afegeix a una llista d'altres 41 unitats ELLIS distribuïdes arreu del continent.

Al costat de l'àmbit de la recerca Catalunya té un important teixit d'entitats dedicades a materialitzar la innovació al voltant de la IA i de la ciència de les dades, fent que arribi de manera efectiva a les empreses, institucions i en general, a la societat catalana. Segons un recent informe elaborat per ACCIO trobem a Catalunya més de 70 centres d'innovació i transferència, tan públics com privats que treballen directament o indirecta al voltant de la IA amb un enfocament transversal o especialitzat sectorialment (ACCIÓ, 2024, pág. 74). Aquests agents generen coneixement propi, molt sovint utilitzant eficientment recursos públics destinats a l'R+D+i. Així, segons un informe¹ de seguiment de la participació catalana al programa marc europeu H2020, publicat el 2021 i elaborat per la Direcció General de

¹ Monitoratge de la RIS3CAT, número 13, Anàlisi de l'especialització en Intel·ligència Artificial.
<https://fonseuropeus.gencat.cat/web/.content/ris3cat/documents/monitoratge/13-monitoratge-ris3cat-intelligencia-artificial.pdf>

Promoció Econòmica, Competència i Regulació de la Generalitat de Catalunya, els agents catalans van participar en un total de 228 projectes centrats en IA amb un finançament de 130,23 MEUR. Aquestes dades col·loquen Catalunya en el grup de regions europees capdavanteres, tant pel que fa a nombre de projectes com per la captació de finançament.

Pel que fa a la valorització tecnològica, i al marge dels mecanismes propis que cada entitat pugui tenir, cal destacar l'anomenada Xarxa RDI-IA², creada amb el suport del Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya. Aquesta xarxa integra 28 grups de recerca en IA pertanyents a 16 institucions (universitats públiques i privades i centres tecnològics) i el seu propòsit és impulsar la valorització dels actius en IA creats pels seus membres. Posada en marxa el 2023, la Xarxa RDI-IA articula serveis orientats a identificar actius de valorització, des de nivells tecnològics baixos o mitjans, fins a eines de suport a l'emprenedoria.

A l'hora de quantificar els indicadors empresarials més rellevants de la IA a Catalunya tornem a referir-nos a l'estudi realitzat per ACCIÓ, prèviament esmentat, en què es donen dades actualitzades de 2024. Segons aquest treball, actualment hi ha un total de 488 empreses operatives a Catalunya que ofereixen productes i serveis relacionats amb la IA, essent els més importants les solucions basades en aprenentatge automàtic i a continuació plataformes d'IA. El nombre d'empreses identificades ha crescut al voltant del 170% respecte el darrer estudi equivalent realitzat el 2019. És interessant destacar que el 88% d'aquestes empreses són pimes, el 55% s'han creat en els darrers deu anys i 44% són empreses emergents. Un 38,5% del total d'empreses facturen més d'1MEUR i el 17% superen els 10 MEUR. La facturació agregada del sector és de 2.155 M€, el que equival al 0,8% de PIB català de 2023. Aquesta xifra s'ha incrementat en un 59% respecte les darreres dades de l'estudi de 2019. Per últim un total de 14.500 professionals treballen en aquestes empreses, el que representa un increment del 71% respecte les dades de 2019 (ACCIÓ, 2024, pág. 71). Aquestes xifres confirmen el creixement empresarial del sector de la IA, en particular en l'oferta de productes i serveis empresarials basats en aquesta tecnologia. No tenen en compte, però, l'efecte multiplicador en el volum de negoci de les empreses de la demanda que han adoptat aquests productes i serveis, degut a factors com millores en l'eficiència dels processos, millora de la qualitat, optimització de recursos o altres. Aquest efecte multiplicador és difícil de comptabilitzar però alguns estudis indiquen que l'adopció generalitzada de la IA pot portar un augment del 7% del PIB mundial durant els propers 10 anys. (SIMONS, TURRINI, & VIVIAN, 2024, pág. 16).

CATALONIA.AI, l'estratègia catalana per a la intel·ligència artificial

Com s'ha vist, la IA a Catalunya tant des del punt de vista de la recerca com de la innovació, i també pel que fa al seu impacte empresarial, s'ha anat desenvolupant en les darreres dècades i ha assolit un nivell de maduresa important. Aquesta evolució, com és lògic, es va produir en paral·lel al creixement generalitzat i global de la IA com una de les tecnologies

² <https://xarxardi-ia.cat/>

disruptives de major impacte. Situats al voltant del 2019, i vista la transcendència que podria arribar a tenir la IA en el desenvolupament econòmic i social dels diferents estats, la Unió Europea va començar a reclamar als seus membres l'elaboració d'estratègies nacionals d'IA. És en aquells moments quan a Catalunya ja s'havia començat a dibuixar una estratègia específica per desenvolupar la IA tenint en compte les especificitats i necessitats del país. Aquesta iniciativa es va materialitzar amb l'estratègia catalana de la IA, coneguda com CATALONIA.AI³, aprovada pel Govern de la Generalitat el febrer de 2020. CATALONIA.AI estableix un marc per impulsar la recerca, el desenvolupament i l'adopció de la intel·ligència artificial a Catalunya a partir de la col·laboració entre institucions públiques, privades i acadèmiques. Curiosament, aquesta aprovació va arribar gaire bé un any abans de l'aprovació de l'estratègia espanyola (*Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial*, ENIA) de desembre de 2020, i actualitzada el 2024⁴.

L'estratègia catalana es desplega al voltant de sis elements que es reproduïxen a continuació tal i com es presenten al document corresponent (DEPARTAMENT DE POLÍTQUES DIGITALS. GENERALITAT DE CATALUNYA, 2020, págs. 29, 30) :

- **Ecosistema:** impulsar un model de governança transversal que doni suport al desenvolupament d'un ecosistema d'intel·ligència artificial coordinat i connectat amb el món.
- **Recerca i innovació:** potenciar la recerca i la innovació mitjançant l'aplicació d'instruments específics i l'establiment de sinergies entre l'Administració, els centres de recerca i innovació especialitzats i organitzacions usuàries intensives en intel·ligència artificial.
- **Talent:** crear, atraure i retenir el talent especialitzat que impulsi el desenvolupament de solucions d'intel·ligència artificial i la transferència de coneixement a la societat, a la vegada que capacita la ciutadania i els professionals d'altres sectors per afrontar el seu impacte.
- **Infraestructures i dades:** disposar de les infraestructures necessàries per al desenvolupament de la intel·ligència artificial i facilitar l'accés segur a les dades públiques i privades.
- **Adopció de la intel·ligència artificial:** impulsar la incorporació de la intel·ligència artificial com a tractor d'innovació en l'Administració i en sectors estratègics com l'agroalimentari, la salut i el benestar, el medi ambient, la mobilitat, el turisme, la cultura i la indústria, entre d'altres.
- **Ètica i societat:** promoure el desenvolupament d'una intel·ligència artificial ètica, que respecti la legalitat vigent, sigui compatible con les nostres normes socials i culturals, i estigui centrada en les persones.

³ L'estratègia d'Intel·ligència Artificial de Catalunya. Secretaria de Polítiques Digitals de la Generalitat de Catalunya.
https://politiquesdigitals.gencat.cat/web/.content/00-arbre/economia/catalonia-ai/Estrategia_IA_Catalunya_VFfinal_CAT.pdf

⁴ https://portal.mineco.gob.es/es-es/digitalizacionIA/Documents/Estrategia_IA_2024.pdf

Aquests elements s'estan duent a la pràctica amb la posada en marxa de les quatre eines següents:

- **AIRA**⁵: Aliança de Recerca en Intel·ligència Artificial de Catalunya (AIRA), que es focalitza en la investigació científica i la generació de talent.
- **DCA-IA**⁶: correspon a la secció IA de la *Digital Catalonia Alliance*, una agrupació que recull el conjunt d'empreses i entitats que ofereixen solucions tecnològiques en l'àmbit de la IA.
- **OEIAC**⁷: l'Observatori d'Ètica en Intel·ligència Artificial de Catalunya, que vetlla pel desenvolupament d'una IA ètica que respecti la legalitat vigent, que sigui compatible amb les normes socials i culturals del nostre entorn, i que estigui centrada en les persones.
- **CIDAI**⁸: el Centre d'Innovació en Dades i Intel·ligència Artificial, instrument amb el qual s'implementen els elements de l'estratègia CATALONIA.AI relacionats amb la innovació, i que es desenvolupen amb més detall a continuació.

El CIDAI, l'instrument de la CATALONIA.AI per a la Innovació

El CIDAI, Centre d'Innovació en Dades i Intel·ligència Artificial, es va posar en marxa al mateix moment que es va aprovar la CATALONIA.AI i, per tant, és el primer instrument de l'estratègia que es va constituir formalment adoptant la forma d'associació públic-privada, el 20 de febrer de 2020. Els seus membres fundadors van ser la Generalitat de Catalunya i l'Ajuntament de Barcelona, com a representants públics, les empreses privades Microsoft, NTT Data i SDG Group i els centres tecnològics i2CAT, Centre de Visió per Computador (CVC), Barcelona Supercomputer Centre (BSC-CNS) i Eurecat, essent aquest últim el centre que va rebre el mandat de coordinar i impulsar el pla d'activitats del CIDAI. Posteriorment a la seva constitució es van incorporar al CIDAI les empreses SAP i HUAWEI i el centre IDEAI-UPC.

Des de la seva posada en marxa el CIDAI està desenvolupant una sèrie d'activitats encaminades a portar a terme la seva missió: promoure la innovació basada en la ciència de dades i la intel·ligència artificial, la seva disseminació i la seva adopció per part de les empreses, la pròpia administració de la Generalitat i, en general, la societat catalana. Entre les moltes tasques que s'impulsen des del CIDAI, es destaquen les relacionades amb la innovació tecnològica, les tasques enfocades a la disseminació i les tasques de promoció de l'ecosistema, que es desenvolupen a continuació.

Una bona part dels esforços del CIDAI i dels seus membres es concentren en l'execució de projectes que responen a problemàtiques reals exposades per una entitat promotora i que els membres del CIDAI, especialment els diferents centres tecnològics que els componen, poden implementar donant lloc a una prova de concepte o demostrador basat en tecnologies d'IA. Aquests projectes es consideren d'impacte, en el sentit que demostren de manera fefaent la

⁵ <https://airacat.eu/>

⁶ <https://dca.cat/ca/dca-ia/>

⁷ <https://oeiac.cat/qui-som/>

⁸ <https://cidai.eu/>

utilitat de les solucions tecnològiques basades en dades i en IA per resoldre reptes concrets. La Taula 1 mostra el conjunt dels projectes d'aquestes característiques desenvolupats en el marc del CIDAI en el període 2021-24.

Nom del projecte	Patrocinador	Participants	Tecnologia	Any	Actius generats
Projectes de salut digital basats en anàlisi d'imatge mèdica: Malalties pulmonars	H. Vall d'Hebron H. Parc Taulí	- Eurecat - CVC	Aprenentatge profund	2021	Sistemes de suport a la decisió (prototipus)
Projectes de salut digital basats en anàlisi d'imatge mèdica: Malalties nefrològiques	Fundació Puigverd	NTT Data	Aprenentatge profund	2021	Sistemes de suport a la decisió (prototipus)
Aplicació de la IA i Visió artificial per a la gestió de la mobilitat	Servei Català de Trànsit	- i2CAT - Eurecat	Visió artificial	2021	Prototipus
IA per a l'anàlisi de dades turístiques	- CaixaBank - Tripadvisor	- IDEAI-UPC - Eurecat	Analítica de dades	2021	Prototipus
IA i micromobilitat sostenible: Cas d'ús Servei Bicing BCN	- Bicing - Pedalem Barcelona	- IDEAI-UPC - i2CAT - Eurecat	Aprenentatge automàtic Analítica de dades	2022	Sistema de manteniment predictiu (prototipus) Espai de dades (prototipus)
IA aplicada pel sector agropecuari	DARPA	- Eurecat - CVC - IDEAI-UPC - BSC	Aprenentatge automàtic Analítica de dades Visió Artificial	2022	Eina predictiva sobre l'impacte de l'aplicació d'antibiòtics en explotacions ramaderes (prototipus) Eina de visió artificial d'inspecció en granja (prototipus)
Eines intel·ligents pel resum i generació de contingut audiovisual en notícies ⁹	3CAT	- Eurecat - IDEAI-UPC - CVC	IA Generativa multimodal	2023	Eina per fer resum automàtics de vídeos de notícies (prototipus)
Predicció de la densitat horària de trucades al SEM	SEM (Sistema d'Emergències mèdiques)	- i2CAT - Eurecat	Aprenentatge Automàtic	2023	Eina predictiva (prototipus)
Cercador especialitzat per esdeveniments de ciberseguretat	Agència de Ciberseguretat de Catalunya	Eurecat	IA Generativa	2023	RAG (retrieval augmented generation) adaptat al context de la ciberseguretat (prototipus)
Detecció avançada de patrons anòmals en les transaccions econòmiques per la identificació del frau	Caixa d'Enginyers	- Eurecat - IDEAI-UPC	Aprenentatge Automàtic	2024	Eina predictiva (prototipus)
Eina predictiva basada en IA per millorar la planificació i servei de la xarxa de BUS Metropolità	Àrea Metropolitana de Barcelona	- Eurecat - Ajuntament de Barcelona	Aprenentatge Automàtic	2024	Eina predictiva de l'ús de l'aerobus Barcelona – Aeroport del Prat (prototipus)
Descripció d'imatges, Generació de text descriptiu i resum i anàlisi semàntic de text	3CAT	- Eurecat - Generalitat de Catalunya	IA Generativa	2024	Prototipus

⁹ Aquest projecte va ser guardonat amb el premi al millor projecte d'R+D+i de l'IA Summit organitzat per AMETIC <https://eurecat.org/eurecat-guanyador-el-premi-de-lametic-artificial-intelligence-summit-2024-en-la-categoria-dinnovacio-en-ia-amb-un-projecte-del-cidai-amb-3cat/>

Nom del projecte	Patrocinador	Participants	Tecnologia	Any	Actius generats
Recollida àgil de dades pel servei social de L'Ajuntament de Barcelona	Progress	- Eurecat - Ajuntament de Barcelona	Aprenentatge automàtic	2024	Prototipus
Avatar de traducció d'àudio i text a la llengua de signes catalana	MEDIAPRO	- i2CAT - CVC - Ajuntament de Barcelona - Generalitat de Catalunya - HUAWEI	Visió artificial IA generativa	2024	Prototipus
Detecció d'activitats d'esportistes amb una única càmera	HUB23	- CVC - Eurecat	Visió artificial	2024	Prototipus

Taula 1. Projectes d'innovació amb impacte realitzats pel CIDAI en el període 2021-24

Es important remarcar que, seguint l'objectiu de promoció tecnològica que inspira el CIDAI, tots els resultats d'aquests projectes es presenten públicament en sengles sessions obertes i el informes d'execució i de resultats també es posen a disposició de l'ecosistema d'IA català.

La resolució de problemes a partir de la identificació de reptes posa de manifest, entre altres coses, l'interès creixent per l'adopció de les tecnologies d'IA per part de les empreses i institucions catalanes. Com a exemple il·lustratiu la Taula 2 recull el conjunt de reptes que es van recol·lectar des del CIDAI per al 2024, tots ells abordables usant solucions que incorporin tecnologies d'IA i analítica de dades. Tot i que no s'han pogut dur a terme per la limitació de recursos, aquestes propostes s'avaluaran per al 2025 i es prioritzaran considerant diversos criteris com, per exemple, complexitat i interès tecnològic, impacte social de la solució, disponibilitat i qualitat de les dades associades al repte, i altres.

Reptes
Integrar solucions IA en els serveis d'Atenció i Tramitació ciutadana amb eines tipus xatbot
Anàlisi de la satisfacció dels socis 360º tenint en compte informació multilingüe interna (text, document sonor, <i>email</i>)
Xatbot d'informació de mercats: sistema que pugui respondre a consultes en llenguatge natural en temps real
Descripció de Imatges. 1 Generació de text descriptiu. 2 Resums i anàlisis semàntic de text
Prevençió d'incidents a l'interior dels centres penitenciaris i de justícia juvenil
Disposar d'eines de suport a la gestió judicial tant pel què fa al llenguatge (conversió a text, dictat, redacció), com per la identificació i classificació de documents, anàlisi de contingut i elaboració de decisions judicials
Accions de mediació i resolució extrajudicial de conflictes
Disposar d'eines de suport jurídics per advocats, magistrats o agents que fan ús de les lleis per facilitar-ne l'accés, la comprensió i la interpretació
Tutor intel·ligent per a l'aprenentatge personalitzat: generació de plans d'estudi (itineraris de formació) personalitzats, adaptats a les necessitats i habilitats de cada estudiant, generats a partir de sistemes de recomanació i continguts augmentats en IA i en base als perfils d'aprenentatge dels estudiants
Xatbot educatiu que proporcioni respostes i solucions a les necessitats dels pares
Creació amb IA generativa d'avatars hologràfics com assistents virtuals interactius
Agilització de la creació de contingut 3d i espais immersius amb IA
Generació d'un avatar que tradueixi a llengua de signes anglesa un àudio/text en català

Generació automàtica d'un avatar que tradueixi a llengua de signes anglesa a partir de les expressions en llengua de signes catalana
Registre, estructuració i anàlisi de la informació obtinguda a través d'entrevistes personals presencials
Incorporació d'eines d'IA que facilitin l'adopció de les necessitats canviants de recollida d'informació durant l'activitat d'intervenció i registre dels professionals
Eines analítiques per a la predicció de sòl urbà per habitatge social

Taula 2. Reptes presentats però que no s'han executat degut a la limitació de recursos¹⁰

El procés d'execució d'aquests projectes d'impacte també ha posat de manifest una dificultat compartida en la majoria dels casos i és la complexitat per obtenir les dades imprescindibles per posar-los en marxa. Complexitat que pot ser de tipus administratiu, de qualitat o de suficiència per al problema a abordar però que, en general, s'ha pogut resoldre amb un impacte principalment en el calendari d'execució.

Seguint amb l'esforç de demostració de la innovació tecnològica, des del CIDAI es promou també la realització de projectes que es basen en proves de concepte sectorials executades per part de les entitats associades. Aquests projectes es posen a disposició del CIDAI, i com en el cas anterior, es fan presentacions públiques i es comparteixen els informes al conjunt de la comunitat tecnològica. D'acord amb els objectius de la CATALONIA.AI, s'han compartit proves de concepte que il·lustren aplicacions en els principals sectors de l'estratègia RIS3CAT. Del total de 28 proves de concepte, 8 estan relacionades amb la sostenibilitat, 5 amb la salut, 4 amb el sector agroalimentari i la resta es reparteixen en àmbits com la mobilitat, aplicacions relacionades amb la llengua o la ciberseguretat.

L'impacte d'aquesta activitat enfocada a la innovació tecnològica es pot avaluar qualitativament atenent a diversos criteris. En primer lloc, es valora l'**efecte demostrador**. La realització d'aquests projectes i la seva exposició pública actuen d'altaveu i atrauen especialment empreses que demanen solucions de base tecnològica. Això permet reforçar una relació de confiança amb les entitats que proveeixen la tecnologia en base als resultats obtinguts. En segon lloc cal tenir en compte la **generació de valor**. Per la forma com es duen a terme aquests projectes, normalment finalitzen en proves de concepte de valor però que difícilment poden acabar en un context de producció. Això es deu a factors com la limitació de recursos (que no permeten completar el cicle de disseny d'una solució), compatibilitat amb sistemes heretats o altres. Però, malgrat aquestes limitacions, la pròpia execució dels projectes permet aplicar i desenvolupar coneixement innovador que es tradueix, per exemple, en la producció d'articles científics i en l'exploració de la propietat intel·lectual que es pot generar a partir de les solucions implementades. Per últim es valora també el **reforç del model d'innovació** que representa el CIDAI, i més enllà la CATALONIA.AI, model que s'ha presentat en diferents fòrums (per exemple a l'associació espanyola d'indústries del sector de les TIC, AMETIC) i que es pot extrapolar a altres entorns, tant a nivell espanyol com internacional.

Una altra activitat important que desenvolupa el CIDAI i que es troba tant en l'àmbit de la innovació com de la creació de l'ecosistema és la redacció de llibres blancs sobre l'aplicació de la IA en sectors rellevants de l'economia catalana. Com es mostra a la Figura 1, s'han

¹⁰ Per qüestions de privacitat no s'ha inclòs l'empresa o institució que proposa el repte

confeccionat en el període 2021-2014 un total de 8 llibres blancs que cobreixen els següents sectors: salut, mobilitat, aigua, indústria agroalimentària, indústries culturals i basades en l'experiència, llengua i educació, ciberseguretat (realitzat per encàrrec de l'Agència de Ciberseguretat de Catalunya) i energia.

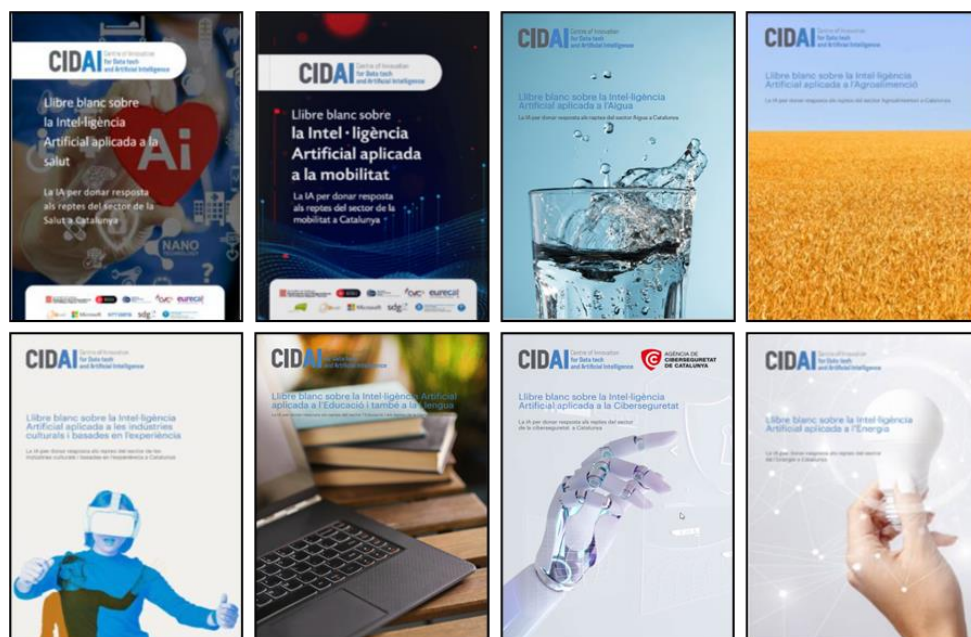


Figura 1. Llibres blancs elaborats pel CIDAI

La producció d'aquests llibres blancs segueix una metodologia comuna. En primer lloc s'identifiquen actors clau que cobreixen la cadena de valor del sector en estudi: proveïdors tecnològics (empreses, centres tecnològics, start-ups), administració, empreses sectorials, usuaris finals, acadèmia i recerca, etc. Es realitzen entrevistes individualitzades i sessions de discussió en comú per descriure com la IA està impactant actualment el sector i quin és el seu DAFO, generar recomanacions i recopilar exemples de projectes o activitats relacionades que exemplifiquen casos reals en marxa a Catalunya. Seguint els criteris d'obertura del CIDAI, aquests llibres blancs són totalment accessibles¹¹ i en cada cas es fa una presentació pública dels resultats.

Pel que fa a l'impuls de l'ecosistema català de la IA, el CIDAI també desenvolupa una sèrie d'activitats específiques en forma de tallers de reptes empresarials, reptes sectorials i suport a iniciatives paral·leles com per exemple el DIH4CAT¹² o *hub* digital de Catalunya.

En relació als reptes empresarials, el CIDAI proposa metodologies de co-creació per a la identificació d'aquests reptes i, sobre tot, la proposta de solucions a partir de l'aplicació de la IA. Aquestes sessions estan obertes a les empreses o organismes i institucions catalanes en general però es prioritzen activitats amb empreses que, sense ser entitats fundadores del CIDAI, s'hi han adherit posteriorment com membres en segona corona. Això ha permès desenvolupar aquestes activitats enfocades a les necessitats d'entitats com l'Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona (ATM), l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), Festival

¹¹ <https://cidai.eu/white-papers/>

¹² <https://dih4cat.cat/>

Cruïlla, Caixa d'Enginyers, CETAQUA o 3CAT (com empreses membres del CIDAI) o amb el Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya (amb la idea que l'administració sigui un *early adopter* de solucions tecnològiques avançades).

El suport des del CIDAI al DIH4CAT té un impacte directe en les petites i mitjanes empreses que volen innovar i adoptar les tecnologies d'IA. Per entendre perquè i com això succeeix primer cal conèixer què és el *hub* digital de Catalunya. El DIH4CAT és l'element català de la xarxa europea de *hubs* d'innovació digitals coneguts com eDIH (*European Digital Innovation Hubs*). Impulsats des del Programa Digital Europeu¹³, els eDIH són uns instruments que sota la forma d'un projecte europeu s'enfoquen a donar suport en un àmbit regional a les empreses, especialment les pimes, en la seva transformació digital. El DIH4CAT s'organitza a partir de set nodes tecnològics: i) supercomputació, ii) ciberseguretat, iii) connectivitat intel·ligent, iv) fabricació additiva i impressió 3D, v) fabricació avançada i robòtica, vi) fotònica i vii) intel·ligència artificial. Justament el CIDAI implementa aquest darrer node d'IA, i una de les activitats de major impacte en la col·laboració CIDAI i DIH4CAT és la mobilització d'empreses per a executar projectes de realització de proves de concepte i definició de fulls de ruta. El fet que s'hagi posat en marxa l'instrument PADIH¹⁴ corresponent al *Programa de Apoyo a los Digital Innovation Hubs* que aplica als diversos eDIHs espanyols, entre els quals el DIH4CAT/CIDAI, ha facilitat la concreció d'aquests projectes empresarials gràcies al finançament que reben les empreses a partir de fons europeus corresponents al Pla de Recuperació, Transformació i Resiliència. L'instrument PADIH, doncs, posa a disposició de les pimes un finançament de fins a 30.000 EUR per a projecte, que han d'executar entitats associades a un eDIH. En el cas del DIH4CAT, a través del CIDAI, s'han mobilitzat 68 pimes catalanes en el període 2023-24, que han realitzat projectes en l'àmbit de la IA per un import superior a 1,8 MEUR utilitzant els serveis oferts per les entitats pertanyents al CIDAI. L'impacte de l'instrument PADIH és rellevant doncs facilita que moltes petites i mitjanes empreses de sectors totalment diversos puguin experimentar mitjançant proves de concepte amb un risc acotat l'adopció de solucions basades en IA. EL següent pas és l'escalabilitat d'aquestes proves de concepte o l'ampliació a altres processos de negoci, però aquesta decisió pertany a l'empresa.

La disseminació tecnològica és un altre pilar fonamental del CIDAI, que es duu a terme de diverses maneres. L'activitat més notòria és la realització de l'anomenat *AI&BD Congress*. Aquest esdeveniment, que el 2024 va arribar a la seva desena edició, és un canal de difusió tecnològica i un espai de relació rellevant per a un públic ampli format principalment per professionals de la tecnologia, proveïdors tecnològics, empreses usuàries, emprenedors, empreses emergents i acadèmia, que treballen en el context de la IA i l'economia basada en dades. Aquest congrés ha esdevingut el principal esdeveniment no científic dedicat a la IA i les tecnologies de dades a Catalunya. Alguns indicadors numèrics agregats de les deu edicions realitzades (2015-2024) es resumeixen a la Taula 3. A part d'aquest, el CIDAI també promou altres esdeveniments o accions de disseminació amb un caire formatiu, com són *master classes* i tallers especialitzats que adrecen aspectes de l'estat de l'art tecnològic

¹³ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/activities/edihs>

¹⁴ <https://www.eoi.es/es/padih>

(algorismes, arquitectura o tècniques d'IA i la seva implementació i desenvolupament), aspectes estratègics i d'impacte en negoci i també tendències. Des de 2021, el CIDAI ha organitzat 43 sessions d'aquest tipus amb una audiència total de 1.700 assistents.

INDICADOR	QUANTITAT (AGREGADA 2015-25)
Assistents	8.000
Ponents	438
Patrocinadors	110
Entitats col·laboradores	213
Mitjans de comunicació associats	64
Impactes mediàtics	562
Impactes en XXSS (en milions)	10,7

Taula 3: Principals indicadors agregats de l'AI&BD Congress, període 2015-24

El potencial transformador de la IA per a l'empresa

Per analitzar el potencial transformador de la IA a l'empresa distingirem l'impacte de la IA analítica¹⁵ en primer lloc, i després el de la IA generativa, perquè la base tecnològica de cada tipus d'IA és diferent i no sempre es poden intercanviar per un determinat procés o funció, tot i que en alguns casos poden ser complementàries.

En l'entorn empresarial, i específicament en l'entorn industrial manufacturer, la IA analítica té moltes aplicacions que es veuen reforçades quan, en el marc de la Indústria 4.0, es combina amb altres tecnologies com la Internet de les Coses (IoT), la robòtica, els bessons digitals o la computació a l'extrem (*edge computing*). Alguns exemples de funcions en què aquesta simbiosi es produeix són els següents:

- **Manteniment Predictiu:** els sensors d'una cadena de producció interconnectats seguint l'arquitectura de la IoT monitoritzen contínuament l'estat dels equips productius i, aplicant IA (aprenentatge automàtic) sobre les dades d'aquests sensors IoT, es pot monitoritzar l'estat de les màquines en temps real i predir fallades abans que es produeixin. A diferència d'un manteniment reactiu, aquest escenari permet planificar un manteniment proactiu, maximitzant la continuïtat de negoci i reduint els costos de reparació.
- **Gestió de la Cadena de Subministrament i de les operacions:** aquesta és una funció complexa que resulta de la concatenació de diferents operacions on la IA contribueix a optimitzar-ne la gestió global. Des de la previsió de la demanda a partir del potencial predictiu de la IA per a analitzar dades històriques i tendències de mercat, a l'optimització de la gestió d'inventaris combinant analítica de dades i IoT o

¹⁵ La IA analítica també es denomina sovint com IA dèbil o IA estreta, en referència a la capacitat de dur a terme operacions molt especialitzades

l'optimització de rutes de lliurament creuant patrons de trànsit i estat de les vies de comunicació, informació meteorològica i ubicació geogràfica dinàmica dels punts de destí. La flexibilització de la producció en funció de la variació de la demanda o la necessitat de personalització de producte és un altre cas d'aplicació de la IA en combinació amb altres tecnologies com per exemple, en aquest cas, els bessons digitals, que permeten simular mitjans de producció reconfigurables en temps real.

- **Control de Qualitat Automatitzat:** les tècniques de visió artificial, una disciplina dins de la IA, permeten inspeccionar de manera eficient i efectiva la qualitat dels productes fabricats, detectant defectes amb una gran precisió i en temps real. Si s'afegeixen sistemes robòtics, en alguns casos es pot automatitzar la classificació de la producció i la separació dels productes defectuosos. Aquestes tècniques s'usen en un ampli ventall d'indústries com l'automoció, la indústria tèxtil o farmacèutica, i qualsevol sector en què la inspecció de la producció és crucial.

Es podrien enumerar altres processos de negoci on és factible usar alguna modalitat tecnològica basada en IA analítica i, en general, es pot afirmar que aquesta aplicació permet millorar l'eficiència i la productivitat, optimitzar l'ús de recursos materials i energètics, reduir costos i en definitiva augmentar la competitivitat empresarial.

Pel que fa a la IA generativa, des de la seva irrupció massiva a finals de 2022, ha esdevingut una tendència generalitzada i les eines basades en aquesta tecnologia troben aplicacions en gairebé tots els verticals econòmics. A part de les estratègies de màrqueting que hagin pogut seguir els grans actors tecnològics (com OpenAI i altres) per mantenir el focus mediàtic, hi ha altres factors que han contribuït a l'expansió de la IA generativa. La profusió de models de llenguatge extensos (coneguts també com LLM o *Large Language Models*), especialment durant l'any 2024, com es veu a la Figura 2, així com el fet que alguns d'aquests models siguin de codi obert (per exemple LLaMA o MISTRAL), ha facilitat la comprensió de la IA generativa i la producció d'aplicacions basades en aquesta tecnologia s'ha expandit més enllà de les empreses tecnològiques d'origen. En segon lloc, al costat dels LLMs, que tenen centenars o milers de bilions¹⁶ de paràmetres, cal destacar també la disponibilitat de models de llenguatge petits (SLM o *Small Language Models*) amb una dimensió al voltant de deu bilions de paràmetres. En contraposició als LLMs la manipulació dels quals és molt restringida degut a l'enorme quantitat de recursos de computació que requereixen i els elevats costos associats, els SLMs es poden desplegar més fàcilment perquè necessiten menys recursos i el seu ajustament (*fine-tuning*¹⁷) és menys costós i, per tant, han contribuït enormement a la “democratització” la IA generativa. Un tercer factor d'expansió és la multimodalitat. És a dir, la capacitat d'aquesta tecnologia no només de generar text de forma automàtica basant-se en models de llenguatge sinó també poder generar imatge, vídeo, veu o so de forma anàloga combinant diferents modes d'entrada. Així, al costat dels models (extensos o petits) de llenguatge, també trobem models d'imatge (LIM, *Large Image Model*) com els coneguts DALL-

¹⁶ Segueix la notació americana on 1 bilió equival a 1.000 milions

¹⁷ Un model de llenguatge (ja sigui LLM o SLM) passa per una fase inicial d'entrenament en la que aprèn d'un conjunt de dades (textos) molt vast, durant la qual s'ajusten els paràmetres de les xarxes neuronals de què es que compona, per tal de minimitzar l'error en les prediccions de text. Aquest procés dona lloc a un model pre-entrenat. Posteriorment aquest model de llenguatge es pot ajustar (*fine-tune*) usant dades d'entrenament més específiques per a la funció o aplicació a la que es vol destinar.

E¹⁸ (d'OpenAI) o Stable Diffusion¹⁹, o models que generen vídeos a partir d'una descripció textual, com per exemple SORA²⁰ (també d'OpenAI).

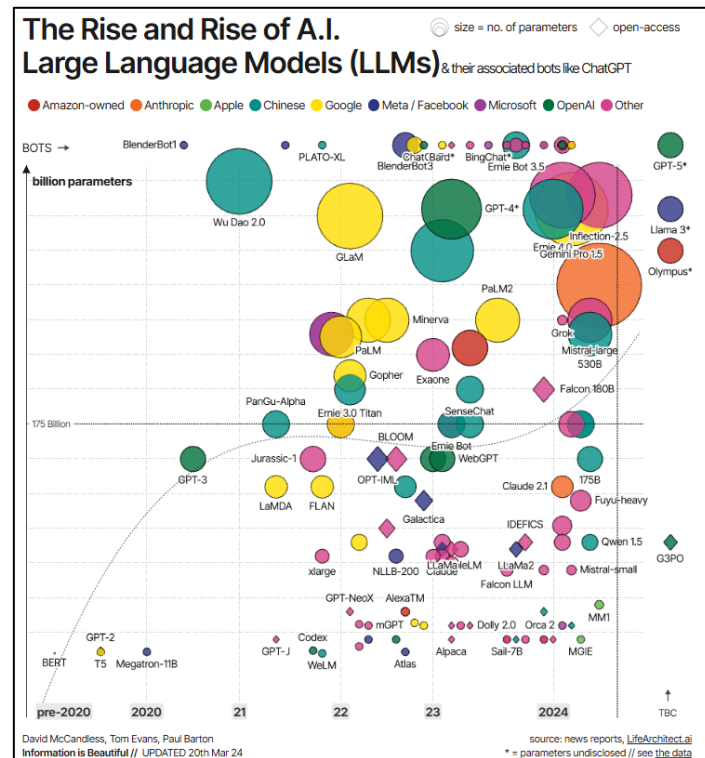


Figura 2: Grans models de llenguatge segons capacitat en milers de milions (bilions US). Els rombes indiquen models de codi obert.

Font: <https://informationisbeautiful.net/visualizations/the-rise-of-generative-ai-large-language-models-llms-like-chatgpt/>

Tots aquests ingredients fan que la IA generativa tingui una gran projecció en el món empresarial. Per la seva naturalesa, les indústries culturals i creatives i basades en l'experiència són una destinació adient d'aplicacions basades en aquesta tecnologia a l'hora de donar suport als equips creatius. També, departaments empresarials com màrqueting o atenció al client, podran dissenyar noves formes d'interacció amb el públic usant combinacions originals que explotin la multimodalitat de la IA generativa, assistents de veu avançats que generin respostes complexes més enllà dels sistemes pregunta-resposta, i altres.

Però la IA generativa té recorregut en altres dominis i sectors gràcies a desenvolupaments tecnològics que complementen les capacitats dels models de llenguatge. Un dels més interessants és coneix com RAG (de les sigles en anglès *Retrieval-Augmented Generation*) o generació augmentada per recuperació. La tecnologia RAG resol algunes de les limitacions que presenten els models de llenguatge com per exemple al·lucinacions²¹, obsolescència i/o

¹⁸ <https://openai.com/index/dall-e-2/>

¹⁹ <https://stablediffusionweb.com/>

²⁰ <https://openai.com/index/sora/>

²¹ Els models de llenguatge generen nou text a partir d'un càlcul de probabilitats en la concatenació de paraules. Si el model no està suficientment entrenat, o la base documental d'entrenament no és prou acurada els models poden generar respostes incongruents o sense cap mena de sentit i en aquests casos es considera que el model "al·lucina". En el fons, els models

limitació de les bases documentals usades en l'entrenament dels models, opacitat i manca d'explicabilitat (VERMA, 2024). I ho fa incorporant coneixement a partir de bases documentals externes, el que permet adaptar una generació de continguts personalitzada al domini o aplicació que es busca i, a la vegada, mantenir el sistema actualitzat en tot moment, aportant una major credibilitat i exactitud dels resultats (GAO & et al, 2023).

Els models de llenguatge augmentats amb la tecnologia RAG amplien les opcions d'ús de la IA generativa en altres àmbits, més enllà del ja esmentat sector creatiu, i també el rang de processos empresarials. Vegem-ne alguns:

- **Gestió del coneixement:** aquesta és una funció crítica en molts tipus de negocis i organitzacions i sovint no està resolta per diverses causes, sobre tot per la dispersió i fragmentació de la informació i la dificultat d'accedir-hi de forma ordenada. Les tecnologies LLM/RAG, acuradament entrenades, poden resoldre aquest problema aportant una recuperació de la informació acurada, amb interfícies d'usuari senzilles i de fàcil utilització i amb uns costos d'implantació raonables.
- **Acceleració dels processos d'R+D:** els sistemes LLM/RAG convenientment ajustats permeten automatitzar la cerca i la revisió de la literatura científica avaluant i sintetitzant estudis de l'estat de l'art de l'àmbit en qüestió de manera àgil i precisa. Al mateix temps, ajuden a formular hipòtesis noves a partir de l'anàlisi de la informació rellevant i també a reduir el temps de desenvolupament assistint els investigadors en tasques de menys valor afegit, com per exemple la generació d'informes (HAN, SUNSJAK, & MATHRANI, 2024).
- **Acceleració de la indústria del SW:** la IA generativa i en particular la combinació LLM/RAG està generant un gran impacte en la indústria de la enginyeria del SW. De fet, alguns estudis²² indiquen que la funció de TI (tecnologies de la informació) és la que presenta un grau de maduresa més elevat en l'adopció de la IA generativa i això s'explica majoritàriament per la capacitat de les aplicacions basades en LLM/RAG de generar nou programari a partir de descripcions en llenguatge natural, i de depurar, corregir i documentar el codi, entre altres funcions.
- **Compliment normatiu i legal:** determinats processos empresarials necessiten justificar el compliment de certes regulacions, estàndards o normatives. De nou, les eines RAG convenientment entrenades tenen la capacitat de generar documentació que tingui en compte el compliment d'aquestes normatives i estàndards, referenciant textos legals i guies actualitzades.

Més enllà d'aquests casos, en general, podem afirmar que la IA generativa pot esdevenir un complement significatiu de la IA analítica i concatenant les capacitats de l'una i de l'altra es poden aconseguir resultats de més valor afegit. Per exemple, en màrqueting, la IA analítica pot identificar segments de clients, i la IA generativa pot crear campanyes personalitzades per a cada segment. O, tornant al cas del manteniment predictiu en un entorn productiu, la IA

poden al·lucinar perquè no tenen cap mena de coneixement del subjecte o temàtica sobre el que generen continguts i per tant no poden discriminar la certitud de la resposta.

²² <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/gen-ai-in-corporate-functions-looking-beyond-efficiency-gains>

analítica pot processar grans volums de dades històriques de sensors i registres de manteniment per identificar patrons i tendències que indiquin possibles fallades en els equips, mentre que la IA generativa pot facilitar als tècnics informació detallada sobre les operacions concretes a realitzar extretes a partir de la documentació de manteniment d'aquests equips²³.

Per últim, una tendència en augment és l'ús de la IA generativa per a la "fabricació" de dades sintètiques. Aquesta funcionalitat és extremadament útil per entrenar models d'IA per als quals no es disposa de prou dades reals. Les dades sintètiques, que s'han de generar complint certes condicions de precisió, diversitat o equitat per evitar biaixos per tal de garantir-ne la qualitat, s'estan usant en diversos àmbits com per exemple assajos clínics per a la recerca en medicina, entrenament dels sistemes d'IA de vehicles autònoms, i altres.

L'adopció empresarial, principals barreres

Hem vist que les oportunitats d'ús de la IA en el món dels negocis són multisectorials i abracen diversos processos i funcions empresarials. Durant el 2024 s'ha observat a nivell global una acceleració en el ritme d'adopció d'aquesta tecnologia com es mostra en la Figura 3, on segons l'estudi realitzat (MCKINSEY & COMPANY, 2024), el 72% de les organitzacions enquestades, d'una mostra de 1.363 participants a nivell global, indicaven que havien adoptat la IA en almenys un procés de negoci, front al 55% declarat el 2023, mentre que en el cas de la IA generativa l'evolució ha estat del 33% al 65%.

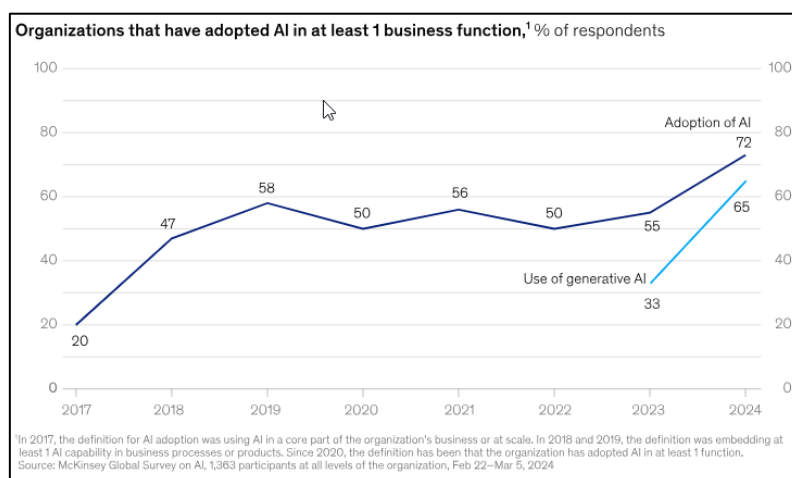


Figura 3: Evolució de l'adopció de la IA en almenys una funció empresarial.

Font: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>

A nivell espanyol i català la situació és similar. Segons un recent estudi sobre la maduresa de la intel·ligència artificial a l'empresa espanyola, un 72% de les organitzacions consideren la IA com una palanca clau per millorar la seva competitivitat i eficiència en les operacions tot i que només un 16% considera que la IA pot ajudar-les a assolir objectius més disruptius com, per exemple, la transformació dels models de negoci. I el 69% dels participants de l'estudi declaren estar treballant en 5 o menys casos d'ús susceptibles d'incorporar la IA. Entre

²³ <https://blog.siemens.com/2024/10/harnessing-generative-ai-for-predictive-maintenance/>

aquests els més rellevants són operacions internes (65%) i gestió de risc i ciberseguretat (54%). I els àmbits on es veu major recorregut i potencial d'adaptació són les operacions TI corporatives (37%), màrqueting (36%), vendes (33%) i relacions amb client (40%) (MINSAIT, 2024, pág. 17).

Malgrat tot, encara hi ha alguns reptes a superar per aterrar la IA en l'entorn empresarial, i especialment quan es tracta de petites i mitjanes empreses. Probablement, un dels primers reptes és la correcta gestió d'expectatives, és a dir, avaluar si la IA és o no l'opció més adequada per resoldre la necessitat empresarial. Un altre repte és determinar el grau de maduresa de l'empresa per adoptar la IA. Això té implicacions a diferents nivells. Des d'un punt de vista pràctic, cal comprovar si es disposa de les dades necessàries i de qualitat, imprescindibles per als sistemes d'IA. Com indiquen les estadístiques anteriors, és recomanable identificar un cas d'ús concret que pugui usar-se com un pilot. Cal pensar amb la disponibilitat de recursos computacionals, imprescindibles també per a executar projectes d'IA, recursos que o bé són propis o cal cercar-los al núvol. I, sobre tot, per recórrer aquest camí cal disposar de coneixement i talent expert que, si no existeix internament, cal trobar-lo fora. En relació al talent, un repte recurrent és l'escassetat d'especialistes en àmbits com la IA i l'analítica de dades. Segons les conclusions del taller sobre formació en IA a Catalunya, organitzat pel CIDAI i AIRA el desembre de 2023²⁴ l'oferta formativa tècnica reglada que generen les universitats catalanes és aproximadament de 8.000 persones/any (el que significa un 16% del total, una xifra insuficient per satisfer la demanda de les empreses catalanes, tenint en compte que la demanda de talent digital el 2023 va superar les 34.000 ofertes de treball (MOBILE WORLD CAPITAL BARCELONA, 2024, pág. 6)

L'empresa ha d'estar, també, amatent a l'acceptació de la IA entre els seus empleats, probablement caldrà explicar els beneficis que s'esperen obtenir per vèncer la resistència al canvi. I, molt important, cal valorar el cost de tot plegat i avaluar el retorn que s'espera de la inversió.

Hi ha també riscos que cal conèixer per poder-los anticipar. Alguns són riscos tecnològics associats a la pròpia IA. Per exemple, que els resultats obtinguts estiguin per sota dels esperats (potser perquè els models han estat entrenats deficientment a causa de la qualitat defectuosa de les dades emprades) o que l'arquitectura de la solució que s'ha implantat no hagi considerat potencials amenaces de ciberseguretat, etc. Hi ha també riscos no tecnològics com la no acceptació dels projectes d'IA per temor a la substitució de la força del treball, les implicacions ètiques i de regulació dels sistemes d'IA i els condicionants que pot imposar la regulació de la IA, que es tracten a continuació.

La regulació de la IA

Es conegut que les tecnologies d'IA, per la seva naturalesa i la forma en què es desenvolupen, presenten vulnerabilitats de tipus ètic que, entre altres, es poden traduir en resultats esbiaixats i discriminatoris (reflectint biaixos inadvertits degut a dades d'entrenament que perpetuen

²⁴ <https://cidai.eu/el-talent-en-inteligencia-artificial-a-catalunya/>

biaixos socials), manca d'explicabilitat degut a què moltes vegades els models usats són opacs i difícils d'interpretar (models de caixa negra). En un altre nivell, tot i que també amb conseqüències ètiques, es poden considerar els riscos de seguretat dels sistemes d'IA, és a dir vulnerabilitat a ciberatacs que poden comprometre la privacitat i integritat de dades sensible i els impactes ambientals de la IA.

Europa és un entorn particularment sensible a la dimensió ètica de la IA i ha estat pionera en la formalització de les regulacions de la IA. Ja l'any 2019 la Comissió Europea va publicar l'informe *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*²⁵ en què es definien els components centrals d'una IA confiable, basats en i) la legalitat i el compliment de totes les regulacions aplicables, ii) l'ètica, com expressió del respecte als principis i valors ètics i iii) la robustesa tècnica i social per evitar danys no intencionats.

S'ha evolucionat molt des d'aquest document de principis ètics per a la IA i en l'actualitat Europa ha esdevingut el primer subjecte polític internacional en posar en marxa una regulació de la IA, la coneguda com IA Act, i que va entrar en vigor el primer d'agost de 2024. Aquesta és una legislació molt complexa, la promulgació de la qual es va veure accelerada per l'arribada de la IA generativa, i que defineix què es podrà fer i què no amb la IA als països de la unió. El principi rector d'aquesta llei és salvaguardar els drets humans i la integritat dels ciutadans europeus en front de les aplicacions i sistemes que usen la IA. I per fer això estipula quatre nivells de risc (inacceptable, elevat, limitat i mínim, segons es visualitza a la **Figura 4**) de les aplicacions o sistemes d'IA.

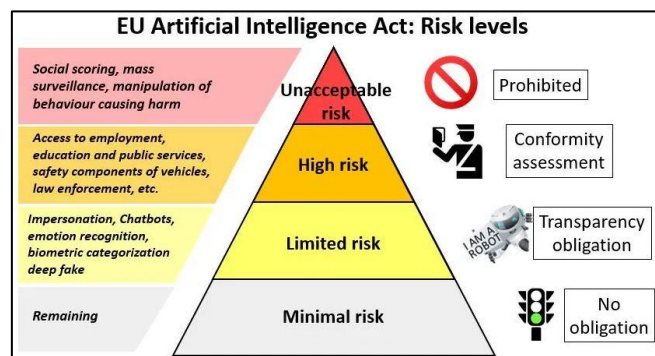


Figura 4: Nivells de risc dels sistemes d'IA segons la AI Act, exemples d'aplicacions i forma de verificació.

Font: <https://datasciencedojo.com/blog/eu-ai-act/>

L'impacte de l'aplicació de la IA Act a les empreses que produeixen serveis o productes basats en la IA serà important perquè hauran d'instaurar nous processos de documentació tècnica, sistemes de gestió del risc, i provisió transparent d'informació cap als usuaris, per tal d'obtenir la certificació corresponent.

En aquest sentit, és destacable la iniciativa PIO (principis, indicadors i objectius) de l'OEIAC (Observatori d'Ètica en IA de Catalunya). El Model PIO²⁶ és una senzilla eina d'avaluació dels usos ètics i legals que està harmonitzada amb els requisits legislatius i els estàndards i recomanacions ètiques aplicables. Aquest model està dirigit a qualsevol organització o entitat que desenvolupi i vulgui desplegar productes o solucions que integrin sistemes d'IA però també el poden emprar usuaris d'aquestes tecnologies, i està plantejat de forma senzilla a base de preguntes que es corresponen amb els requeriments essencials de la IA Act i les respostes possibles. Aquesta eina clarament pot ser de gran utilitat a les empreses en

²⁵ <https://www.aepd.es/sites/default/files/2019-12/ai-ethics-guidelines.pdf>

²⁶ <https://oeiac.cat/el-model/>

general, i a les pimes en particular, per tal de prendre consciència de la transcendència de la regulació de la IA a Europa a partir d'ara, i, a la vegada, ajudar a vèncer un dels reptes d'adopció més complexos.

La IA i la sostenibilitat

Una de les aplicacions de la IA és l'optimització de recursos energètics en entorns industrials i per tant, des d'aquest punt de vista la IA és una tecnologia aliada amb la sostenibilitat. Però la IA, en tant que eina digital que necessita un ús massiu de recursos computacionals, pot actuar en sentit contrari.

La petjada de carboni ocasionada pels sistemes digitals representaven, segons estimacions de 2020, un 4% de les emissions globals de gasos d'efecte hivernacle, una xifra comparable a les emissions d'altres àmbits d'activitat com el transport per carretera o l'aviació. El consum energètic atribuïble als sistemes digitals s'estima que creix a una velocitat del 6 al 9% anual i podria arribar a representar un 20% del consum global d'energia el 2030, amb una petjada ecològica (que inclou la petjada de carboni i altres factors) que suposaria un 2,7% del total global (ZULFIQAR & et al, 2023).

Sens dubte, l'ús generalitzat, massiu i creixent d'aplicacions basades en intel·ligència artificial contribueix a aquest increment de l'impacte ambiental de la digitalització, com es pot deduir si, a part de l'emissió de CO₂, s'avaluen xifres relacionades amb altres elements d'impacte ambiental com el consum energètic i l'ús d'aigua per refrigerar els grans centres de processament de dades que conformen el "núvol" global on s'esdevé una bona part de la computació d'IA. Vegem algunes xifres.

L'entrenament de grans models de llenguatge de la mida del GPT-3 (amb 175 mil milions de paràmetres) pot arribar a consumir 1300 MWh (LUCCIONI & et al, 2023), equivalent a una emissió de 502 tones de CO₂, i necessitar al voltant d'1.8 litres d'aigua de refrigeració per cada kWh (on aquest és el valor mitjà del l'eficàcia en l'ús de l'aigua), la qual cosa ens portaria, en el cas del GPT-3, a un consum de 2.340 m³ d'aigua. Si aquests valors els escalem a nivell global podem fer-nos una idea de l'elevada magnitud de l'impacte mediambiental de l'ús d'aplicacions basades en IA.

Davant d'aquesta realitat la sostenibilitat de les operacions que la IA requereix és una preocupació creixent i en conseqüència s'està desenvolupant una tasca de recerca i d'innovació per reduir aquest impacte mediambiental que va en diverses direccions i que adrecen potencials solucions en l'àmbit del software per una banda, i per l'altra en l'àmbit físic.

En les mesures al nivell del software podem destacar les següents. En primer lloc s'han de considerar una sèrie bones practiques per a l'optimització del codi per tal de fer-lo més eficient en l'ús de recursos de computació. Una altra mesura a tenir en compte és millorar l'eficiència dels models d'IA mitjançant algorismes de poda que eliminen neurones i pesos innecessaris d'una xarxa neuronal, o la destil·lació de coneixement, una tècnica que s'utilitza sobre tot en aprenentatge profund per a comprimir models, particularment xarxes neuronals profundes

massives. L'ús de models d'IA ajustats al domini o aplicació (en contraposició a models generals) solen ser més reduïts i menys costosos d'entrenar i per tant amb un menor impacte ambiental. Una altra possibilitat per guanyar eficiència en el codi és la utilització de nous paradigmes de software basats en algorismes quàntics, que poden efectuar operacions complexes i processar grans bases de dades més ràpidament que els algorismes clàssics.

En relació amb el hardware les principals actuacions encaminades a reduir l'impacte ambiental de la IA són les següents. En l'àmbit de la microelectrònica s'està treballant en nous materials semiconductors amb millors prestacions pel que fa al consum energètic i dissipació tèrmica que el silici. Si bé poden ser útils en determinades aplicacions, la seva difícil escalabilitat i elevat cost no els fa encara viables per substituir els semiconductors de silici que són la base dels dispositius actuals sobre els que opera la IA, tot i que la recerca avança i es van assolint resultats com els que s'han publicitat molt recentment pel MIT²⁷, en què presenten un disseny de transistor que permet superar les limitacions inherents dels dispositius de silici i que podria ser una tecnologia viable i reduir significativament el consum d'energia dels centres de dades, millorant les capacitats de processament per a aplicacions d'IA i aprenentatge automàtic. El disseny i implementació de noves i més eficients tecnologies de refrigeració, com per exemple la microfluídica integrada en el xip semiconductor, és una altra via a nivell de dispositiu per incrementar l'eficiència energètica i reduir la utilització d'aigua com a material de refrigeració. Respecte als grans centres de processament de dades cal cercar solucions a escala. Aquestes van des d'un major ús d'energies renovables per satisfer la demanda d'electricitat a la utilització d'aigua reciclada per a la refrigeració.

Però, pel que fa a la digitalització en general i a la sostenibilitat en particular, hi ha un element que cal prendre en consideració i que sovint passa desapercebut. És el concepte de "dades fosques" o **dark data**, referit al conjunt de dades que s'han generat en l'esfera digital que s'han deixat d'utilitzar però que resten emmagatzemades en el núvol i, per tant, continuen consumint energia i altres recursos. Dins de les dades fosques hi ha dades generades per empreses, administracions i altres organitzacions, però també el conjunt d'imatges, missatges, posts, etc. generats pels individus i que resten en l'oblit. Cal que la ciutadania, en el seu conjunt, a través de l'educació i la formació, prengui consciència d'aquest fenomen i de les seves implicacions en la sostenibilitat del planeta i per tant facin un ús adient i ètic dels canals digitals que estan al seu abast.

²⁷ <https://www.unite.ai/mit-research-team-engineers-quantum-solution-to-computings-energy-problem/>

Referències Bibliogràfiques

- ACCIÓ. (2024). *"La intel·ligència artificial a Catalunya. Informe tecnològic"*.
- DEPARTAMENT DE POLÍTIQUES DIGITALS. GENERALITAT DE CATALUNYA. (2020). *"L'estratègia de la Intel·ligència Artificial a Catalunya"*.
- GAO, Y., & et al. (2023). *"Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey"*. arXiv preprint arXiv:2312.10997.
- HAN, B., SUNSJAK, T., & MATHRANI, A. (2024). *"Automating Systematic Literature Reviews with Retrieval-Augmented Generation: A Comprehensive Overview"*. Applied Science 14(19), 9013: Special issue on Data and Text Mining: New Approaches, Achievements and Applications.
- LÓPEZ DE MÁNTARAS, R. (2023). *"100 coses que cal saber de la Intel·ligència Artificial"*. Cossetània: Barcelona.
- LUCCIONI, A., & et al. (2023). "Estimating the carbon footprint of bloom, a 176b parameter language model". *Journal of Machine Learning Research*, , 24(253), 1-15.
- MCKINSEY & COMPANY. (2024). *"The state of AI in early 2024: Gen AI adoption spikes and starts to generate value"*. quantumBlack Survey.
- MINSAIT. (2024). *"Inteligencia Artificial: redaiografia de una revolució en marcha"*. Ascendant 2024, Informe Minsait Madurez Digital.
- MOBILE WORLD CAPITAL BARCELONA. (2024). *"Digital Talent Overview 2024"*.
- SIMONS, W., TURRINI, A., & VIVIAN, L. (2024). *"Artificial Intelligence: Economic Impact, Oportunities, Challenges Implications for Policy"*. Publications Office of the European Union: Luxemburg.
- VERMA, S. (2024). *"Contextual Compression in Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey"*. arXiv preprint arXiv:2409.13385.
- ZULFIQAR, M., & et al. (2023). "Digitalized world and carbon footprints: does digitalization really matter for sustainable environment?". *Environ Sci Pollut RES* 30, 88789-88802.