

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Vidal Aznar, Berta. *Pot la IA ser sostenible? Una mirada a l'interior de la megamàquina*. Treball de Final de Grau (Universitat Autònoma de Barcelona), 2025 (Ciència, Tecnologia i Humanitats)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/318411>

under the terms of the  license.

**POT LA INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL SER SOSTENIBLE?
UNA MIRADA A L'INTERIOR DE LA MEGAMÀQUINA**

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

Berta Vidal Aznar
Tutor: Jaume Sastre Juan
Grau en Ciència, Tecnologia i Humanitats
Universitat Autònoma de Barcelona
20/06/2025

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	5
2. LA MEGAMÀQUINA.....	6
2.1. INPUTS.....	8
2.2. OUTPUTS.....	20
3. SOSTENIBILITAT	26
4. IA I SOSTENIBILITAT	30
4.1. IA PER A LA SOSTENIBILITAT	30
4.1.1. NARRATIVES SUBJACENTS A LA PERSPECTIVA.....	33
4.1.2. PROBLEMATITZANT LA IA PER A LA SOSTENIBILITAT	36
4.2. IA SOSTENIBLE	37
4.2.1. PROBLEMATITZANT LA IA SOSTENIBLE.....	42
4.3. POT LA INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL SER SOSTENIBLE?.....	43
5. CONCLUSIONS	45
6. BIBLIOGRAFIA	46
ANNEX 1.....	49
ANNEX 2.....	51
ANNEX 3.....	53

RESUM

El present estudi busca respondre la pregunta sobre si la intel·ligència artificial pot ser sostenible. Per a fer-ho, traça els impactes durant el cicle de vida d'aquesta tecnologia i analitza les interseccions que es donen entre intel·ligència artificial i sostenibilitat, que permetran dilucidar la posició que ocupa aquesta en el marc d'anàlisi sostenible. A la vegada, es recolza en un treball de camp realitzat al grup *Sustainable Artificial Intelligence* del Centre Tecnològic i de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC) que possibilita un abordatge empíric a la qüestió.

Paraules clau: intel·ligència artificial, IA, sostenibilitat, megamàquina, IA per a la sostenibilitat, IA sostenible, crisi ecosocial, habitabilitat.

RESUMEN

El presente estudio busca responder la pregunta sobre si la inteligencia artificial puede ser sostenible. Para hacerlo, traza los impactos durante el ciclo de vida de esta tecnología y analiza las intersecciones que se dan entre inteligencia artificial y sostenibilidad, que permitirán dilucidar la posición que ocupa esta en el marco de análisis sostenible. A su vez, se apoya en un trabajo de campo realizado al grupo *Sustainable Artificial Intelligence* del Centre Tecnològic i de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC) que posibilita un abordaje empírico a la cuestión.

Palabras clave: inteligencia artificial, IA, sostenibilidad, megamáquina, IA para la sostenibilidad, IA sostenible, crisis ecosocial, habitabilidad.

ABSTRACT

This study seeks to answer the question whether artificial intelligence can be sustainable. To do so, it reviews the impacts throughout the life cycle of the technology as well as analyzes the intersections between artificial intelligence and sustainability, which will help clarify its position within the framework of sustainable analysis. Additionally, it is supported by fieldwork carried out with the *Sustainable Artificial Intelligence* unit at the Centre Tecnològic i de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC), which allows an empirical approach to the matter.

Keywords: artificial intelligence, AI, sustainability, megamachine, AI for sustainability, sustainable AI, ecosocial crisis, habitability.

AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair al meu tutor la dedicació i implicació que ha esmerçat al llarg del procés de creació d'aquest projecte de recerca, oferint-me els recursos, les eines i consells imprescindibles sense els quals no hauria estat possible un treball tan enriquit. Per altra banda, volia agrair als investigadors Paolo Dini i Marco Miozzo per la seva entrega, sinceritat i interès en la meva investigació, així com per la seva disposició a l'hora de mostrar-me els seus àmbits d'estudi i les instal·lacions on ho porten a terme. També volia fer menció al CTTC i tot el personal que en forma part, ja que van ser molt amables a l'hora d'ensenyar-me la seva recerca durant la visita al centre. Finalment, voldria agrair als investigadors Manuel García Domínguez i Blanca Moret Moliner la seva generositat en oferir-me recursos que em van ajudar en la meva cerca, així com a la meva família i amistats els quals han estat recolzant-me d'inici a fi.

“Nos guste o no, estamos condenados a trabajar dentro del tren y con sus pasajeros. Fundamentalmente porque nosotros mismos somos pasajeros. [...] Cada cosa que pasa dentro del tren importa. Cada nueva pieza que se avería importa. Los pasajeros importan, su dolor importa, la desigualdad importa, la miseria importa. Y también importa, incluso más, la muerte que el tren extiende por el resto del mundo. Gaia importa”.

- Adrián Almazán
(2021, p. 147)

1. INTRODUCCIÓ

L'elaboració d'aquest projecte d'investigació neix de la preocupació davant l'increment exponencial de l'ús de la intel·ligència artificial en tots els àmbits de la vida. Aquesta tecnologia, que es presenta com a emblema de progrés, s'està convertint en un atractiu d'inversió per a governs i empreses d'arreu del món. Acompanyada d'un bagatge cultural i artístic que reforça el seu caràcter màgic i inevitable, està sent rebuda amb l'expectativa que ens conduirà cap a un futur millor. A la vegada, i impulsada principalment per les grans empreses tecnològiques sota la màscara del progrés, aquesta tecnologia s'està introduint a les nostres vides sense trobar-hi fricció ni sotmetre's a fiscalització democràtica.

Tot i que la intel·ligència artificial té la seva gènesi en la Conferència de Dartmouth College del 1956¹ i des de llavors s'hauria mantingut relegada a l'esfera experta, l'aparició de ChatGPT el novembre del 2022 va fer que el terme *intel·ligència artificial* o "AI" — Artificial Intelligence, en anglès — acabés introduint-se com un concepte més dins del vocabulari popular. Amb posterioritat al punt d'inflexió que va suposar el llançament d'aquest xatbot, la competència en la cursa per la governança de la IA no ha fet més que créixer, estenent-se a nous països més enllà dels pols principals conformats pels EUA i la Xina. Es diu, doncs, que podríem estar experimentant una nova *primavera* de la IA, sobretot pel que fa als camps de la IA generativa i els grans models lingüístics (LLM).

En el context actual de crisi ecosocial, la irrupció de la intel·ligència artificial encara suposa una qüestió de major rellevància. Els impactes d'aquesta tecnologia, que romanen desconeguts per a la majoria de la població, esquerden amb força l'habitabilitat del planeta, reduint encara més la possibilitat de reprendre un camí que no ens porti cap al col·lapse. La conscienciació dels perills que aquesta comporta, doncs, és el primer pas per a dibuixar nous horitzons que permetin un futur més desitjable.

Davant d'aquesta problemàtica, aquest treball cerca respondre la següent pregunta: Pot la intel·ligència artificial ser sostenible? Es tracta de la pregunta fonamental que vertebrà tot el projecte a partir de la dissecció dels seus components, oferint una anàlisi detallada que ens permeti aproximar-nos a una possible resposta. Amb l'objectiu d'analitzar-la des d'un punt de vista concret i situat, aquest treball inclou un treball de camp al voltant del grup *Sustainable*

¹ Per a una breu introducció a la història i els elements tècnics bàsics de la intel·ligència artificial, vegeu l'*Annex 1*.

Artificial Intelligence del Centre Tecnològic i de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC) juntament amb una entrevista realitzada a dos dels seus investigadors que es va entrellaçant al llarg dels diferents apartats i que permet una aproximació tangible a la problemàtica.

Pel que fa a l'estructura del treball, inicialment ens endinsem en l'estructura político-socio-material que sustenta a la intel·ligència artificial — a la que ens referirem com a *megamàquina* — per tenir una imatge més completa del què significa la intel·ligència artificial en el moment present. Ajudant-nos del treball de Kate Crawford (2023) i d'altres autors, recorrem el cicle de vida de la tecnologia i avaluem els seus impactes ambientals, socials i econòmics. Seguidament, i amb la intenció d'establir un marc d'anàlisi sòlid, tracem una genealogia del concepte de sostenibilitat així com de les seves principals perspectives: la *fluixa* i la *forta*. Al mateix temps, intentem desgranar la narrativa hegemònica del *desenvolupament sostenible* — fonamentada en la perspectiva fluixa — que ens permetrà concloure que aquesta està basada en uns fonaments contradictoris, adoptant la perspectiva *forta* per a la realització de l'anàlisi.

Posteriorment a la discussió dels elements constitutius de la problemàtica, ens servim del treball de camp realitzat al CTTC per abordar-ne la conjunció, la qual resulta en les propostes de la IA per a la sostenibilitat i la IA sostenible. A la vegada, aportem una anàlisi d'ambdues propostes, ajudant-nos dels marcs del *tecnodeterminisme*, la *neutralitat de la tecnologia* i del *tecnosolucionisme*. Finalment, i sota el marc de la sostenibilitat, esbossem una resposta a la pregunta inicial que ens permet situar la posició que ocupa la intel·ligència artificial en relació amb la sostenibilitat.

2. LA MEGAMÀQUINA

Tot i que una aproximació històrica i tècnica com l'esbossada a l'*Annex 1* podria deixar-nos satisfets davant la pregunta sobre què és la intel·ligència artificial, a manera d'analogia, aquesta equivaldria a dir que un iceberg és només la part que en sobresurt; la que es pot veure, i obviar la resta de massa de gel. Amb la intel·ligència artificial passa el mateix, si només tenim en compte aquests aspectes, deixem de banda la gran infraestructura político-socio-material que fa possible que les dimensions històrica i tècnica emergeixin. Lluny de la IA que flirteja amb la *singularitat*, pròpia dels somnis d'aquells més fantasiosos, és la infraestructura político-socio-material que la sustenta la que ens aproparà a una imatge més

fidel del que significa *intel·ligència artificial* en el moment present i en totes les seves dimensions.

Lewis Mumford, historiador i filòsof de la tecnologia, al llibre *El mito de la máquina* publicat originalment el 1967, introdueix el concepte de *megamàquina*, del qual es serveix per a referir-se a la complexa burocràcia organitzativa del treball pròpia del règim dèspota de l'Antic Egipte, que va permetre la construcció de les grans piràmides. De forma comparable, aquest concepte es pot extrapolar a altres moments de la història, com és el cas del desenvolupament de la bomba atòmica durant la Segona Guerra Mundial, el qual també va comportar una complexa organització a gran escala que en va permetre la construcció.

D'igual manera, el concepte de *megamàquina* encaixa amb la IA, ja que de forma semblant als casos esmentats, la intel·ligència artificial constitueix un corpus heterogeni format per components humans, tècnics, polítics, econòmics i burocràtics que conformen una organització complexa a gran escala per acabar servint als pocs que es troben a la cúspide de la piràmide, en aquest cas, els oligarques tecnològics.

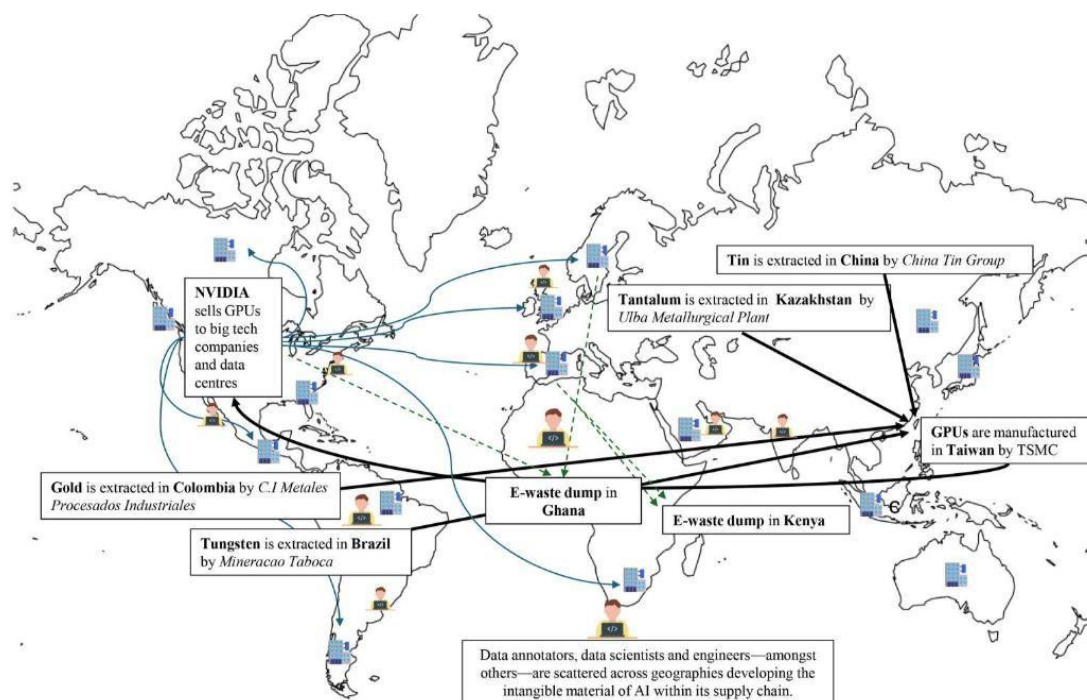


Fig. 1. Estructura político-socio-material que conforma el cicle de vida de la IA. Extret de Valdivia, A. (2024). *The supply chain capitalism of AI: A call to (re)think algorithmic harms and resistance through environmental lens.* (p. 6).

2.1. INPUTS

Perquè la *megamàquina* de la intel·ligència artificial pugui rendir i preservar el seu correcte funcionament, necessita una sèrie d'*inputs* que la sustentin; els quals en la major part dels casos queden encoberts. Tal com ha estudiat Kate Crawford a *Atlas de IA : Poder, política y costes planetarios de la inteligencia artificial* (2023), els sistemes d'intel·ligència artificial més voraçs com els xatbots o assistents intel·ligents requereixen una injecció constant de minerals, energia, aigua i dades, però, sobretot, de recursos humans, els quals intervenen en cadascun dels processos de la cadena de valor i fan possibles aquestes tecnologies a partir d'una coordinació a escala planetària. Com veurem, la IA encarna l'expropiació màxima de cossos, territoris, recursos, temps i atenció.

Minerals

Una de les primeres dimensions que cal proveir per tal que la *megamàquina* operi correctament és la material; el *hardware*. En aquest sentit, el camp de la IA requereix de minerals crítics² en grans proporcions, com ho són el liti, el cobalt o el níquel, encara que també les *terres rares*³, un conjunt de 17 elements químics que tenen propietats magnètiques i òptiques úniques, així com una excel·lent conductivitat elèctrica i gran capacitat de resistència a la calor⁴.

Tot i que aquests elements són abundants a l'escorça terrestre, requereixen un procés d'extracció molt costós i altament contaminant. Això es deu al procés de refinament al que s'han de sotmetre, donat que només una petita part del mineral extret conté l'element d'interès

² <https://www.iisd.org/system/files/2023-09/critical-minerals-primer-es.pdf>

³ Els imants de neodimi sovint s'utilitzen en els motors de les extremitats de robots i en drons, així com el lantà, que participa en la construcció de les bateries d'hidrur níquel-metall que s'encarreguen de carregar molts dispositius d'IA. El gadolini és un element fonamental pel que fa a la resistència tèrmica de les unitats de processament gràfiques (GPU), les quals aporten la capacitat computacional. L'iterbi també es presenta com un element fonamental en els semiconductors, ja que augmenta la velocitat computacional i l'eficiència, a més de la seva aplicabilitat en el refredament de centres de dades. Aquests són només alguns dels múltiples usos en els quals les *terres rares* s'apliquen en el camp de la IA, les quals cal afegir que també resulten elements fonamentals en tot el sistema de comunicació, des dels cables de fibra òptica fins a les torres de comunicació i els sistemes GPS. <https://www.metal.com/en/newscontent/103259776>

⁴ <https://www.informationweek.com/machine-learning-ai/is-ai-driving-demand-for-rare-earth-elements-and-other-materials->

i que consisteix en un procés de dissolució en grans volums d'àcid sulfúric i nítric (Crawford, 2023, p. 67). En conseqüència, tot allò descartat en aquest procés acaba com a residu en rius i muntanyes, contaminant les aigües i els terrenys i produïnt nous contaminants com l'amoni, que acaben afectant la salut humana i la biodiversitat⁵. Addicionalment a la contaminació, l'extracció d'aquests minerals sovint comporta la desforestació juntament amb l'erosió del sòl (Regilme, 2024, p. 85).

A la vegada, l'extracció de minerals no només comporta danys mediambientals, sinó que també comporta violència tant en l'àmbit local com a escala geopolítica. En aquest tipus de pràctiques, les condicions laborals acostumen a ser insegures, sense cap mena d'equipament de protecció, amb constants abusos als drets humans i, fins i tot, morts freqüents (Regilme, 2024, p. 85). Podríem pensar que es tracta, doncs, d'una forma moderna d'esclavitud, on els treballadors — sent molts d'aquests nens — reben un salari ínfim que no els permet cobrir les necessitats bàsiques. Algunes de les zones d'extracció de minerals, com és el cas de la República Democràtica del Congo, són zones de conflicte on hi ha tot un negoci al voltant de la mineria, vinculada al finançament de milícies armades de la regió (Crawford, 2023, p. 63). Es tracta d'un procés desregulat per complet que no empara cap mena de protecció laboral o ambiental.

D'aquesta manera, la IA pren la forma d'una tecnologia imperial, part d'un neocolonialisme que s'expressa a través de la mineria en regions vulnerables i marginades, de tal manera que el Nord Global pugui romandre protegit de les devastadores conseqüències que aquesta implica (Regilme, 2024, p. 76). Segons Salvador Santino F. Regilme (2024), es tractaria d'una *necroexportació*; una transferència sistemàtica de danys ambientals, explotació laboral, esgotament de recursos i, en definitiva, de mort (p. 77).

L'opacitat i complexitat de la cadena de subministrament és tan gran, però, que moltes de les grans empreses tecnològiques desconeixen d'on provenen els seus minerals i si es tracta d'una zona de conflicte. Aquesta, en paraules de Crawford (2023), tindria una composició fractal, ja que es tracta d'una estructura formada per milers de proveïdors, els quals es vinculen a la vegada amb milers de fabricants de components i aquests últims finalment amb els comerciants, que tracten amb operacions mineres tant legals com il·legals, conformant un tot complex i indesxifrabable (p. 65).

⁵ <https://anatomyof.ai/>

A escala geopolítica, la Xina subministra el 95% dels minerals de *terres rares* del món (Crawford, 2023, p. 67). El caràcter crític d'aquest tipus de minerals és tal, que conformen un escenari geopolític de tensió creixent⁶, intensificat, amb l'impuls que està rebent la inversió en IA arreu del món. Tot i això, avui dia les propietats úniques que ofereixen les *terres rares* encara no s'han pogut substituir per cap altre metall (Crawford, 2023, p. 67).

Dades

Tot i que els minerals siguin indispensables per la materialitat de la IA, la seva matèria primera són les dades. Sense aquestes, la mateixa existència de la majoria de sistemes d'IA seria impossible, ja que necessiten aquests tipus de recursos per a poder operar. Així doncs, perquè la *megamàquina* en pugui disposar, cal tota una infraestructura de comunicació que permeti enviar les dades, al mateix temps que cal una infraestructura de processament i emmagatzematge d'aquestes, la qual rep el nom de *centre de processament de dades* o *server farms* — granges de servidors —. Es tracta de la mateixa infraestructura que forma *internet* i de la que també se serveix la IA.

La xarxa de comunicació es compon principalment de cables de fibra òptica que es troben sota terra i al fons marí, encara que també de satèl·lits, antenes, commutadors i rúters (Peirano, 2019, p. 2). És a través d'aquests que les dades poden viatjar en qualsevol moment del dia, per la qual cosa es requereix un manteniment constant que pugui garantir-ne l'ús. El següent mapa permet visualitzar la distribució de tot aquest cablejat arreu del món.

⁶ L'interès recent de Donald Trump en Groenlàndia respon en bona mesura a la necessitat d'aquests recursos per a la fabricació de tecnologies. https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/por-que-trump-quiere-conseguir-a-toda-costa-control-groenlandia_24616

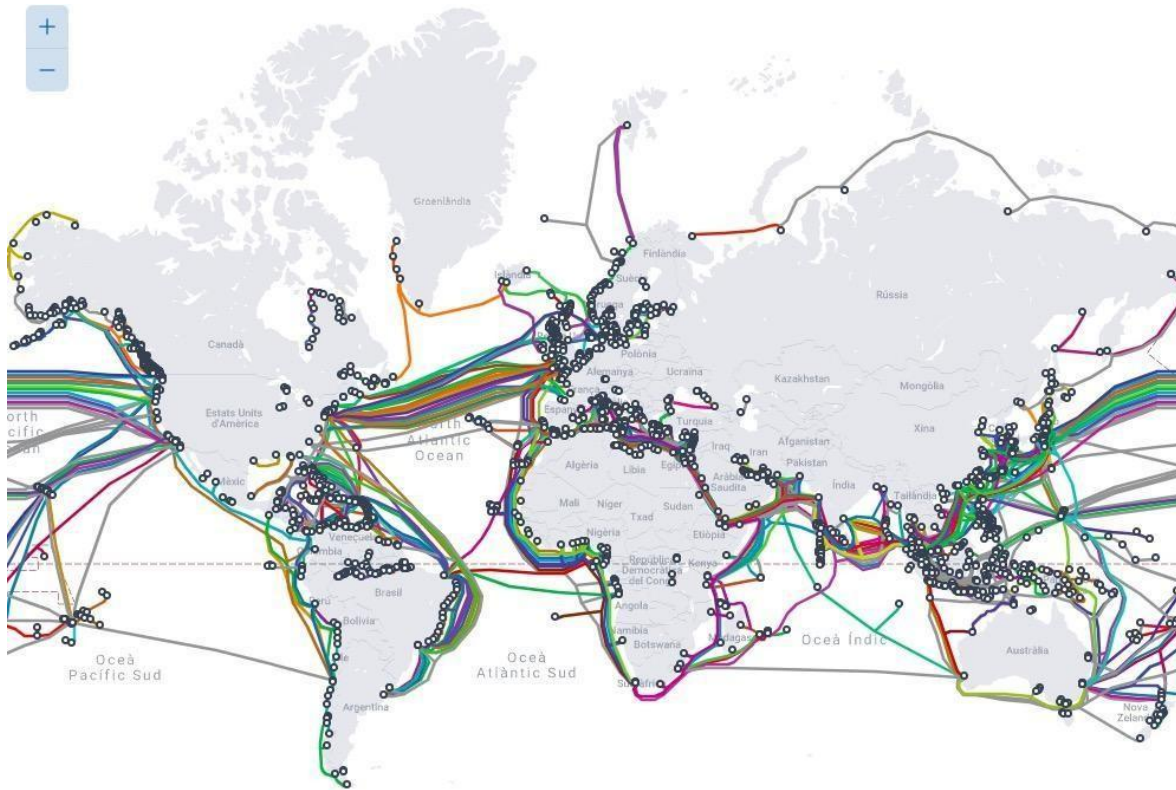
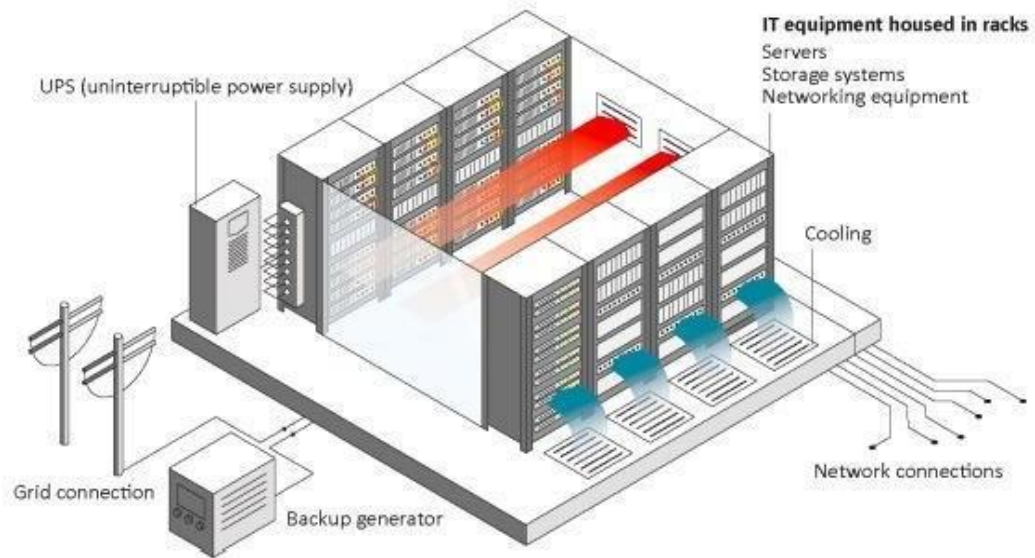


Fig. 2. Mapa global que mostra el cablejat de fibra òptica. Extret de *Submarine Cable Map*.

<https://www.submarinecablemap.com/>

Pel que fa als centres de dades, es tracta d'edificis que poden arribar a ser de grans proporcions — sovint agrupats en *clústers* —, i que contenen una immensa quantitat de servidors i altres components informàtics que es disposen de forma apilada en estructures anomenades *rack*. Aquests servidors són dispositius amb una capacitat de computació molt alta i que, per tant, poden sostenir tota mena de tasques que exigeixen una capacitat computacional d'aquest calibre com és el cas dels serveis digitals — el núvol — o els programes d'intel·ligència artificial. A la vegada, serveixen d'emmagatzematge per a dades, les quals disposen almenys d'una còpia de seguretat, augmentat d'aquesta manera el volum total.



IEA. CC BY 4.0.

Fig. 3. Representació de l'interior d'un centre de dades. Extret d'*Energy and AI*.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/dd7c2387-2f60-4b60-8c5f-6563b6aa1e4c/EnergyandAI.pdf>

El següent mapa ens permet visualitzar alguns dels centres de dades que hi ha al món, ja que molts d'ells es mantenen ocults per garantir-ne la seguretat. Gran part d'aquestes infraestructures però, i tal com indica Marta Peirano (2019), acostumen a disposar d'una seguretat elevada, amb estrictes protocols d'accés i protegits per criptografia, propietat intel·lectual, sistemes de vigilància, personal armat, i filferro espinós (p. 2). Tot i això, amb l'increment recent de les IA generatives i els models ML, el nombre de centres de dades també està en augment.

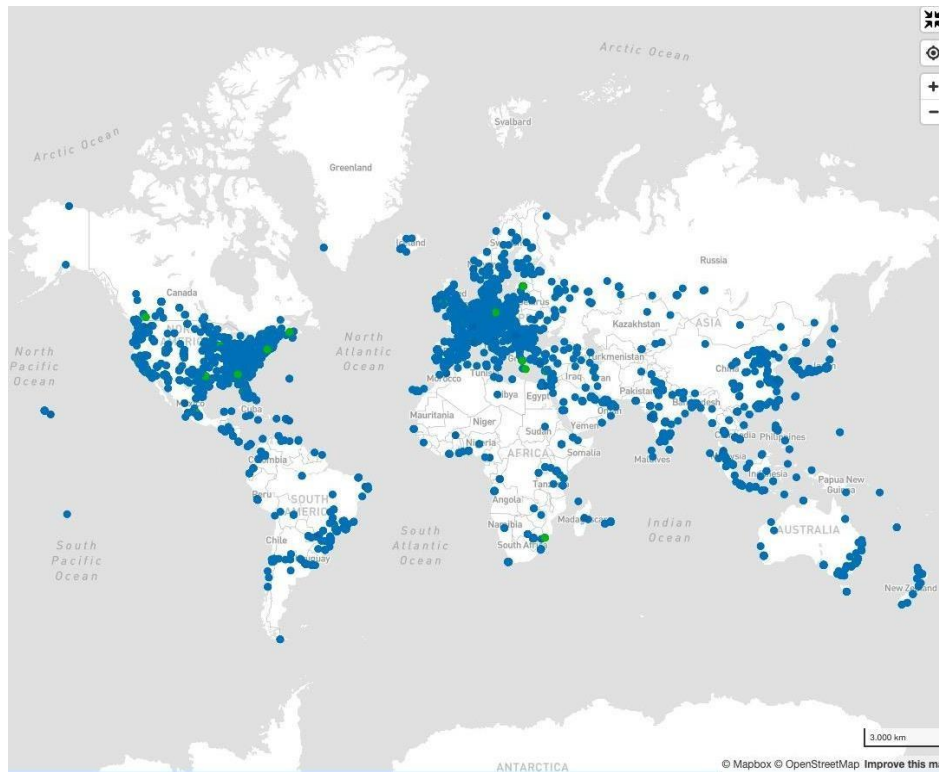


Fig. 4. Mapa que mostra alguns dels centres de dades que hi ha al món. Extret de *Data Center Map*.

<https://www.datacentermap.com/>

De la mateixa manera que l'extractivisme de minerals té lloc en regions marginals i vulnerables, lluny de les ciutats i de les companyies que en fan major ús, els centres de dades, tot i que es concentren al Nord Global, també acostumen a trobar-se en zones apartades dels nuclis urbans, sigui en deserts o en suburbis (Crawford, 2023, p. 80)⁷.

Així i tot, seria il·lusori creure que el funcionament dels sistemes d'IA depèn únicament de la computació als centres de dades. En aquest sentit, l'assistència humana també esdevé fonamental en les tasques de gestió de les dades. Aquestes, sovint les realitzen treballadors poc remunerats que ajuden a construir, mantenir i provar els sistemes (Crawford, 2023, p. 104).

Una d'aquestes feines és el *crowdsourcing* o externalització oberta de tasques, la qual consisteix a etiquetar milers de dades en el procés d'entrenament així com revisar i moderar continguts que puguin ser erronis o nocius (Crawford, 2023, p. 105). Es tracta d'una delegació de tasques repetitives que sovint comporten la visualització de continguts desagradables que

⁷ Cal mencionar, però, que hi ha altres factors que intervenen al moment de decidir on construir un centre de dades, com és el clima, els recursos o les xarxes de comunicació, entre d'altres.

impacten perjudicialment en la salut mental de qui ho veu. La majoria dels treballadors es concentren al Sud Global, en regions vulnerables amb salaris mínims i una dèbil xarxa de protecció social (Regilme, 2024, p. 76). La seva feina, però, roman invisible sota l'aparença d'automatització, la qual permet despertar en el consumidor una connotació màgica al voltant de la IA (Milani i Garcia, 2023, p. 4).

En aquest sentit, tampoc hi pot faltar la feina que fan els treballadors dels centres de dades, els quals treballen perquè aquesta infraestructura funcioni constantment. Entre algunes de les tasques que fan hi ha la prevenció d'incendis a causa de la calor produïda per l'alta demanda de computació dels servidors, així com la regulació de l'aire per tal de refredar-los. Es tracta d'una labor que comporta molt d'estrès i responsabilitat per qui la fa, ja que en cas d'interrupció dels servidors, l'empresa podria perdre quantitats considerables de diners en qüestió de pocs minuts. És un sector laboral força desregulat, de la mateixa manera està la mineria o les microtasques delegades a persones del Sud Global⁸.

Finalment, cal incloure uns últims treballadors que s'encarreguen de la mateixa producció de les dades: els usuaris. Nosaltres som els treballadors més imprescindibles en tota aquesta cadena, ja que som els que generem les dades; el combustible que permet moure la gran maquinària de la IA. Per a incentivar aquesta producció, les grans tecnològiques s'han centrat en el disseny d'interfícies que s'aprofiten de les vulnerabilitats psicològiques de l'ésser humà amb tal de fer que l'usuari dediqui el major temps possible a les seves plataformes. És a partir del temps que hi dediquem — l'atenció que els hi donem —, que es poden generar més i més dades que posteriorment es vendrà a tercers, ja sigui amb fins publicitaris o polítics, i que poden ser usades també en l'entrenament de sistemes d'intel·ligència artificial.

Així doncs, la IA promou la cultura neoliberal de la dataficació — analogia del concepte *commodification* en anglès, equivalent a mercantilització —, que converteix en dades aspectes que mai havien estat quantificats, posant per davant els interessos dels accionistes i les institucions financeres, i que ve donada pel sistema socioeconòmic en la que està inscrita, el qual ha rebut diversitat de noms com *capitalisme de dades*, *capitalisme algorítmic* o *capitalisme de vigilància*, entre d'altres (Khalifa, 2025).

⁸ <https://aeon.co/essays/downtime-is-not-an-option-meet-the-stewards-of-the-cloud>

Energia

Amb la condició que els centres de dades es mantinguin sota l'imperatiu de la connectivitat constant pròpia del món digital del present, d'igual manera es requereix un subministrament d'energia sostingut en el temps. En el cas de la IA, aquest consum d'energia cal analitzar-lo en tot el seu cicle de vida: tant en la manufactura del *hardware* com en els processos computacionals i el manteniment dels centres de dades — refrigeració, emmagatzematge, etc.

Pel que fa a la manufactura del *hardware*, la part més voraç energèticament és la fabricació dels xips que s'utilitzen tant en les GPU com en l'emmagatzematge dels servidors. Globalment, la indústria dels semiconductors — la qual inclou la producció de xips — consumeix més de 100 TWh d'electricitat a l'any, el que equivaldria a un 1% de la demanda d'electricitat industrial global⁹.

Respecte als processos operatius, els models d'IA requereixen un gran consum energètic, ja sigui en el procés de desenvolupament com en l'ús que en faci l'usuari un cop el model hagi sortit al mercat. En referència als models ML, que predominen actualment, el procés de desenvolupament implica diferents fases que comprenen: l'experimentació amb el model, l'entrenament, l'optimització i finalment la inferència. Cadascuna d'elles representant processos molt costosos energèticament (Wu et al., 2022).

La fase d'entrenament dels sistemes d'IA acostuma a considerar-se la més exigent energèticament, ja que comporta la injecció massiva de dades al model per tal que en pugui extreure patrons i establir paràmetres. L'energia consumida durant aquesta fase dependrà de la mida del model i de la seva complexitat així com de la configuració del *hardware* i *software*. Posteriorment, aquests paràmetres s'ajusten de manera que s'alineïn amb el resultat esperat (De Vries, 2023, p. 2191). Tot i que la literatura existent respecte al consum energètic en les diverses fases del desenvolupament de la IA és mínima, un estudi del 2023 d'Alex de Vries¹⁰ va determinar que l'energia requerida per entrenar el xatbot GPT-4 hauria equivalgut a l'energia diària consumida per 28.500 cases en països enriquits.

⁹ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dd7c2387-2f60-4b60-8c5f-6563b6aa1e4c/EnergyandAI.pdf>

¹⁰ De Vries és el fundador de *Digiconomist*, una plataforma que pretèn calcular i mostrar els impactes del món digital. <https://digiconomist.net/>

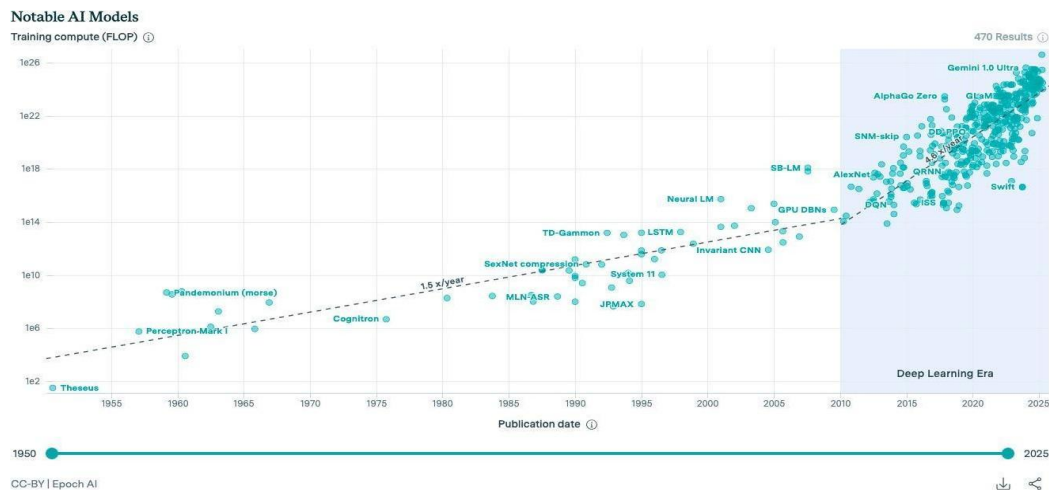


Fig. 5. Gràfic de models d'IA notables segons la seva demanda computacional al llarg dels anys.

Extret d'*Epoch AI*. <https://epoch.ai/data/notable-ai-models>

Un cop superada la fase de desenvolupament, el model pot implementar-se i llançar-se al mercat. En aquest cas, s'haurà de tenir en compte l'ús que els usuaris facin del sistema, ja que aquest també comporta una alta computació en els servidors que es troben als centres de dades. L'energia consumida dependrà de diversos factors, com la mida del model, la forma dels *inputs* i *outputs* — aquells models que treballen amb imatges o vídeos acostumen a ser més exigents computacionalment —, la forma en la qual estigui codificat l'algoritme, la incorporació d'escalabilitat en temps d'inferència — consisteix en el fet que el model “pensi” més la resposta abans de contestar —, el tipus de hardware o la mida de les preguntes i respostes en el cas dels xatbots¹¹.

Globalment, la demanda energètica dels centres de dades i de les xarxes de comunicació és de l'1-1,5%¹². El 2030 la IA podria representar el 20% de la demanda energètica dels centres de dades¹³. Per a fer-nos una idea del consum energètic, el 2024 els centres de dades consumien un 2-3% del total d'electricitat utilitzada als EUA¹⁴ i fer una pregunta a ChatGPT fa servir entre 6 i 10 vegades més electricitat que fer-la a altres servidors de cerca convencionals (Luccioni et al., 2024, p. 3). Per altra banda, la freqüent disposició que els centres de dades adopten en forma de clústers també suposa un repte cada cop major davant dels sistemes d'electricitat locals, perquè és una demanda d'energia més concentrada¹⁵.

¹¹ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dd7c2387-2f60-4b60-8c5f-6563b6aa1e4c/EnergyandAI.pdf>

¹² [Data centres & networks - IEA](#)

¹³ [Generational Growth AI, data centers and the coming US power demand surge](#)

¹⁴ [Tech firms look for a miracle solution as AI exhausts the power grid - The Washington Post](#)

¹⁵ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dd7c2387-2f60-4b60-8c5f-6563b6aa1e4c/EnergyandAI.pdf>

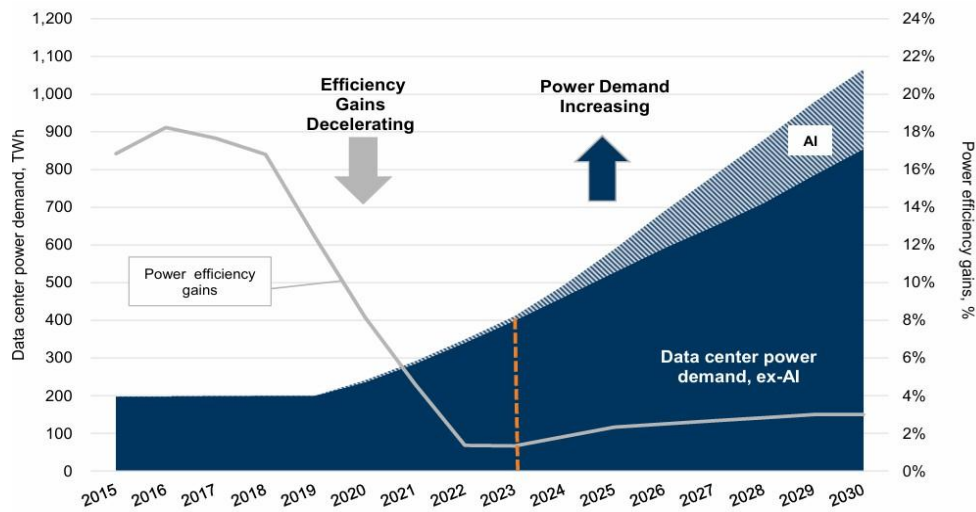


Fig. 6. Gràfic d'àrees que representa l'augment de demanda energètica dels centres de dades i la corresponent a la IA al llarg del temps als EUA. Extret de l'informe de Goldman Sachs *Generational Growth*. <https://www.goldmansachs.com/pdfs/insights/pages/generational-growth-ai-data-centers-and-the-coming-us-power-surge/report.pdf>

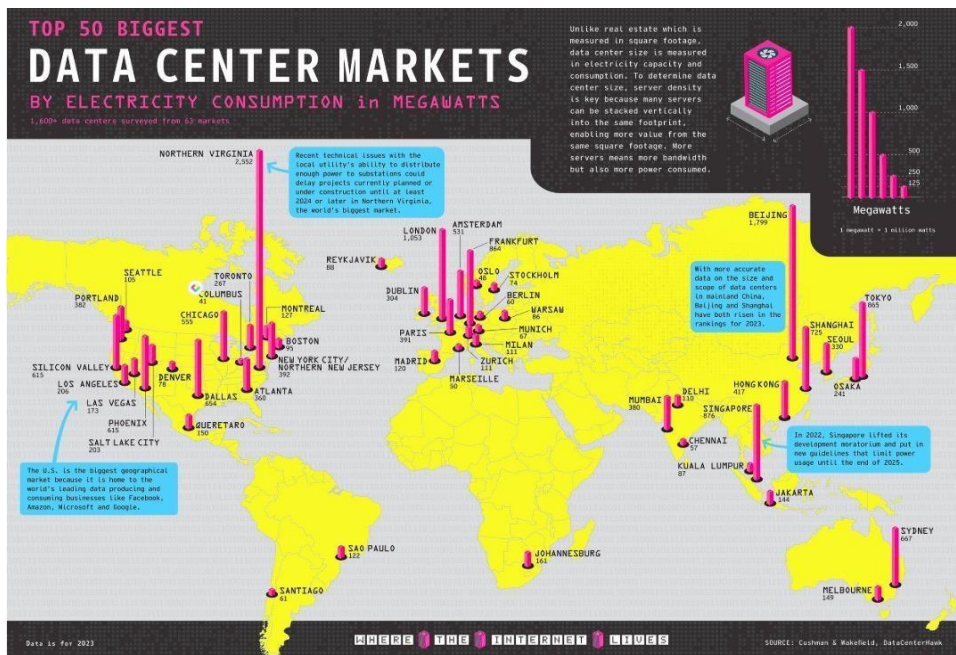


Fig. 7. Mapa global d'alguns centres de dades i els seus consums energètics. Extret de *Visual Capitalist*. <https://www.visualcapitalist.com/wp-content/uploads/2024/01/top-50-data-center-markets-by-power-consumption-large.html>

Aigua

En el manteniment continu dels centres de dades també hi participa un altre recurs que passa més desapercebut respecte a l'energètic; aquest és el consum hídric. Es tracta d'un aspecte sobre el qual no hi ha gaire literatura acadèmica¹⁶, sent Shaolei Ren et al. (2025) l'estudi més complet avui dia. La intel·ligència artificial utilitza aigua en el refredament dels centres de dades¹⁷, en la generació d'electricitat i en la cadena de subministrament per a la manufactura del *hardware*.

Pel que fa al refredament dels centres, es tracta d'un procés que es divideix en un primer refredament dels servidors, seguit d'un refredament de les instal·lacions. En el refredament dels servidors, la calor es transfereix d'aquests a un intercanviador de calor o a la instal·lació en general a partir de mètodes de refredament amb aire o aigua que no consumeixen aigua. En el refredament de les instal·lacions, la calor és enviada a l'exterior del centre de dades, majoritàriament a partir de mètodes intensius en aigua a través de les torres de refrigeració o la refrigeració per aire amb assistència d'evaporació d'aigua¹⁸, els quals sí que comporten consum d'aigua. En el cas de l'aigua no evaporada, pot ser reciclada un número limitat de vegades — entre 3 i 10 cicles aproximadament —. Pel que fa a les torres de refrigeració, es consumeix aproximadament un 80% de l'aigua subministrada.

¹⁶ A nivell local, destaca el col·lectiu *Tu nube seca mi río* que sí que ha treballat més aquestes problemàtiques. <https://tunubesecamirio.com/>

¹⁷ Tot i que per al refredament també s'usen altres mètodes com l'aire condicionat, els centres de dades dedicats a la IA acostumen a fer servir refredament a partir d'aigua a causa de l'alta demanda de computació que requereixen.

¹⁸ En referència al refredament per aire amb assistència d'evaporació d'aigua, quan el clima és adequat, els centres poden aprofitar l'aire de l'exterior com a forma de refrigeració. En cas contrari, ja sigui perquè l'entorn és massa càlid - a prop dels 30 °C - o perquè és massa sec i requereix humitat, es procedeix a utilitzar aigua i, per tant, se'n produeix consum degut a l'evaporació. En aquestes circumstàncies, el consum es pot aproximar al 70% de l'aigua subministrada, segons un informe de Meta. Davant aquesta problemàtica, s'han presentat alternatives com la del Projecte Natick de Microsoft, que, tot i que es va descartar com a possibilitat, proposava col·locar els centres de dades al fons marí. a) <https://sustainability.atmeta.com/2024-sustainability-report/> b) <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/microsoft-confirms-project-natick-underwater-data-center-is-no-more/>

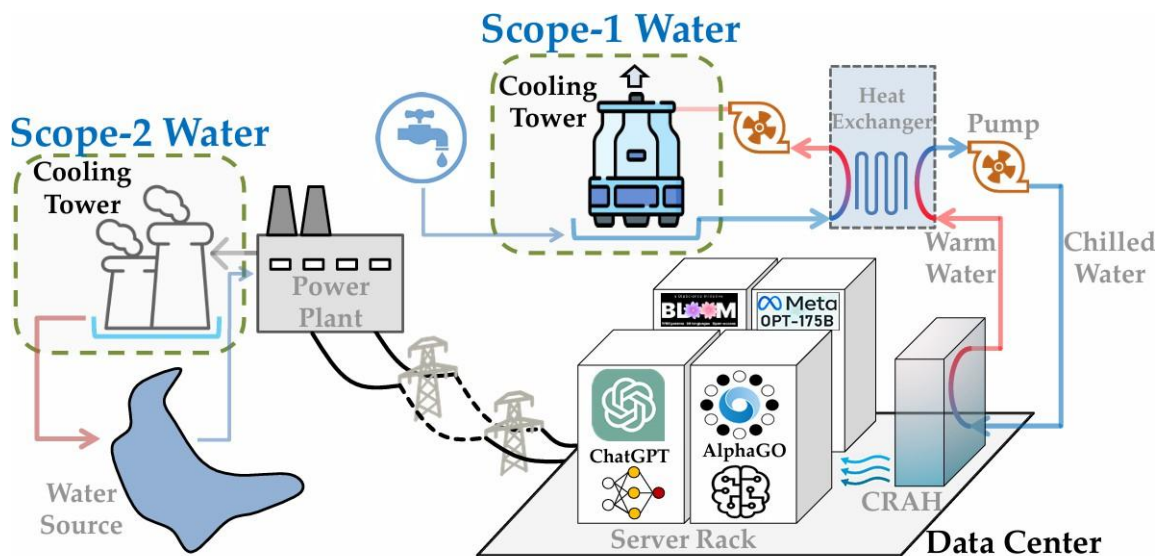


Fig. 8. Representació dels usos d'aigua implicats en un centre de dades. Extret de Ren, S. et al. (2025). *Making AI less "thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models*.(p. 3).

Cal mencionar que l'aigua utilitzada acostuma a ser dolça i potable per evitar obstruccions a les canonades — a partir de l'acumulació de minerals i sal — i el creixement bacterià, i per això és freqüent que s'originin conflictes amb les poblacions locals degut a que es tracta d'un recurs limitat que no està distribuït de forma equitativa.

Al consum d'aigua se li ha d'afegir el consum produït a partir de la generació d'electricitat així com en la manufactura del *hardware*. En molts països, es recorre a l'ús de centrals termoelèctriques per al subministrament d'energia, de tal manera que es consumeix molta aigua. Per altra banda, la producció de xips i servidors comporta un gran consum hídic en tota la cadena de subministrament, des de l'extracció dels minerals i el transport com en l'electricitat usada en les plantes de producció de semiconductors — en el procés de producció gran part d'aquesta aigua també acaba contaminada — (Frost i Hua, 2019).

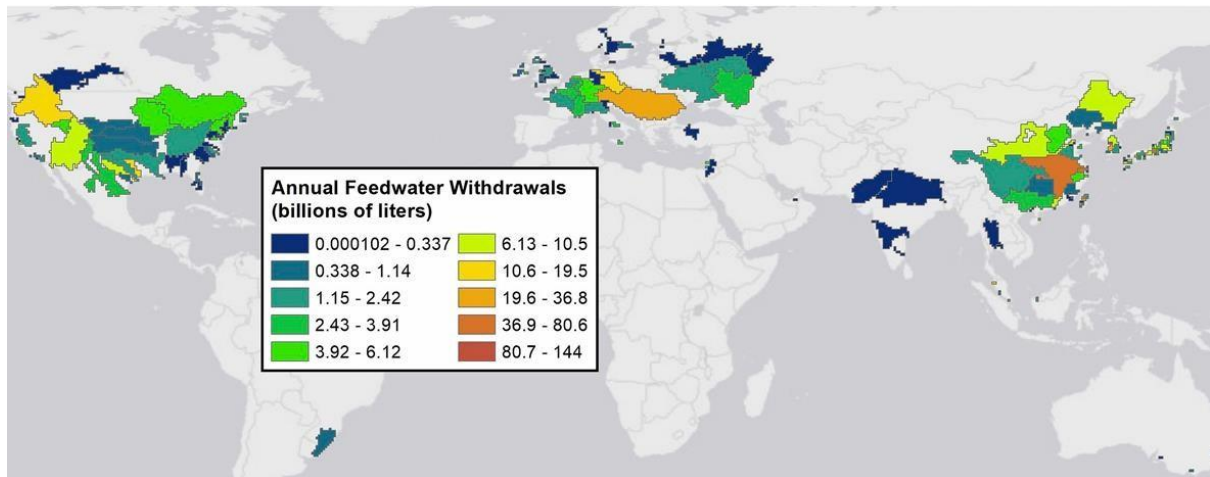


Fig. 9. Mapa global que representa l'extracció d'aigua per la manufactura de semiconductors. Extret de Frost, K. i Hua, I. (2019). *Quantifying spatiotemporal impacts of the interaction of water scarcity and water use by the global semiconductor manufacturing industry*. (p. 11).

De nou, prenent a ChatGPT — el model GPT-3 — com a exemple, aquest hauria tingut un consum hídric de 5,4 milions de litres d'aigua, incloent-hi entre aquests uns 700.000 litres en refredament del centre de dades durant les fases de desenvolupament. Pel que fa al cost hídric durant l'ús, i tenint en compte que depèn de les variables d'on i quan s'utilitza, tindria un consum aproximat d'una ampolla de 500 ml per 10-50 respostes de longitud mitjana i llarga.

2.2. OUTPUTS

Acabem de veure com la *megamàquina* de la IA necessita tota una sèrie d'*inputs* per a funcionar. A continuació, veurem com aquests *inputs* no resulten innocus, sinó que també hi ha tot un conjunt d'*outputs* que se'n deriven amb forts impactes ambientals i, sobretot, socials, que de nou romanen encoberts.

Gasos amb efecte hivernacle

Un dels *outputs* més alarmants als quals contribueix la IA són els gasos d'efecte hivernacle. La seva petjada de carboni es divideix principalment entre les emissions “encarnades”, aquelles que es deriven de processos de fabricació que van des de la manufactura del *hardware* fins a la construcció dels centres de dades: les emissions “dinàmiques”, les quals

es vinculen amb l'electricitat consumida durant la computació i, per últim, les emissions de manteniment dels centres de dades, ja sigui per la refrigeració o emmagatzematge, entre d'altres (Luccioni et al., 2024).

Pel que fa a les emissions “encarnades”, cal comptabilitzar les emissions del sector de la mineria, refinament i producció de *hardware*, els quals són molt exigents energèticament i que a la vegada generen grans quantitats d'emissions d'efecte hivernacle. El transport també resulta intensiu en emissions, generant un 3,1% d'emissions de CO₂ globals cada any. Per últim, l'ús de formigó i acer en la construcció representa el 8% de les emissions globals de CO₂, ambdós usats en la construcció dels centres dades i que, per tant, són emissions que també s'han de tenir en compte.

Per a abastir d'energia les grans instal·lacions que conformen els centres de dades, es requereix una xarxa d'energia, ja sigui en forma de carbó, de gas, de fonts nuclears o de fonts renovables. Si bé algunes companyies estan apostant per energies renovables com la solar o la eòlica, gran part de la demanda encara se sustenta a partir de fonts no renovables com el carbó o el gas natural, ja que molts centres de dades es troben en zones força dependents dels combustibles fòssils (Brevini, 2021, p. 72). Pel que fa als generadors, els quals garanteixen el subministrament d'energia en cas d'interrupció de la xarxa, una gran majoria funcionen a partir de dièsel, pel que se segueix contribuint significativament als gasos d'efecte hivernacle (Luccioni et al., 2024). Avui dia, els centres de dades emeten de forma indirecta uns 180 milions de tones de CO₂ només del consum energètic¹⁹ i són responsables d'un 1% de les emissions d'efecte hivernacle²⁰.

Algunes de les grans tecnològiques, estan responant a la creixent alarma al voltant de l'abastiment d'energia reclamant la seva posició com a neutres en carboni o fins i tot, prometent ser negatives en carboni, com en el cas de Microsoft. Això, però, es deu principalment a la compra de crèdits de compensació de carboni o certificats d'energia renovable (Crawford, 2023, p. 77). A més, Microsoft, Google i Amazon concedeixen les llicències de les seves plataformes d'IA a empreses de combustibles fòssils per ajudar-les a localitzar i extreure combustible del sòl (Crawford, 2023, p. 77-78).

¹⁹ [Energy and AI](#)

²⁰ [Data centres & networks - IEA](#)

Cal mencionar però, que no hi ha un estàndard per a la mesura de la petjada de carboni i les eines de càlcul són múltiples derivant en resultats molt diversos. Les discrepàncies també sorgeixen al voltant de quines etapes mesurar en tot el cicle de vida de la tecnologia així com la problemàtica de quantificar la petjada en casos on la IA només és una part d'un sistema. Tot i això, un estudi de 2023 va concloure que si contemplem les emissions “dinàmiques” d'un model LLM de 176 paràmetres s'alliberarien unes 24,7 tones d'equivalent de CO₂ mentre que si contemplem també les emissions “encarnades”, la quantitat augmentaria a 50,5 tones (Luccioni et al., 2023, p. 5)²¹.

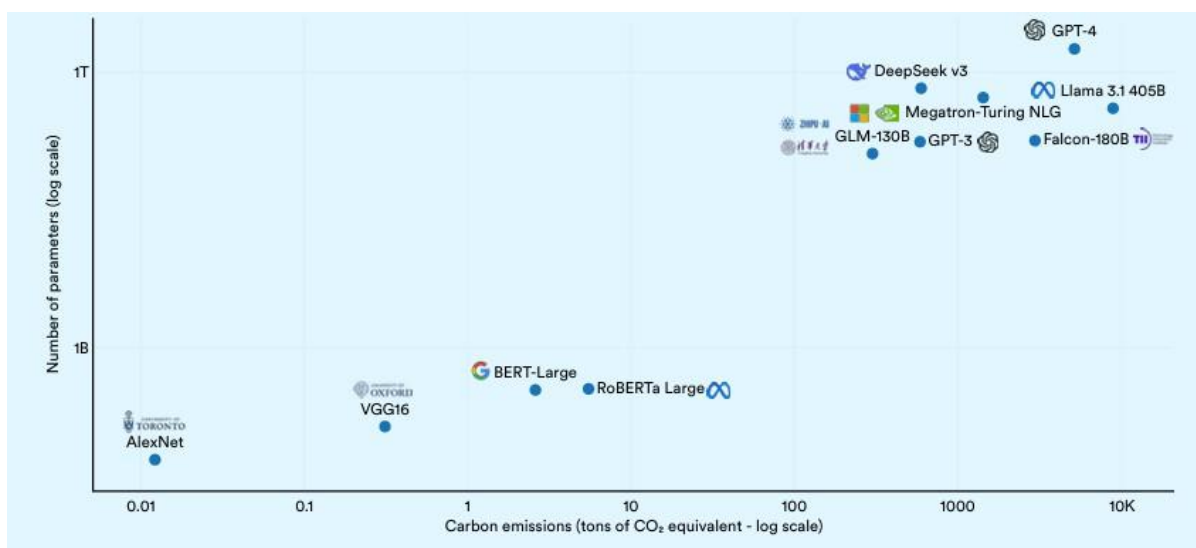


Fig. 10. Gràfic de dispersió que mostra les emissions de carboni equivalents segons el nombre de paràmetres dels models. Extret d'*Artificial Intelligence Index Report 2025*. <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report>

Davant l'increment actual de la demanda dels sistemes d'IA, l'augment d'emissions també ha anat de bracet. Això és el que li ha succeït a la companyia *Google*, la qual, en els últims cinc anys, ha incrementat un 48% les emissions de gasos d'efecte hivernacle²². Així doncs, davant la problemàtica que suposa aquest augment de demanda, la tendència actual entre algunes de les grans tecnològiques americanes com Google o Microsoft sembla començar a encarar-se cap a un ús de l'energia nuclear, ja que se la considera una de les fonts més “netes” pel que fa a les emissions de gasos d'efecte hivernacle (Luccioni et al., 2024)²³.

²¹ Aquest estudi pertany al col·lectiu *Hugging Face*, un dels grups més destacats en quant a la sostenibilitat de la IA.

²² [Google's emissions climb nearly 50% in five years due to AI energy demand | Google | The Guardian](#)

²³ [Google Turns to Nuclear to Power Energy-Hungry Data Centers](#)

E-Waste

Amb l'augment de dispositius electrònics i les aplicacions d'intel·ligència artificial, juntament amb l'obsolescència programada, s'estan generant greus problemes de reciclatge i eliminació de residus electrònics. Sota l'imperatiu d'acumular cada vegada més dades, les grans empreses tecnològiques estan fomentant un hiperconsumisme forçat²⁴ a partir de multitud de dispositius i serveis que els garanteixen l'extracció d'aquestes. Així doncs, aquesta multitud de dispositius garanteix major quantitat de dades, però també major quantitat de residus, els quals es deuen principalment al fet que molta de la deixalla electrònica no és biodegradable i gran part n'és tòxica (Brevini, 2021, p. 80).

La deixalla electrònica o *e-waste*, conté elements tòxics com el mercuri o els retardants de flama que acaben desprenent-se a l'atmosfera i perjudicant tant la vida humana, comportant mortalitat, infertilitat o problemes relacionats amb funcions cognitives, com la no humana. Com bé mostren el gràfic i el mapa següents, la distribució de *e-waste* és desigual i mostra una clara asimetria entre el Sud i el Nord Global, sent el Nord el que principalment genera i el Sud el que fonamentalment rep, fet que sovint es denomina *racisme ambiental*. Segons l'informe *The Global E-waste Monitor 2024*, el 2022 es van generar un total de 62 bilions de kg de deixalla electrònica en tot el món amb Europa i Oceania com a majors contribuïdors per càpita.

²⁴ Un cas paradigmàtic del consumisme forçat és la recent introducció del xatbot de Meta a l'aplicació de *whatsapp*, la qual ha sigut sobtada i sense deixar opció per eliminar-la. <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20250325/como-funciona-circulo-azul-meta-ai-whatsapp-dv-118178787>

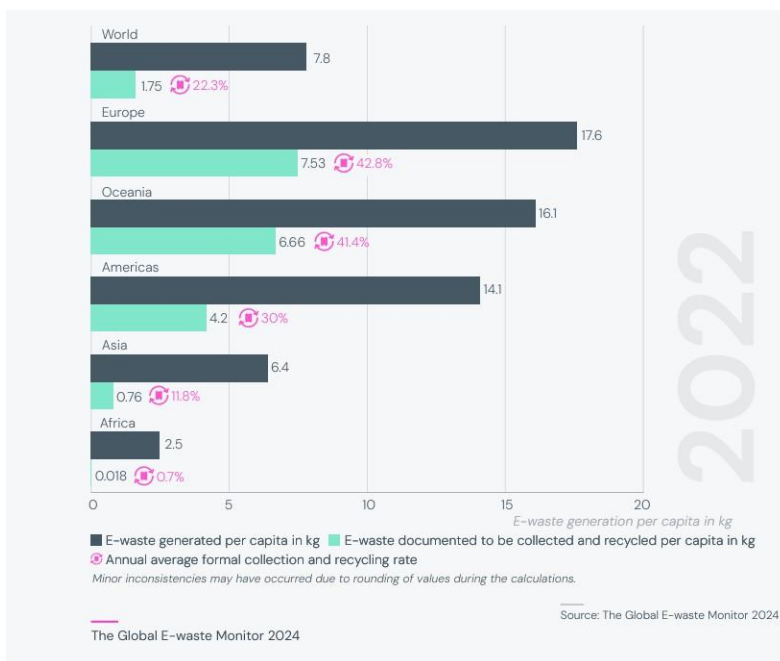


Fig. 11. Gràfic de barres agrupades on es mostra els kg per càpita de deixalla electrònica i aquells que se n'ha documentat un reciclatge. Extret de *The Global E-waste Monitor 2024*.

https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf

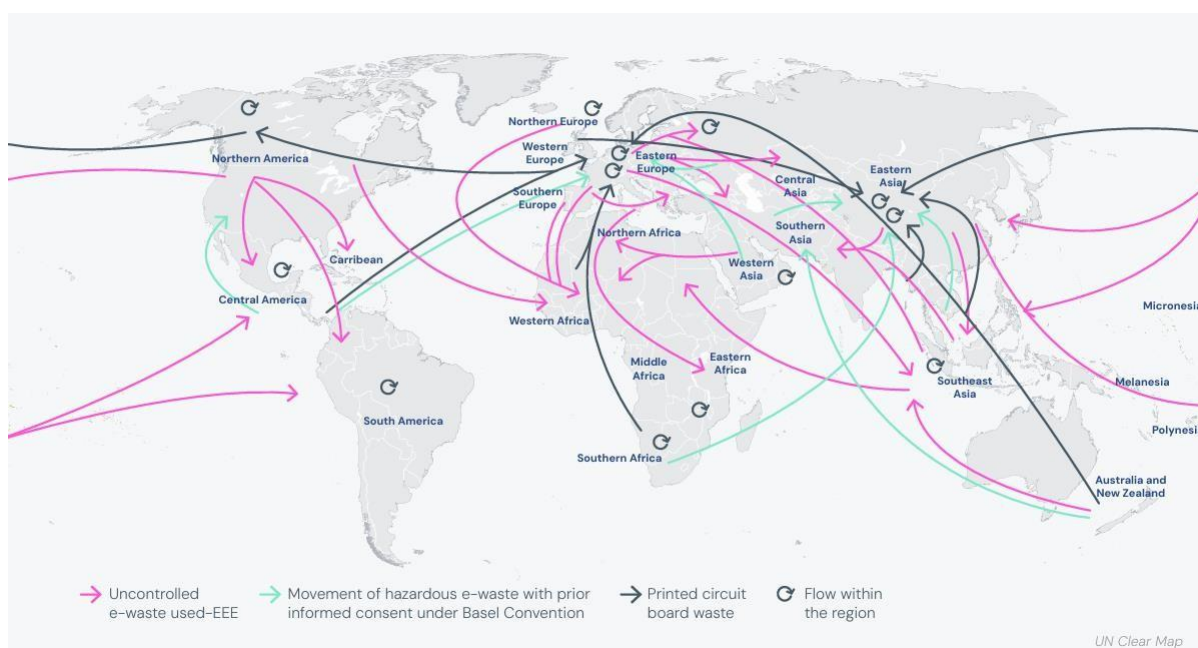


Fig. 12. Mapa global dels circuits transnacionals de la e-waste. Extret de *The Global E-waste Monitor 2024*. https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf

Tal i com s'observa, la majoria d'exportacions es fan desde països del Nord Global i de forma no controlada, acabant en països amb menys recursos. En canvi, aquelles exportacions que

estan regulades acostumen a ser des del Sud Global cap a països del Nord Global amb major capacitat econòmica. Altra vegada, es tracta d'una *necroexportació* que pateixen les comunitats més vulnerables i marginades amb poca capacitat de reciclatge pel que fa a aquest tipus de deixalla i que més n'acaben patint els efectes nocius (Regilme, 2024).

En un context de creixent inversió en models d'IA generativa i Machine Learning i, per tant, d'augment en la capacitat computacional, l'increment de deixalla elèctrica només en aquest camp podria créixer entre uns 1.2 i 5 milions de tones el 2030 (Wang et al., 2024, p. 1).

Ampliació de les desigualtats

La IA no només es fonamenta i s'aprofita de les desigualtats estructurals existents, sinó que les exacerba. Com ja hem constatat, els principals desenvolupaments que s'estan duent a terme en el camp de la IA els estan liderant països principalment del Nord Global. Si ens atenim al *Government AI Readiness Index (2024)*²⁵ les regions que encapçalen el rànquing són Amèrica del Nord, l'Europa occidental i l'Àsia Oriental. Tot i això, aquesta bretxa tecnològica ve fonamentada per l'expropiació de recursos i l'explotació laboral dels països més vulnerables, fet que a la vegada genera una bretxa tant d'oportunitats com d'equitat socioeconòmica.

Per altra banda, les dades recopilades sovint infrarepresenten grups vulnerables o minories, a la vegada que presenten biaixos de gènere, de raça o de classe, entre d'altres. Així doncs, a l'hora d'entrenar els models d'IA aquests biaixos es transfereixen, desembocant en respostes esbiaixades que reforcen estigmes, prejudicis i injustícies estructurals (Noble, 2018; Benjamin, 2019; Eubanks, 2021). Junt amb aquesta problemàtica, s'hi suma l'opacitat característica del funcionament dels algoritmes, el qual suposa una complexitat afegida a l'hora d'intentar eliminar els biaixos esmentats.

Les desigualtats sistèmiques, però, no només s'estenen en l'espai, sinó també en el temps. Les disparitats estructurals no només afecten les persones presents, sinó que les generacions futures també s'hi veuen implicades. L'elevat preu de les transformacions ecològiques junt amb les desigualtats sistèmiques cada vegada més eixamplades apliquen un descompte

²⁵ [Government AI Readiness Index - Oxford Insights](#)

moral a les generacions que han de venir, resultant en una injustícia intergeneracional que les obvia com agents a tenir en compte (Krznaric, 2022).

3. SOSTENIBILITAT

L'anàlisi detallada que hem realitzat fins ara, ens ha permès fer-nos una imatge més completa i materialitzada del que significa *intel·ligència artificial* en el moment present. Si volem respondre la qüestió de si la intel·ligència artificial pot ser sostenible, però, encara falta discutir què entenem per *sostenibilitat*.

El paradigma actual al voltant de la *sostenibilitat* respon a l'informe que va fer la Comissió Brundtland a les Nacions Unides el 1987 (Portney, 2015, p. 10). Aquesta buscava oferir una resposta a com es pot conciliar l'aspiració d'una millor vida amb la limitació que suposen els recursos naturals i els perills de la degradació del medi ambient. Gràcies a l'informe, la paraula *sostenibilitat* es va consolidar en l'esfera política i a una escala més global, tot i que no ho va fer per si mateixa, sinó que va ser a partir de la introducció d'un nou concepte: el de *desenvolupament sostenible*. Aquest es va definir de la següent manera:

desenvolupament que satisfà les necessitats del present sense comprometre les necessitats de les futures generacions [traducció pròpia] (Informe Brundtland, 1987).

Així doncs, en el marc de l'informe el paradigma de la *sostenibilitat* va adquirir una aproximació sistemàtica, on la preservació del medi ambient era important, però no pel seu valor intrínsec, sinó amb la intenció que les futures generacions també disposessin de recursos naturals, donant d'aquesta manera una major prevalença al desenvolupament humà davant de qualsevol altre (Kuhlman i Farrington, 2010, p. 3438).

A la comprensió actual de la noció de *sostenibilitat*, també hi hem d'incloure la idea de les tres dimensions que la conformen: la sostenibilitat ecològica, la social i l'econòmica. Tot i això, aquesta manera d'entendre-la no mostra una gènesi definida. Segons Purvis et al. (2018), la idea dels tres dimensions no tindria un origen clar, sinó més aviat s'hauria adoptat gradualment des de la literatura acadèmica crítica amb l'*statu quo* econòmic i posant de rellevància les perspectives socials i ecològiques, així com també per part de les Nacions Unides amb una aproximació diferent buscant conciliar el creixement econòmic i els problemes socials i ecològics (p. 681). En aquest sentit, hi ha hagut molt de debat quant a

quines i quantes dimensions contemplar al parlar de sostenibilitat (Kuhlman i Farrington, 2010).

D'ençà que el concepte de *sostenibilitat* va guanyar rellevància en l'esfera política, el debat al voltant de com dur-la a la pràctica així com la manera d'ordenar les diferents dimensions ha sigut i segueix sent una qüestió molt discutida, convertint-se en un obstacle davant de la urgència de la crisi ecosocial. En aquest punt, cal destacar les principals propostes, que es divideixen, per una banda, en la perspectiva *forta de la sostenibilitat* i per l'altra en la perspectiva *fluixa de la sostenibilitat*.

La perspectiva *forta de la sostenibilitat* proposa una disposició de les dimensions de forma jeràrquica i concèntrica, on cadascun dels límits s'han de respectar per tal de continuar amb la viabilitat del conjunt en total. En ordre de prevalença, situa la dimensió mediambiental seguida de la social i l'econòmica i, per tant, entén els recursos naturals com quelcom no substituïble (Becker, 2023).

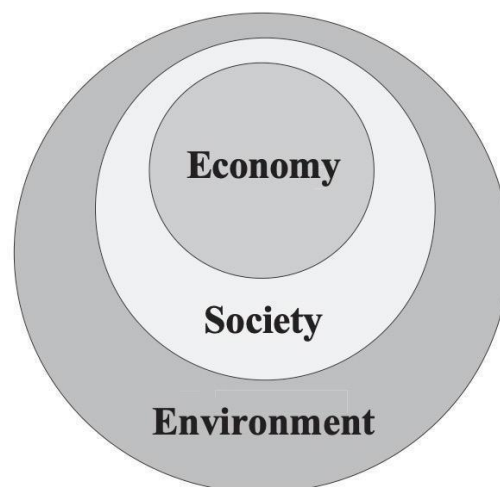


Fig. 13. Perspectiva forta de la sostenibilitat. Extret de Becker, C. (2023). *Insolvent*. (p. 32)

Per altra banda, la perspectiva fluixa, també coneguda com a sostenibilitat Solow-Hartwick, proposa una disposició interactiva entre les dimensions on es permet l'intercanvi de recursos entre aquests. Segons aquesta, el capital natural podria disminuir sempre que hi hagués prou capital creat per l'humà — man-made capital — a canvi (Becker, 2023).

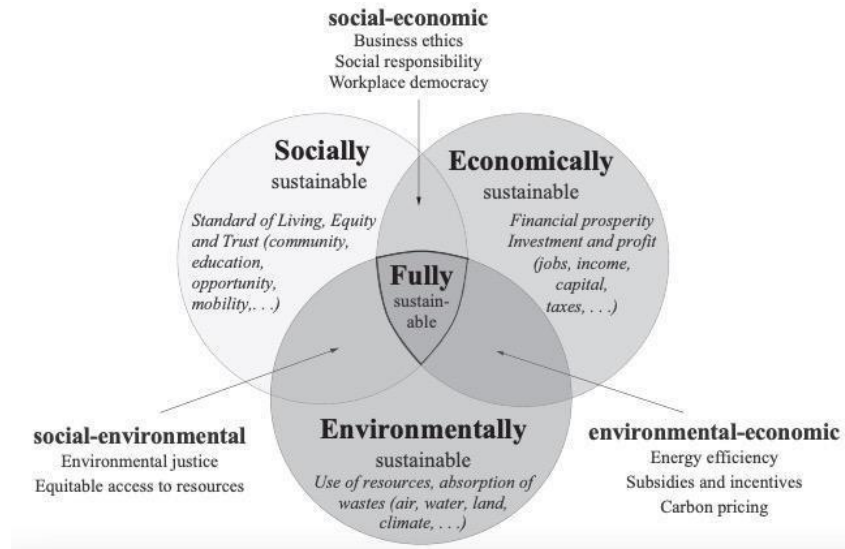


Fig. 14. Perspectiva fluixa de la sostenibilitat. Extret de Becker, C. (2023). *Insolvent*. (p. 32)

Des de la proposta de la comissió Brundtland, la idea de *desenvolupament sostenible* és la que ha liderat l'agenda política global pel que fa a les polítiques de sostenibilitat. Per a dur-ho a terme, el paradigma hegemònic consisteix en la consecució d'uns objectius marcats, com és el cas dels *Objectius de Desenvolupament Sostenible* de les Nacions Unides, un conjunt de disset objectius plantejats l'any 2015 per a assolir-los abans del 2030 (Sætra, 2023, p. 18).

Al voltant d'aquest concepte, però, n'han sorgit d'altres com el de *creixement verd* o *economia verda* els quals, adoptats per les principals institucions com l'*Organització de Cooperació i Desenvolupament Economics*, el *Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient* o el *Banc Mundial*, proposen que el creixement econòmic sostingut és compatible amb el manteniment de l'equilibri ecològic del planeta (Hickel, J. i Kallis, G., 2019, p. 2). Tot i que hi ha disparitats quant a com entendre el concepte entre les principals organitzacions, hi ha consens en relació amb com obtenir-lo: creuen que a partir del canvi tecnològic es millorarà l'eficiència ecològica de l'economia. El motiu és que es creu que si el desenvolupament tecnològic es torna prou eficient, es podria arribar a "desacoblar"²⁶ completament el creixement econòmic de l'impacte ambiental (Biely et al., 2018).

²⁶ Cal mencionar que, quan es parla de desacoblament es diferencia entre el *relatiu*, aquell en què tant el creixement econòmic com el consum de recursos naturals creix però fent-ho a ritmes diferents, i l'*absolut*, aquell en què el creixement econòmic augmenta mentre que el consum de recursos naturals decreix.

Aquesta línia de pensament doncs, s'emmarcaria dins del paradigma *fluix* de la sostenibilitat, ja que segons aquest vessant, l'actual explotació dels recursos naturals estaria servint per al desenvolupament de tecnologies que permetrien aquesta reducció de l'impacte ambiental i, consegüentment, el "desacoblament" (Biely et al., 2018, p. 225). És la flexibilitat en l'intercanvi de dominis que aquesta proposa, la que permet que es puguin continuar explotant els recursos naturals a favor del creixement econòmic i el desenvolupament tecnològic.

Tot i això, un estudi de 2019 (Hickel i Kallis, 2019) indica que la tendència global en relació amb el consum de recursos naturals es mostra a l'alça des de principis de segle²⁷ i els únics casos destacats de desacoblament relatiu han estat la Xina, l'Índia i Sud-àfrica. Pel que fa al desacoblament absolut, no hi ha evidència que s'hagi produït i les tendències del segle indiquen una pitjor eficiència pel que fa a l'ús dels recursos. Alguns estudis apunten que el desacoblament absolut sí que seria possible a curt termini en les regions més pròsperes econòmicament, tot i això, aquest no sembla possible a escala global tot i plantejar-ho en el millor escenari a la vegada que no resulta factible a llarg termini.

Així doncs, lluny de posicionar en un mateix pla els tres pilars que la conformen, la *perspectiva fluixa de la sostenibilitat* està servint a la pràctica per continuar mantenint en una posició central el creixement econòmic per davant dels altres pilars. L'adopció d'aquest paradigma per part dels organismes internacionals suposa, doncs, una alarma pel que fa a la mitigació i prevenció de la present crisi ecosocial. A banda, es fonamenta en supòsits que fins ara s'han mostrat erronis i presenta contradiccions internes que posen de rellevància una manca d'una definició clara del què s'entén per sostenibilitat, provocant que l'adjectiu *sostenible* es converteixi en un terme en disputa i, tot sovint, en un comodí que serveix als interessos hegemònics, a les estratègies de *green washing* i a mantenir i promoure l'actual sistema socioeconòmic.

En aquest sentit, l'adopció d'una perspectiva forta de la sostenibilitat que posi per davant el fet de respectar els límits biofísics del planeta per davant de qualsevol altre interès, es mostra com l'alternativa necessària si volem mantenir l'habitabilitat del planeta.

²⁷ Una tesi semblant és la que defensa l'historiador Jean-Baptiste Fressoz al llibre *Sans Transition: Une nouvelle histoire de l'énergie*, on a partir d'una història de l'energia simbiòtica afirma que el consum energètic només ha fet que créixer a partir d'una combinació acumulativa de les fonts d'energia.

4. IA I SOSTENIBILITAT

Des del camp de la IA, la qüestió sobre la sostenibilitat ha esdevingut un aspecte a considerar davant la crisi ecosocial. En aquest sentit, han sorgit dues perspectives principals, en relació amb com la IA pot encaixar amb la sostenibilitat. La primera d'elles és la que s'entén com a *Green-by AI* o IA per a la sostenibilitat i la segona sovint rep el nom de *Green-in AI* o IA sostenible — no són excloents entre si —.

Aquestes perspectives són les que intenten adoptar el grup de recerca *Sustainable Artificial Intelligence*, una unitat sense ànim de lucre nascuda fa tres anys al Centre Tecnològic i de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC). Es tracta d'un equip interdisciplinari integrat per quinze persones amb formacions molt diverses: des d'aquells més especialitzats en telecomunicacions i informàtica, fins altres més enfocats en la visió per computador o les xarxes energètiques. La seva activitat està dirigida a buscar de quina manera la intel·ligència artificial pot tenir un benefici social gràcies a determinats serveis i aplicacions, a la vegada que tingui una petjada de carboni prou baixa. A partir d'una entrevista²⁸ realitzada a dos dels seus investigadors, Paolo Dini — coordinador del grup i amb formació en enginyeria electrònica — i Marco Miozzo — format en enginyeria de telecomunicacions — podem entendre de forma situada una manera de plantejar la conjunció entre intel·ligència artificial i sostenibilitat.

4.1. IA PER A LA SOSTENIBILITAT

Els partidaris d'aquest enfocament parteixen de la idea que la intel·ligència artificial es pot utilitzar al servei de fins sostenibles, la majoria dels quals s'emmarquen dins dels *Objectius de Desenvolupament Sostenible* de les Nacions Unides.

Tot i que el CTTC té present aquesta perspectiva, la treballen des d'un punt de vista acotat on consideren quines aplicacions són prioritàries i quines no.

Paolo: “Sobretot la part de sensors aplicada a *ciutats intel·ligents*, optimització del transport, salut, aigua, etc.” (p. 55).

²⁸ La transcripció de l'entrevista pot consultar-se a l'*Annex 3*.

Marco: “Sota els objectius de desenvolupament sostenible” (p. 55).

En aquest marc, i distingint-se del tipus d'IA del que hem discutit fins ara, la unitat de *Sustainable Intelligence* no treballa amb els grans models LLM que lideren l'escena de l'IA globalment, sinó que parteixen de models molt més petits que puguin treballar amb sensors o com ells ho anomenen *sistemes ciberfísics*, i que permeten monitorar l'entorn i detectar problemes amb tal d'optimitzar-los.

Paolo: “[...] Nosaltres som crítics amb aquest tipus de models, ja que creiem que la IA no ha d'anar cap a un sentit generalitzat, sinó més aviat hauria de ser especialitzada i en qualsevol cas reconfigurable, remodelable, etc., no un gran ordinador que pugui fer grans càlculs. Respecte a la IA generativa, utilitzem alguns dels seus principis per a, per exemple, extreure patrons de forma més acurada, però no fem servir aquests tipus de models” (p. 54).

En aquesta línia, la mobilitat intel·ligent és un dels vessants propis de la IA per a la sostenibilitat amb què treballen al CTTC. En el seu cas, han realitzat estudis amb sensors a Barcelona i altres ciutats on, a partir del monitoratge de l'entorn, busquen predir el trànsit en determinats trams de la ciutat. Per altra banda, també han treballat en relació amb la predictibilitat d'atropellaments i col·lisions d'automòbils.

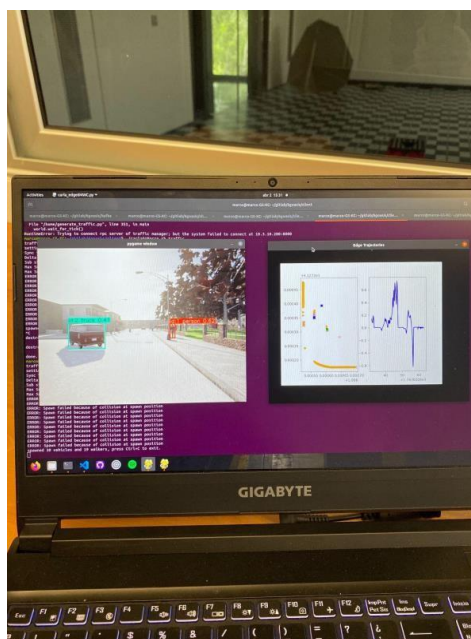


Fig. 15. Interfície que mostra els programes de mobilitat intel·ligent del SAI-CTTC. Fotografia pròpia.

Per altra banda, la IA pot millorar l'eficiència energètica, a partir de les xarxes energètiques intel·ligents (*smart grids*), les quals permeten optimitzar la coordinació entre la generació regional i la demanda local. En el cas que la font d'energia sigui renovable, es pot arribar a predir-ne la producció a partir de tècniques de ML que preveuen la seva variabilitat²⁹. Es tracta d'un altre vessant que pren el CTTC, on busca que les seves xarxes energètiques siguin intel·ligents a la vegada que la font d'energia sigui el més verda possible.

Paolo: “D’alguna manera és predictiu o es podria arribar a predir quan és intermitent aquesta energia (*sobre l’energia verda*). Tu pots arribar a pensar que, en un moment determinat, la llum estarà allí, per la qual cosa, en aquest temps, la computació la farà aquesta part de la xarxa i si no la farà l’altra. És aquesta idea de la xarxa intel·ligent” (p. 61).

Una de les tècniques en les quals es basen per a fer ús d'energia verda és l'anomenada *energy-harvesting*, la qual consisteix en el fet que els dispositius s'abasteixin de l'energia variable del seu voltant.

Paolo: “D’alguna manera, que puguin fer computació recollint l’energia de la qual poden disposar on es troben, que és molt poca, però almenys que part de la computació la puguin fer així i que llavors altra part de la computació la puguin fer altres dispositius de la IA col·lectiva” (p. 61).

Per últim, i sota la perspectiva de les *ciutats intel·ligents*, el CTTC fa recerca sobre maneres d'optimitzar els sistemes de climatització i la predicció del consum energètic a partir de la noció dels *smart buildings*. Es pot monitorar una habitació per a detectar la presència de persones o quin tipus d'activitat estan fent — més o menys activa — i així millorar el sistema de climatització de l'edifici fent que aquest s'adapti. Per altra banda, i respecte a la predicció del consum energètic, estan treballant en algorismes predictius per millorar l'eficiència energètica, i amb els quals també busquen fer-ne ús en comunitats energètiques per identificar si algú està consumint més energia de l'esperat i llavors adaptar-ne el consum.

²⁹ És freqüent l'ús de xarxes neuronals profundes - pròpies del DL - per a predir amb concreció la variabilitat del vent i altres mètodes híbrids per a la predicció de l'energia solar.

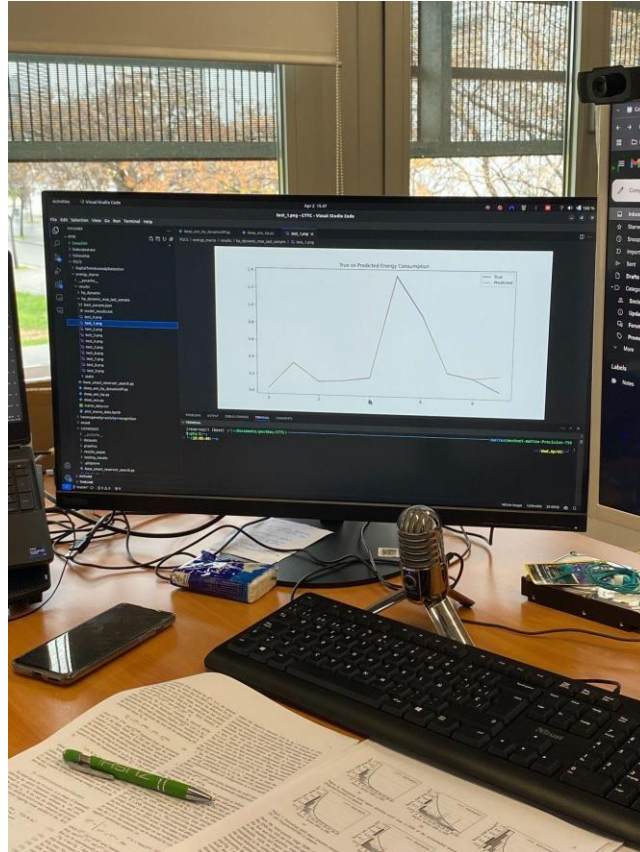


Fig. 16. Gràfic que mostra la predictibilitat de l'algoritme del SAI-CTTC que prediu el consum energètic. Fotografia pròpia.

En un sentit més general, des de la perspectiva de la IA per la sostenibilitat també s'ha proposat l'ús de la IA per a l'*agricultura sostenible*, gràcies a sensors, satèl·lits o drons que, sota algorismes de ML, busquen fer un ús eficient dels recursos, així com en l'eficiència energètica dels processos industrials perquè funcionin amb energia més baixa en carboni, entre d'altres (Bolón-Canedo et al., 2024, p. 2).

4.1.1. NARRATIVES SUBJACENTS A LA PERSPECTIVA

Tal com hem mencionat anteriorment, el paradigma hegemònic de la sostenibilitat que s'emmarca dins de la perspectiva fluixa, depèn completament de la promesa tecnològica que permetrà el suposat desacoblament del creixement econòmic respecte dels recursos naturals. És aquí, doncs, on la IA adquireix un rol crucial que alimenta la fe de tots aquells que creuen en les seves potencialitats.

De la mateixa manera que es disposa una confiança absoluta en la tecnologia a l'hora de garantir el desacoblament, l'aplicació de la intel·ligència artificial per a fins sostenibles es pot entendre segons la mateixa lògica, la qual es fonamenta a partir de dos principis: 1) No qüestionar el sistema socioeconòmic vigent 2) Assumir el determinisme tecnològic, la neutralitat de la tecnologia i el tecno-solucionisme.

Per a poder comprendre d'on prové la confiança cega que majoritàriament se li dona a la intel·ligència artificial i, en general, a la tecnologia davant de les problemàtiques que ens planteja la crisi ecosocial, és necessari concebre les idees del *tecnodeterminisme*, la neutralitat tecnològica, el *tecnooptimisme* i el *tecno-solucionisme* que argumentarem que es troben de forma subjacent a l'aproximació de la IA per a la sostenibilitat.

Tecnodeterminisme i neutralitat tecnològica

En l'imaginari actual, desenvolupament tecnològic i progrés sovint són entesos com a sinònims i com a processos autònoms i imparables, generant d'aquesta manera una sensació d'impotència i passivitat davant d'aquests. D'aquesta concepció, neix el terme *tecnodeterminisme* (Marx i Smith, 1994), el qual busca significar aquest ritme constant i incessant del desenvolupament tecnològic que acaba determinant la història (Aibar, 1996). Tot i això, es tracta d'una concepció que no ha estat sempre així i que troba la seva gènesi entre els ss. XVIII i XIX, primer amb el projecte il·lustrat i la creació de l'imaginari del progrés entès com a força històrica, i posteriorment la vinculació d'aquest amb el desenvolupament tecnològic com a vector de progrés social i moral.

Segons Adrián Almazán a *Técnica y Tecnología* (2021): "Va ser al s. XIX quan l'acceptació generalitzada de l'imaginari del progrés va deixar d'equivaldre al projecte d'una il·lustració general, a l'extensió de l'educació i la democràcia a tota la humanitat, per a reduir-se a la idea d'una ampliació de l'esfera tecnològica" [traducció pròpia] (p. 65). És en aquest segle, doncs, on es produeix una mena de "febre tecnològica" la qual, parafrasejant a Mosco (2005), fonamenta la creença que, independentment del que s'hagi dit sobre tecnologies anteriors, aquella més recent complirà amb una promesa radical i revolucionària (p. 8).

A partir de llavors, i com bé expressa Langdon Winner (1987), "es va donar per fet que els únics mitjans fiables per a millorar la condició humana provenien de les noves màquines, tècniques i productes químics. Fins i tot els mals socials i mediambientals recurrents que normalment acompanyen els avenços tecnològics poques vegades socaven aquesta fe"

[traducció pròpia] (p. 37). Aquest estat de fe irrompible en la tecnologia, Winner el va denominar *sonambulisme tecnològic*, el qual respon a una suspensió de la incredulitat davant la novetat tecnològica (Winner, 1987, p.37).

Juntament amb el *tecnodeterminisme*, la idea de neutralitat de la tecnologia també es consolida com a element clau en l'imaginari que l'envolta. Darrere d'aquesta ideologia, s'hi amaga una concepció de la tecnologia instrumentalista que entén aquesta com una eina objectiva, neutra i justa a partir de la qual se'n pot fer ús per a resoldre un determinat problema, aïllant-la del seu entorn sociohistòric (Almazán, 2021).

Tecnooptimisme i el messianisme tecnològic

Partint dels fonaments del *tecnodeterminisme* i la neutralitat tecnològica, la tecnologia es converteix, doncs, en la gran promesa que al llarg de la història s'ha provat repetidament com la solució als majors reptes de la humanitat. La confiança cega davant l'èxit de la tecnologia genera un *tecnooptimisme* que fa que aquesta esdevingui la resposta predilecta davant de qualsevol inconvenient, fet que s'ha demostrat al recórrer a la IA com aquella que podrà solucionar les dificultats que encarem davant de la crisi ecosocial. Tal com explicita Danaher (2022): "la tecnologia, quan es combina amb la passió humana i l'enginy, és la clau per a arribar a un món millor" [traducció pròpia] (p.1).

Així doncs, confiem en la tecnologia d'una manera quasi màgica fent que la percebem com la solució a tots els nostres problemes. D'aquesta manera, pensar que la IA ens ajudarà a obtenir un futur més sostenible i desitjable cau en una línia de pensament fonamentada en el messianisme tecnològic que ens deixa amb certa sensació de tranquil·litat en delegar la responsabilitat d'encarar la problemàtica, i que es conjuga amb el tecnooptimisme i el tecnodeterminisme en assumir que inevitablement arribarà una nova tecnologia que ens conduirà cap a un millor futur.

En aquest sentit, cal mencionar que tot i que el CTTC treballi des de la perspectiva d'IA per a la sostenibilitat, els seus investigadors són conscients i contraris a aquest tipus de creences:

Paolo: "A mi m'agrada la tecnologia, he estudiat això, m'agrada la IA, el concepte general és molt bonic, [...]. Però a la vegada tampoc crec que puguem solucionar tots els problemes amb la tecnologia" (p. 67).

4.1.2. PROBLEMATITZANT LA IA PER A LA SOSTENIBILITAT

La lògica *tecnodeterminista*, però, en la major part dels casos deixa de banda la complexa interrelació d'elements socials, polítics i materials en els quals es fonamenta la *megamàquina* de la IA i que des d'un prisma de neutralitat tecnològica, l'aïlla com una simple eina tècnica per aplicar-la als fins sostenibles dictats per l'agenda global.

La insostenibilitat que encarna la IA a partir dels impactes en la dimensió ecològica així com el reforç de les relacions de poder colonials i exacerbació de les desigualtats estructurals, fan que la consideració d'aquesta com a possible candidata per a complir amb els objectius sostenibles presenti una contradicció inherent.

És cert que la intel·ligència artificial pot comportar avantatges quant a la gestió i eficiència del consum energètic, la prevenció d'accidents i la millora de la mobilitat així com l'optimització dels diagnòstics i anticipació de malalties, entre d'altres, i que, per tant, es podria argumentar que és un vector que contribueix a la sostenibilitat. Així i tot, aquestes pràctiques — que encara són una minoria — s'han de ponderar de forma integral juntament amb la seva sostenibilitat encarnada per a determinar si resulten favorables cap a la consecució d'un futur realment sostenible. De moment, la majoria dels sistemes d'IA presenten una insostenibilitat encarnada — en el seu procés productiu i d'ús — que posa de relleu i qüestiona el fet d'utilitzar una tecnologia que fins ara s'ha mostrat insostenible per a fins sostenibles. Es tracta d'una contradicció inherent, on s'estaria utilitzant la IA per a solucionar els problemes dels que la mateixa IA forma part (Schützer, 2024).

De la mateixa manera, es tracta d'una aproximació que manté l'*statu quo* i que no qüestiona l'actual sistema capitalista que tantes vegades s'ha titllat d'insostenible en posicionar el creixement econòmic al centre en detriment de l'habitabilitat del planeta i el benestar i la dignitat humana. Així doncs, la IA per a la sostenibilitat suposa mantenir el mateix horitzó socioeconòmic que promet un futur verd i digital sota una narrativa³⁰ que desmaterialitza i es desvincula de les relacions de poder que possibiliten la seva mateixa existència i que és subscripta per gran part dels organismes internacionals que conformen i determinen les polítiques globals.

³⁰ En aquest sentit, resulta coherent que siguin les grans corporacions tecnològiques les que defensin i promoguin amb tant fervor aquesta aproximació a la sostenibilitat, perquè, d'una banda, els permet potenciar el relat del tecno-solucionisme màgic que proposa la IA, a la vegada que els permet continuar amb la mateixa lògica d'acumulació neoliberal.

Finalment, la IA per a la sostenibilitat i la seva aposta per les *ciutats intel·ligents* concorda amb la utopia cibernètica del capitalisme de vigilància que busca una hiperconnectivitat màxima amb tal de disposar encara més punts de captació de dades i que suposa una amenaça cap a la privacitat i integritat de les persones. Són estratègies, doncs, que minven els principis d'autonomia i dret a la privacitat i que, per tant, no estarien contribuint a una major sostenibilitat social.

4.2. IA SOSTENIBLE

A banda de la IA per a la sostenibilitat, hi ha qui defensa que la intel·ligència artificial pot arribar a exacerbar els problemes que intenta solucionar. És per això que el vessant *Green-in AI* o IA sostenible encaixa la sostenibilitat des d'un punt de reduir els mateixos impactes que té la IA, prenent una mirada conscient de la insostenibilitat estructural que comporta el seu procés productiu i de consum.

Aquesta és la línia on el CTTC posa més èmfasi, ja que reconeixen el cost metabòlic en la petjada energètica, hídrica i mineral de la IA. En aquest sentit, el CTTC duu a terme diversos projectes que busquen minimitzar el consum energètic, així com oferir eines per aportar transparència en relació amb aquest consum.

Un dels vectors que més contribueixen al consum energètic, són les dades i el nombre de paràmetres que té el model. Actualment, la major part dels models de LLM operen sota l'assumpció que més dades aportaran més precisió, sense tenir en compte el seu cost energètic i la possible redundància d'aquestes. És per això que des de la unitat de *Sustainable Intelligence*, es treballa per a reduir el nombre de dades així com per utilitzar aquelles que puguin ser de més rellevància servint-se de tècniques com els paradigmes *Brain Inspired*³¹ o *Physic Informed*³².

³¹ *Brain Inspired* és un paradigma que s'inspira de les estructures, funcions i principis de la biologia humana i el sistema neuronal amb tal d'aproximar-se al comportament i cervell humà. Es tracta d'una aproximació que pot ser més eficient energèticament, ja que busca treballar més amb components analògics.

³² *Physic Informed* és un altre paradigma que aprofita les lleis de la física per ajudar l'algoritme a resoldre les tasques. Permet utilitzar les dades més rellevants i, per tant, el nombre total de dades utilitzades és menor.

Paolo: “Un dels problemes més contundents dels LLM és justament que no tenen en compte la redundància de les dades, és a dir, ho agafen tot i, per tant, hi ha molta informació que es repeteix i que fins i tot embruta l’entrenament dels models”. “[...] funcionem al revés que aquests grans models, partim des d’una escala petita a veure fins on podem créixer, no al revés” (p. 56).

Marco: “Sobretot posem èmfasi a treballar una mica més les dades. En comptes de fer servir totes les dades, intentar fer servir les dades més útils per l’algoritme” (p.55).

En aquest sentit, cal mencionar el duplicat de dades que tenen els centres de dades per motius de seguretat i que suposen un nou eix de consum. Tot i que és redundant, és necessari, per la qual cosa de nou la solució es troba en un menor nombre de dades.

Paolo: “[...] Com menys dades necessitis millor. [...] la seguretat és un aspecte que s’ha de tenir en compte i sempre t’afegirà una capa de consum més, però s’ha de tenir. És un altre eix que t’afegeix complexitat perquè aporta redundància, però és necessari” (p. 68).

La forma en la qual està escrita el codi també importa en relació amb el cost energètic, pel que codificar de forma eficient és un aspecte a tenir en compte si volem parlar d’una IA sostenible.

Paolo: “[...] quan dissenyes un codi, es llegirà la memòria, on estan les dades, les variables, es faran cicles, etc. [...] Llavors minimitzar el nombre de cicles, minimitzar les lectures i escriptures de la memòria, etc. fa que tot això minimitzi el nombre d’operacions i consegüentment el consum energètic” (p. 69).

D’altra banda, també contempen el cost energètic i hídric dels centres de dades, i per això recorren a tècniques³³ que permeten l’aprenentatge descentralitzat dels models, el qual parteix d’una xarxa de dispositius³⁴ distribuïts a partir dels quals es fa la computació i entrenament dels models i que, per tant, no requereix grans centres de dades. Aquest tipus d’aprenentatge el que permet és que el model d’IA s’entreni en el mateix dispositiu amb el

³³ Algunes d’aquestes tècniques són *Federated Learning*, *Gossip Learning* i *Multi-Agent Reinforcement Learning*.

³⁴ A tall d’exemple, en l’aprenentatge descentralitzat els dispositius poden ser sensors com també petits centres de dades en cada barri.

qual s'obtenen les dades i, un cop entrenat, s'envia directament el model, és a dir, els paràmetres, i no les dades. Permet, doncs, un estalvi d'energia a causa de la independència dels centres de dades, així com l'estalvi del consum generat per l'emmagatzematge de les dades. A la vegada, també és una forma de garantir la seguretat i la privacitat de les dades, ja que aquestes no surten del dispositiu on s'ha entrenat el model.

Marco: “[...] el que fem és intentar reduir on arriben les dades, perquè així també millores la privacitat de les dades i, per tant, de les persones” (p. 58).

Adicionalment, la importància que li donen a l'aprenentatge descentralitzat també es deu al fet que permet reduir el consum energètic de tota la infraestructura TIC requerida per a l'intercanvi de les dades, sigui entre sensors o entre els centres de dades. En aquest sentit, remarquen que aquest és un cost que no es contempla a l'hora de calcular el consum de la IA i estan treballant en maneres de reduir-lo aprofitant la xarxa de telecomunicacions ja existent.

Paolo: “És una cosa que normalment no apareix en els números de consum d'intel·ligència artificial, perquè es dona per fet que totes les dades es troben ja al centre de càlcul i no és així. I més si considerem sensors distribuïts per tota la ciutat, perquè aquests sensors han d'enviar totes les dades cap allà, i això clarament té un cost de consum de xarxa i d'operacions de la infraestructura de xarxa que no es calcula. Llavors és tota la infraestructura TIC que també s'ha de tenir en compte. Com menys dades millor” (p. 58).

Marco: “[...] Per exemple, com fer servir la xarxa de telecomunicacions com una xarxa de sensors i de computació. Aprofitar la xarxa existent” (p. 69).

En aquesta línia, la mesura del cost energètic de la IA és un altre àmbit d'investigació rellevant per al CTTC. Es tracta d'una qüestió que no gaudeix de consens a escala global perquè no hi ha una mètrica estàndard, fet que dificulta la transparència de les grans empreses tecnològiques en relació al seu impacte ambiental. La causa de la manca d'un estàndard es deu a la complicació que suposa mesurar el consum energètic d'un sistema d'IA, ja que hi ha molts factors que cal considerar a la vegada que no tots són proporcionals entre si, impedit un resultat fiable. De moment, la més completa fins ara és mesurar-ho en *watts*, tot i que continua sent complicada de mesurar. Recentment, han sortit algunes llibreries de *software* que permeten mesurar-ho en determinats tipus de *hardware* com és el cas de l'aparell de la *Fig. 17*.

Paolo: “[...] és necessari tenir un estàndard per mesurar la petjada de carboni. Sobretot en l’àmbit digital que presenta força opacitat. [...] Estaria bé poder-ho fer amb tota la cadena de valor, des de la generació del material o, si volem separar-ho, comencem per la part operativa almenys. Reforçat pels polítics” (p. 66).

Tot i això, és una línia d’investigació que volen seguir i que es fa patent amb la recent adquisició d’un aparell³⁵ que permet mesurar el consum energètic dels servidors.

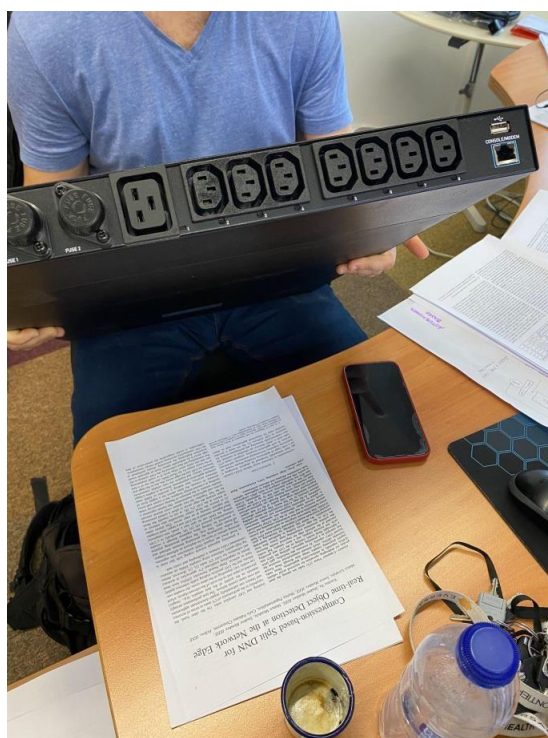


Fig. 17. Aparell per mesurar el consum energètic del servidor. Fotografia pròpia.

Respecte a la qüestió de l’*e-waste*, estan sortint noves línies d’investigació en relació amb materials biodegradables que puguin utilitzar-se per a la computació. Tot i així, encara és un àmbit força desconegut. En aquest sentit, el CTTC es centra a allargar els usos del *hardware* — a partir de fer el model més petit hi ha menys computació i, per tant, es pot fer servir el *hardware* durant més temps — i també advoca perquè aquest tingui estructures més modulars per tal que es pugui reparar més fàcilment.

Paolo: “Aquí el problema més gran és que sent tot molt integrat, una vegada que tot això finalitza es llança. És molt complicat separar els materials. Per a mi la part on

³⁵ <https://www.raritan.com/>

s'hauria d'invertir més seria en investigar de quina manera es poden reciclar aquests tipus de materials, la qual cosa no es fa que jo sàpiga. Després també, és fonamental allargar la vida el màxim possible. Fer els dispositius de material bio també, però sobretot, allargar al màxim” (p. 63).

Finalment, l'ús de fonts d'energia renovable també és un aspecte que consideren en els seus projectes. Tot i això, l'energia que requereixen és mínima perquè treballen amb sistemes i models petits. En aquest sentit, i amb la tendència a l'alça de la inversió en IA, tot i que es plantegés un subministrament energètic verd per a la majoria dels sistemes, el nombre seria tan elevat que resultaria inviable energèticament. Així doncs, el CTTC advoca per un decreixement del nombre de sistemes així com de l'ús d'aquests.

Marco: “[...] El problema està en quanta energia necessitaràs, perquè si necessites tota una macroinstal·lació de plaques fotovoltaïques per al teu centre de dades no té massa sentit. Hi ha d'haver prioritats en l'ús de l'energia” (p. 60).

En la línia d'IA sostenible a nivell general han sorgit propostes com la de *GreenPT*, una iniciativa europea d'un xatbot que simula en aparença els altres xatbots predominants avui dia, però que es distingeix principalment per tenir un menor nombre de paràmetres, dependre completament d'energia renovable i per ser codi obert.

Marco: “[...] estan sortint altres alternatives a ChatGPT com GreenPT, que sí que et diu quant consumeix cada pregunta, a més que intenten fer-ho a partir d'energia renovable i models més petits” (p. 66).

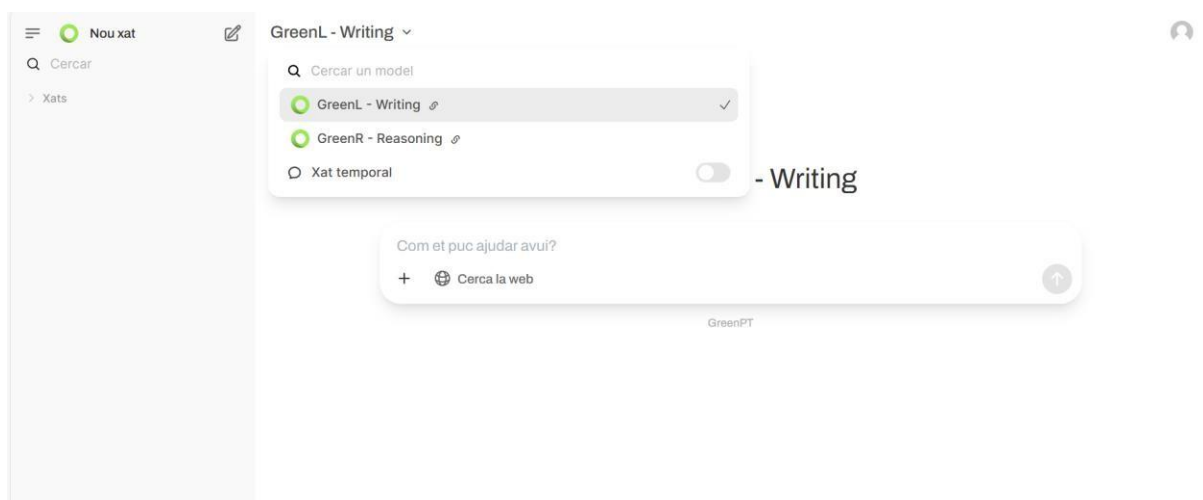


Fig. 18. Interfície del xatbot GreenPT. Extret de <https://chat.greenpt.ai/>.

Tot i això, la investigació en IA sostenible segueix sent molt minoritària.

Marco: “[...] sí que comença a haver-hi investigació al voltant de la IA sostenible, però encara som molt poca gent. Sí que moltes vegades la paraula sostenibilitat entra en la investigació, però moltes vegades és “green washing”, és només la part operativa, no compta el rebound effect, etc.” (p. 78).

4.2.1. PROBLEMATITZANT LA IA SOSTENIBLE

En la línia del que suggeria Marco Miozzo en aquesta última cita de l’entrevista realitzada, si bé el paradigma d’IA sostenible es mostra com una aproximació més sostenible respecte a la dimensió ecològica, la projecció d’un augment de la demanda en IA pot arribar a trasbalsar aquest avenç, ja que no només es requereix una disminució del consum de recursos que pugui fer cada sistema, sinó que es necessita una disminució del mateix nombre de sistemes d’IA. Pel que fa a la qüestió de l’e-waste, tot i que s’estiguin investigant alternatives biodegradables i remodelables, resulta en una problemàtica a la qual l’aproximació de la IA sostenible encara no ha pogut donar resposta. Així doncs, la sostenibilitat ecològica que promou la IA sostenible només pren sentit si a la vegada s’acompanya d’una contracció metabòlica a escala global que permeti una disminució del consum voraç dels recursos naturals.

Per altra banda, cal mencionar que quan es fa una millora de l’eficiència d’una tecnologia ens topem amb una paradoxa de caràcter econòmic coneguda com la paradoxa de Jevons o *rebound effect*. Aquest efecte s’explica perquè una millora en l’eficiència d’una tecnologia tendeix a comportar un abaratiment dels preus i, per tant, n’acaba creixent la demanda comportant així un consum major. Segons els investigadors Paolo Dini i Marco Miozzo, aquesta és una problemàtica que és impossible de resoldre tècnicament i que, en conseqüència, és una qüestió política que caldria abordar a partir d’estratègies que puguin mirar d’influir en la conducta del consumidor.

Marco: “[...] Tecnològicament, és impossible, quan baixa l’eficiència el consum augmenta. Però sí, amb més transparència la conducta del consumidor potser canviaria perquè es podria plantejar si fer-ne menys ús” (p. 71).

A la vegada, l'adopció d'una posició conscient per part del consumidor respecte els impactes que té la IA també es mostra com una alternativa per a reduir el consum.

Marco: “[...] cal que els consumidors també agafin consciència, per exemple, si ChatGPT no em diu quant consumeix jo no el faig servir” (p. 66).

Paolo: “Estaria bé que als mòbils també hi hagués alguna cosa que ens digués quant estem consumint pel que fa a dades, energia, quanta estona el carreguem, etc. Estaria bé també veure-ho per cada app. Estaria bé descentralitzar-ho perquè cada persona pugui ser conscient de quant està consumint. Jo crec que la transparència i el fet que sigui públic, sobretot les entitats que són públiques ajudaria a fer que es passés més el missatge i que no sigui el de la intel·ligència artificial salvarà el món” (p. 65).

Per últim, tot i que hi ha una reconsideració dels impactes ambientals, els impactes socials i econòmics que la IA té al llarg de la cadena de producció així com en el moment del seu consum passen completament desapercebuts. Si volem considerar una IA realment sostenible, hem de tenir en compte aquestes altres dimensions també.

4.3. POT LA INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL SER SOSTENIBLE?

La major part dels sistemes que conformen l'actual ecosistema de la IA pertanyen al sector privat i, en bona part, a les grans tecnològiques, la qual cosa fa que l'acumulació de capital sigui el principal imperatiu, fent que la sostenibilitat passi a un segon pla. D'aquesta manera, les intel·ligències artificials actuals s'han de considerar com un vector més que empeny amb força els límits biofísics del planeta cap a la irreversibilitat així com les desigualtats socials i econòmiques, convertint-la en una tecnologia que ens allunya més que no pas ens apropa a una possible sostenibilitat.

Marco: “El problema està en el fet que és insostenible per la indústria, però sostenible per una petita part que conforma aquesta indústria que són les *Big Techs*, que ho poden resistir econòmicament. Això provoca una bretxa tant en l'àmbit d'investigació com en la inversió” (p. 56).

A la vegada, no podem des-inscriure les intel·ligències artificials del seu context socioeconòmic al qual serveixen i el qual representa la mateixa gènesi de la seva existència. No podem entendre la IA sense la cultura de la datificació, el capitalisme de vigilància o les relacions colonials. Les tecnologies sempre es conformen i conformen a la vegada el seu rerefons cultural, i la IA encarna els valors i pràctiques d'un capitalisme salvatge que reforça i manté les relacions de poder (Almazán et al., 2024). Per tant, la IA que avui dia es promou continua sent funcional a l'horitzó capitalista que busca una major eficiència, control i productivitat i que consegüentment moldeja les formes de vida segons aquests ideals.

Per altra banda, conforma una gran estructura político-socio-material a la que ens hem referit com a *megamàquina*, que materialitza i reproduïx el metabolisme accelerat propi del capitalisme i que serveix com a estratègia de redistribució desigual dels recursos. Així doncs, per a una IA sostenible la reducció d'escala i la producció local així com la contracció metabòlica emergeix com una condició indispensable a seguir. Sota els efectes del *sonambulisme tecnològic*, en cap moment hem qüestionat la irrupció i la intrusió de les intel·ligències artificials a les nostres vides, i tampoc hi ha hagut cap mena de debat democràtic a través del qual puguem concloure si aquestes tecnologies realment ens interessin i contribueixen al futur sostenible que volem construir.

En resum, per a pensar una intel·ligència artificial sostenible, cal sortir del marc capitalista que es troba al mateix centre del seu disseny i buscar altres aproximacions i mirades col·lectives que plantegin si és possible una IA que sigui compatible amb l'habitabilitat del planeta i el benestar social per davant del creixement econòmic. En aquest sentit, podríem dir que el marc d'investigació del CTTC dista de l'aproximació hegemònica a la IA, amb una sensibilitat pròpia que reconeix les limitacions biofísiques del planeta i que s'apropa a la perspectiva forta de la sostenibilitat, aconseguint una IA més sostenible. Tot i que segueix la línia de la IA per a la sostenibilitat, ho fa des d'una mirada acotada als usos prioritaris a la vegada que la combina amb la perspectiva d'IA sostenible. Per últim, encara que depengui de la *megamàquina*, treballa amb una escala molt menor que resulta fonamental per una gestió més democràtica de la IA i posa per davant la dignitat i privacitat de l'usuari. Adicionalment, les línies propositives de l'ecodependència, la convivialitat, les tècniques humils o l'ecodisseny ens poden ajudar a imaginar quina forma pot prendre una tecnologia sostenible i, en concret, si la IA pot arribar a ser-ho³⁶.

³⁶ Per a saber més sobre aquestes propostes vegeu l'Annex 2.

5. CONCLUSIONS

Els grans models d'IA que dominen l'escenari mundial actual suposen una lògica que perpetua l'explotació ambiental, econòmica i social, desequilibrant la balança de la sostenibilitat global. L'adopció d'una definició clara i coherent de la sostenibilitat resulta urgent en el context de crisi ecosocial per tal que es puguin dur a terme mesures que estiguin en concordança amb la dignitat humana i l'habitabilitat del planeta, tant l'actual com la futura.

Hem de deixar enrere la il·lusió i esperança que la IA resoldrà les esquerdes i les desigualtats que el capitalisme ha generat i hem de comprendre que la urgència de la crisi ecosocial actual demana una transformació dels nostres modes de vida imperials, per fer servir el terme de Brand i Wissen (2021). A la vegada, és imperatiu abandonar la comoditat que ens ofereix la promesa tecnològica per ocupar una posició incòmoda, però necessària, que ens permetrà recuperar la nostra agència i capacitat d'autonomia.

En aquest sentit, no es tracta de renegar completament de la tecnologia, sinó que, sense caure en el messianisme tecnològic, hem de buscar noves maneres de pensar-la i dissenyar-la perquè encarni els valors i pràctiques que es mostren favorables a un futur més sostenible i democràtic. Cal reconèixer, però, que la qüestió propositiva i constructiva suposa el repte més difícil i, per tant, requereix la participació col·lectiva. Tot i això, i tal com comenta Adrián Almazán (2021): "Necessitem tècniques que no pretenguin dominar, que no requereixin experts per a ser dissenyades i utilitzades, que no tinguin impactes que perjudiquin les generacions futures, que no corroeixin el delicat teixit de la vida de Gaia" [traducció pròpia] (p. 145).

Així doncs, i com que aquest canvi en l'ordre socioeconòmic i tecnològic no es produirà de cop sinó de forma gradual, l'adopció d'una postura conscient de les implicacions que té l'ús i la producció de la IA es mostren com el primer pas a seguir en el camí de la sostenibilitat. El suport a estratègies com la reducció d'escala, la transparència i la reducció en el consum o l'aprenentatge distribuït dels models com proposa el CTTC, així com promoure i adoptar una cultura crítica i democràtica davant la tecnologia, resulten accions significatives que ens poden conduir cap a una relació més desitjable amb la intel·ligència artificial.

6. BIBLIOGRAFIA

Aibar, E. (1996). La vida social de las máquinas: orígenes, desarrollo y perspectivas actuales en la sociología de la tecnología. *Reis*, 76, 141-170. <https://doi.org/10.2307/40183990>

Almazán, A. (2021). *Técnica y tecnología: Cómo conversar con un tecnólogo*. Taugenit.

Almazán, A. et al. (2024). *Técnicas humildes para el Decrecimiento*. Ecologistas en Acción.

Becker, C. (2023). *Insolvent*. The MIT Press. <http://doi.org/10.7551/mitpress/14668.001.0001>

Biely, K., Maes, D. i Van Passel, S. (2018). The idea of weak sustainability is illegitimate. *Environment, Development and Sustainability*, 20, 223-232. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9878-4>

Bolón-Canedo, V. et al. (2024). A review of green artificial intelligence: Towards a more sustainable future. *Neurocomputing*, 599, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128096>

Brand, U. i Wissen, M. (2021). *Modo de vida imperial: Vida cotidiana y crisis ecológica del capitalismo*. TINTA LIMON.

Brevini, B. (2021). *Is AI Good for the Planet?* Polity Press.

Crawford, K. (2023). *Atlas de IA: Poder, política y costes planetarios de la inteligencia artificial*. Ned Ediciones.

Danaher, J. (2022). Techno-optimism: An Analysis, an Evaluation, and a Modest Defence. *Philosophy & Technology*, 35(54), 1-29. <https://doi.org/10.1007/s13347-022-00550-2>

De Mántaras Badia, R. L. (2017). *Inteligencia artificial*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

De Vries, A. (2023). The growing energy footprint of artificial intelligence. *Joule*, 7(10), 2191-2194. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.09.004>

Dietz, S. i Neumayer, E. (2007). Weak and strong sustainability in the SEEA: Concepts and measurement. *Ecological Economics*, 61(4), 617-626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.09.007>

Frost, K. i Hua, I. (2019). Quantifying spatiotemporal impacts of the interaction of water scarcity and water use by the global semiconductor manufacturing industry. *Water Resources and Industry*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100115>

García, V. (2024). *Que faire de l'intelligence artificielle?: Petite histoire critique de la raison artificielle*. Éditions Payot & Rivages.

Khalfa P. (2025). Une reconfiguration du capitalisme? Dans Enderlin, N. et al. *Que faire de l'IA?: Entre risque et opportunité pour la transformation sociale et écologique*. Du Croquant.

Hickel, J. i Kallis, G. (2019). Is Green Growth Possible? *New Political Economy*, 25(4), 469-486. <https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964>

Krznicaric, R. (2022). *El buen antepasado: Cómo pensar a largo plazo en un mundo cortoplacista*. Capitán Swing Libros.

Kuhlman, T. i Farrington, J. (2010). What is Sustainability? *Sustainability*, 2(11), 3436-3448. <https://doi.org/10.3390/su2113436>

Luccioni, S., Viguier, S. i Ligozat, A. (2023). Estimating the Carbon Footprint of BLOOM, a 176B Parameter Language Model. *Journal of Machine Learning Research*, 24, 1-15. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.02001>

Luccioni, S., Trevelin, B. i Mitchell, M. (2024). The Environmental Impacts of AI - Policy Primer. *Hugging Face*. <https://huggingface.co/blog/sasha/ai-environment-primer>

Marx, L. i Smith, M. R. (1994). *Does Technology Drive History?* The MIT Press.

Milani, C. i Garcia, V. (2023). L'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale: dall'automazione del lavoro al condizionamento reciproco. *Mondo Digitale*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7737430>

Milani, C. (2024). *La Actitud Hacker: Una Apuesta Por Las Tecnologías Conviviales*. Ned Ediciones.

Mosco, V. (2005). *The Digital sublime: Myth, power, and cyberspace*. The MIT Press.

Mumford, L. (2013). *El mito de la máquina: Técnica y evolución humana*. Pepitas de Calabaza.

Peirano, M. (2019). *El enemigo conoce el sistema: Manipulación de ideas, personas e influencias después de la economía de la atención*. Titivillus.

Peirano, M. (2022). *Contra el futuro: Resistencia Ciudadana frente al feudalismo climático*. Debate.

Portney, K. E. (2015). *Sustainability*. The MIT Press.

Purvis, B., Mao, Y. i Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14, 681-695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>

Regilme, S. S. F. (2024). Artificial Intelligence Colonialism: Environmental Damage, Labor Exploitation, and Human Rights Crises in the Global South. *SAIS Review of International Affairs*, 44(2), 75-92. <https://doi.org/10.1353/sais.2024.a950958>

Ren, S. et al. (2025). Making AI Less “Thirsty”: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.03271>

Sætra, H. S. (Ed.). (2023). *Technology and Sustainable Development: The Promise and Pitfalls of Techno-Solutionism*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781003325086>

Sala-i-Martin, X. (2025). *Entre el paradís i l'apocalipsi: L'economia de la intel·ligència artificial*. ROSA DELS VENTS.

Sanz, F. (2014). *Ecodiseño: Un nuevo concepto en el desarrollo de productos*. Servicio de Publicaciones de La Universidad de La Rioja.

Schütze, P. (2024). The Problem of Sustainable AI: A Critical Assessment of an Emerging Phenomenon. *Weizenbaum Journal of the Digital Society*, 4(1). <https://doi.org/10.34669/WI.WJDS/4.1.4>

Valdivia, A. (2024). The *supply chain capitalism of AI*: a call to (re)think algorithmic harms and resistance through environmental lens. *Information, Communication & Society*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2024.2420021>

Wang, P. *et al.* (2024). E-waste challenges of generative artificial intelligence. *Nature Computational Science*, 4, 818-823. <https://doi.org/10.1038/s43588-024-00712-6>

Winner, L. (1987). *La Ballena y el reactor: una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología*. Gedisa.

Wu, C. *et al.* (2022). Sustainable AI: Environmental Implications, Challenges and Opportunities. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.00364>

ANNEX 1

Intel·ligència Artificial - Què és?

Últimament, el concepte d'intel·ligència artificial està sent molt usat, tot i que sovint remet exclusivament als xatbots. No obstant, *intel·ligència artificial* és un terme que s'estén a moltes altres tecnologies i que es remunta molt abans del moment actual.

Es diu que la *intel·ligència artificial* neix amb la Conferència al Dartmouth College el 1956³⁷. Aquesta va ser una trobada dels millors investigadors en els camps de la matemàtica, la lògica, l'enginyeria i fins i tot la neuropsiquiatria (Garcia, p. 21). Iniciada per John McCarthy, encara que juntament amb Marvin Minsky, Claude Shannon i Nathan Rochester, tenien la intenció que *qualsevol aspecte de l'aprenentatge o qualsevol altra característica de la intel·ligència podia, en principi, ser descrita amb un nivell de detall suficient per ser simulat en una màquina* (De Mántaras Badia, p. 17). Així i tot, els feia falta finançament per a dur-ho a terme, per la qual cosa McCarthy va proposar el nom d'*intel·ligència artificial* com a estratègia publicitària a causa de l'impacte i atractiu que evocava el nom (Garcia, p. 26). Finalment, tot

³⁷ Cal destacar, però, que la investigació en IA, és anterior a la conferència, ja que Alan Turing, ja s'havia fet la pregunta de si els ordinadors podien arribar a pensar com els humans, o en altres termes, si podien assolir la intel·ligència i altres investigadors com Pitts i McCulloch ja havien pensat sobre el concepte de neurones matemàtiques o com Simon i Newell, que havien desenvolupat *Logic Theorist* (LT), un programa de lògica matemàtica capaç de demostrar gran part dels teoremes del *Principia Mathematica* de B. Russell.

i que els resultats que prometia la conferència van ser mínims, el ressò va ser tant que va atraure l'interès de periodistes, empreses, universitats i governs de tot el món.

El camp de la intel·ligència artificial s'ha mogut des dels seus inicis entre dos paradigmes o vies principals a partir dels quals desenvolupar les tecnologies, aquests són el paradigma *simbòlic* i el paradigma *connexionista*. El primer és el paradigma clàssic que va predominar majoritàriament durant el s. XX i que s'inspira en els processos mentals superiors — ús del llenguatge, el coneixement, la decisió, la planificació d'una acció, etc. — resolent problemes a través de la lògica. El segon és el paradigma predominant des de principis del s. XXI i que s'inspira en allò que el *simbòlic* deixa de banda: els mecanismes inferiors subjectes al pensament. Es caracteritza per una estructura que imita la xarxa neuronal i que processa la informació paral·lelament a partir de mecanismes estadístics. En el moment de la conferència, els organitzadors ja coneixien les dues vies, i van apostar per intentar fer avançar els dos camins de manera simultània i col·laborativa. Tot i això, poc després d'aquesta les dues escoles es van començar a separar, fins que van arribar al punt de rebutjar-se mútuament (Sala-i-Martin, p. 284). Aquesta competició creixent entre aquestes va marcar la història de la IA, causant *primaveres*³⁸ però també *hiverns*.

Els paradigmes ens mostren les diverses maneres de procedir, però també hi ha divergències pel que fa a l'objectiu últim de la intel·ligència artificial i les seves possibilitats. En aquest sentit, hem de distingir el que s'anomena *IA dèbil* o *IA estreta* i *IA forta* o *IA general*. La primera entén que la IA és el camp de la ciència i enginyeria que permet dissenyar i programar ordinadors de forma que duguin a terme tasques que requereixen intel·ligència. En canvi, la segona comprèn que la IA és el camp de la ciència i enginyeria que permetrà replicar la intel·ligència humana mitjançant màquines (De Mántaras Badia, p. 9). Es creu que si s'aconseguís la *IA forta*, aquesta podria acabar adquirint consciència i agència i, en un últim estadi de desenvolupament, podria arribar a reprogramar-se ella mateixa, fent que les habilitats cognitives creixin de manera exponencial — el que també s'anomena com a *singularitat* —. En aquest sentit, totes les IA que existeixen avui dia són estretes, tot i que la *IA forta/general* ha estat i continua sent el Sant Grial pels investigadors d'arreu del món.

En el camp de la IA hi ha diversitat de subcamps principals, com ho són els de Machine Learning (ML), Processament de llenguatge natural (NLP), Visió per computador, Robòtica o el de Sistemes Multi-Agent. En el cas de la IA generativa (*Generative AI*), els *Large Language*

³⁸ Nom amb el que es denota un moment on hi ha grans avenços en el camp de la IA, a diferència de l'*hivern* que indica tot el contrari.

Models (LLM) o el *Deep Learning* (DL), a partir de les quals estan formats els xatbots, són totes tècniques que pertanyen al *Machine Learning* (ML).

Com bé hem esmentat, a partir del s. XXI, la via connexionista va prendre el relleu. Això es fa patent amb la importància que han pres alguns dels seus subcamps en les últimes dècades, com el *Machine Learning* (ML) o el *Natural Language Processing* (NLP) tal com s'observa al següent gràfic.

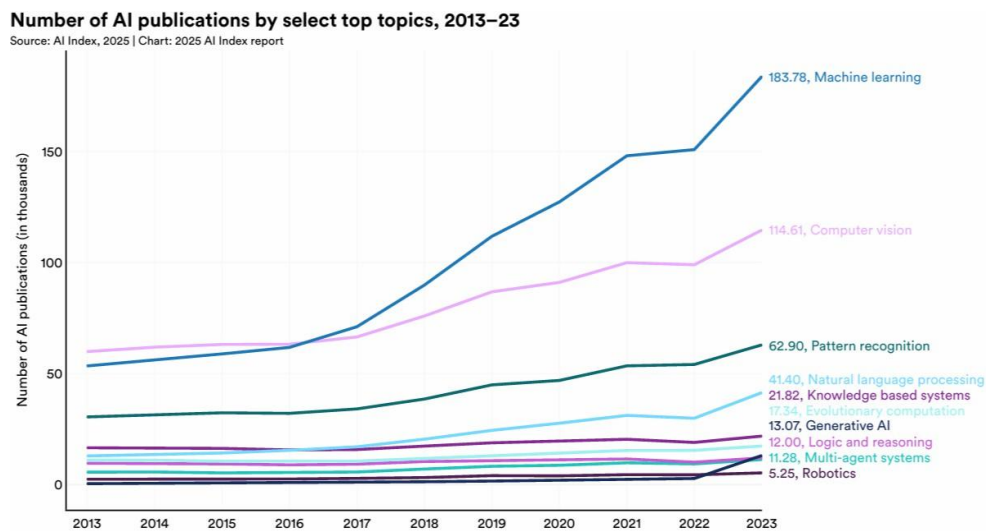


Figure 1.110*

Fig. 1. Gràfic lineal que mostra el nombre de publicacions d'IA segons la categoria entre 2013 i 2023. Extret d'*Artificial Intelligence Index Report 2025*. <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report>

ANNEX 2

Noves propostes

Un canvi cap a la construcció imaginativa i real de tecnologies que estiguin en harmonia amb un futur realment verd i sostenible, també implica un canvi en la relació i percepció que establim amb l'entorn.

En aquest sentit, pot ser d'ajuda considerar la hipòtesi de Gaia formulada per James Lovelock el 1970, la qual proposa considerar la Terra com un conjunt viu en el qual cada organisme manté una relació d'interdependència entre l'entorn i els altres organismes, posant al centre la qüestió de l'habitabilitat i trencant amb la relació de dominació pròpia de la modernitat que

havia considerat i legitimat una posició subordinada del planeta i el conjunt d'organismes vius respecte dels desitjos de l'home. Així doncs, aquesta perspectiva ens permet entendre'ns de forma integrada amb el nostre entorn i com a partícips de les dinàmiques que fan de la Terra un organisme viu.

Per altra banda, en referència a com ens hem de relacionar amb aquestes noves tecnologies, els marcs propositius de l'ecodisseny i la convivialitat també poden resultar d'utilitat. L'ecodisseny (Sanz Adán, 2014) es fonamenta en una perspectiva holística de la sostenibilitat que indica que a l'hora de dissenyar un producte s'ha de tenir en compte tant l'impacte ambiental com el social i econòmic en totes les etapes de la seva vida útil. Aquesta es mostra com una perspectiva integral que pot recolzar l'aproximació de la IA sostenible a l'hora de pensar en la sostenibilitat de la intel·ligència artificial.

Al seu llibre *L'Actitud Hacker* (2024), Carlo Milani proposa la idea de *tecnologies conviviales*, les quals es fonamenten sobre la idea de *convivialitat* d'Ivan Illich (1973). Aquestes serien tecnologies d'escala petita i local, que no requeririen delegació tecnocràtica per a la comprensió del seu funcionament permetent d'aquesta manera la sobirania tecnològica de l'usuari. En aquest sentit, les línies d'investigació del CTTC semblen tendir cap a un d'aquests principis. Tot i que es manté la delegació tecnocràtica, hi ha una reducció de l'escala i una distribució que habilita l'autonomia i la sobirania col·lectiva, defensant, doncs, una gestió més democràtica d'aquestes tecnologies.

Paolo: “Fent-ho distribuït ho controles directament tu, que és una cosa força important i la manera en la qual la persona interacciona amb la IA és més controlada per la mateixa persona. No és que et posen directament el xatbot, ets tu qui pots decidir”.

Per últim, el col·lectiu *Ecologistes en Acció* ha estat treballant en la línia propositiva de les tècniques humils, les quals s'alineen amb una prospectiva decreixentista (Almazán et al., 2024). Aquestes intenten capturar les diverses dimensions que s'han de tenir en compte a l'hora de pensar una tecnologia (o més ben dit, tècnica) que ens acompanyi en la transformació ecosocial com ho és la qüestió de l'escala, els valors democràtics, el disseny o la seva adequació politicocultural, entre d'altres. Es tracta d'un plantejament que s'entrecruea i es fonamenta amb els marcs teòrics esmentats anteriorment de Gaia, la convivialitat i l'ecodisseny. Tot i això, i, a diferència de la proposta de Milani, aquesta és menys flexible en relació amb quines tècniques es poden considerar com a humils, per la qual cosa és difícil que la IA es pugui encabir en la seva definició.

Algunes de les indicacions que aquestes proposen són la seva capacitat per a reinserir-se en els cicles ecosistèmics a partir d'una estructura biomimètica que consideri els materials que s'utilitzen, el tipus d'energia o el mateix disseny. Es tractaria de tecnologies, doncs, que siguin funcionals als mateixos ecosistemes seguint les dinàmiques de circularitat que els caracteritzen i que, per tant, s'inscriguin de forma simbiòtica en un marc Gaià. Tècniques que es comprometin més amb l'observació i la contemplació que amb el control (p. 18).

Per altra banda, també emfatitzen la rellevància de la dimensió democràtica possibilitada en part per una escala més petita, però també per un disseny que no busqui el benefici sinó la reparabilitat i la centralitat de qui utilitza la tècnica i per una cultura que promogui la decisió col·lectiva sobre quines tècniques són necessàries i quines no.

ANNEX 3

Transcripció de l'entrevista

Entrevista feta a Paolo Dini i Marco Miozzo, investigadors de la unitat de recerca *Sustainable Artificial Intelligence* del Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya.

- **Qui sou?**

Paolo: Nosaltres som una unitat d'investigació del CTTC, que és el Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya. És una fundació dins del ventall CERCA (Centres de Recerca de Catalunya) i hem nascut fa tres anys, és a dir, som molt joves encara com a àmbit d'investigació. Amb la reorganització interna del centre han decidit començar amb aquesta unitat de la sostenibilitat de la intel·ligència artificial. Mirem de quina manera la intel·ligència artificial pot tenir un benefici social, és a dir, lligada a determinats serveis i aplicacions, i a la vegada que tingui una petjada de carboni prou baixa. D'aquesta manera, tenim un doble vessant, és a dir, per una part ens dirigim cap a allò que pugui tenir cert interès social (que per nosaltres també és sostenibilitat) i per l'altra part intentem fer la intel·ligència artificial més sostenible en l'àmbit ambiental.

- **Pel que fa al benefici social, quina recerca feu?**

Paolo: En aquest sentit, on veiem major aplicabilitat és en l'àmbit de les ciutats intel·ligents, és a dir, gestió del tràfic, gestió de residus, creació de xarxes comunitàries d'energia

principalment renovables, gestió de la qualitat de l'aigua (encara és un àmbit molt inicial) i gestió de la qualitat de l'aire especialment dins de ciutat. Hem començat tot i que encara estem molt verds. També una alta part que treballem són els cotxes intel·ligents per al control de tràfic i així evitar col·lisions. Això és el que estaríem treballant ara mateix i també ho estem intentant estendre en l'àmbit de la salut.

En aquest sentit, ens agradaria treballar més en la part de diagnòstic i anticipació de possibles malalties. També la possibilitat de monitorar a través de dispositius quotidians per a persones que ja tenen una patologia, que es pugui fer una sèrie de seguiment sense ser massa invasius.

- **Com aconseguiu aquest enfocament interdisciplinari en la vostra recerca?**

Paolo: Al grup tenim perfils molt diferents. Per exemple, el Marco i el Jordi tenen formació en telecomunicacions. Després tenim altres persones que són informàtics. Un altre que ha treballat molt en la part del control de les xarxes d'energia. També hi ha un noi, l'Anton, que s'encarrega de tot el que és visió per computador. L'Ibrahim s'encarrega més del *hardware*. Jo, que soc el coordinador del grup vinc de la branca de sistemes, controls, etc. Així que intentem tenir un ventall ampli per tractar diferents temes. El que ens agradaria en un futur seria ampliar una mica més el vessant ambiental i ho intentem fer a través de la unitat de geomàtica, que tenen un perfil tècnic però orientat al monitoratge ambiental. En aquest grup treballen molt amb l'aigua, la vegetació, estimació de la petjada de carboni, etc.

- **Per a quin tipus d'IA va adreçada la vostra recerca?**

Paolo: Treballem molt amb sensors, ho anomenem "sistemes ciberfísics", perquè capturem senyals i ho portem al món digital per a poder analitzar si l'entorn que estem monitorant té algun problema o si es pot optimitzar d'alguna manera. No és un sector que estigui ara de moda com LLM. Nosaltres som crítics amb aquest tipus de models, ja que creiem que la IA no ha d'anar cap a un sentit generalitzat, sinó més aviat hauria de ser especialitzada i en qualsevol cas reconfigurable, remodelable, etc., no un gran ordinador que pugui fer grans càlculs.

Respecte a la IA generativa, utilitzem alguns dels seus principis per a, per exemple, extreure patrons de forma més acurada, però no fem servir aquests tipus de models.

- **Què enteneu per sostenibilitat?**

Paolo: La nostra definició de sostenibilitat inclou els tres pilars: social, ambiental i econòmic. Per a nosaltres el tema seria trobar un equilibri entre els tres. L'ús es podria donar en

determinats casos, en determinades aplicacions de tal manera que es pugui obtenir un benefici per a la societat i, per altra banda, generar riquesa. Això des d'un punt de vista molt general. Des del nostre punt de vista, no totes les aplicacions són prioritàries com ho són d'altres. Per això, ens intentem enfocar cap a un cert tipus d'aplicacions i no d'altres.

- **I quines aplicacions serien aquestes?**

Paolo: Sobretot la part de sensors aplicada a ciutats intel·ligents, optimització del transport, salut, aigua, etc.

Marco: Sota els objectius de desenvolupament sostenible.

- **Podríeu esmentar un cas en concret sobre el qual heu treballat?**

Paolo: Predicció del tràfic. Hem fet un estudi amb sensors que estan ara a la ciutat de Barcelona i altres ciutats per a predir el tràfic que es podria calcular dins de determinats trams de la ciutat. No només això, sinó que ho hem fet d'una forma més eficient. Hem intentat fer un model més adaptatiu que es pugui anar passant entre els diferents sensors sense haver de dependre de grans emmagatzematges de dades, memòria per a tenir el model, etc.

- **Busqueu una gran precisió dels models a la vegada que siguin eficients energèticament. Tinc entès que els models que aconsegueixen una gran precisió acostumen a demandar més energia. Com encaixa això en la vostra recerca?**

Marco: Estem intentant treballar amb models diferents. Ara fa deu anys que va començar la recerca al voltant de les GPU i, per tant, la idea de models que requerissin més dades. En canvi, hi ha paradigmes que són més lleugers com els que se centren en el funcionament del nostre cervell (brain inspired) que no són tan digitals i es queden més en la part analògica. En aquest sentit, no es consumeix tanta energia. Una altra línia de paradigma és el *Physic Informed*, que no es tracta de fer funcionar amb les dades així a força bruta, sinó que es tracta d'aplicar el que sabem de la física al problema. Llavors, l'algoritme no ha d'investigar a cegues, sinó que s'ajuda a partir de les lleis de la física per anar a la solució. Per tant, pot aprofitar millor les dades, utilitzar-ne menys i conseqüentment fer servir menys energia.

Sobretot posem èmfasi a treballar una mica més les dades. En comptes de fer servir totes les dades, intentar fer servir les dades més útils per l'algoritme. A l'hora de dur-ho a terme, per exemple, si sabem que hi ha sensors que estadísticament han aportat dades semblants, agafem dades només d'un sensor i no de tots. En el cas dels cotxes, és probable que sensors situats en una mateixa carretera ens aportin dades semblants.

Paolo: Un dels problemes més contundents dels LLM és justament que no tenen en compte la redundància de les dades, és a dir, ho agafen tot i, per tant, hi ha molta informació que es repeteix i que fins i tot embruta l'entrenament dels models. Tot i això, a escala de congressos, *workshops*, comencen a haver-n'hi més que parlin d'eficiència, sostenibilitat, etc. Fa 5 anys, quan vam començar amb el tema que no hi havia quasi ningú que ho feia, així que creiem que la consciència respecte al tema ha augmentat.

- **Per què creieu que s'hauria pogut donar aquest augment de consciència?**

Marco: Probablement per un problema real i és que s'ha començat a veure com centres de dades a Irlanda, EUA, etc. han tingut problemes i consumeixen molta energia, aigua (fresca, bona), etc. I en general a la premsa comencen a sortir més coses.

Paolo: Jo crec que el *mass media* fa molt més èmfasi en la sostenibilitat. Ha sortit que aquests centres de dades consumeixen molt i, a la vegada, la mateixa indústria s'ha adonat que és insostenible seguir d'aquesta manera, perquè els costos energètics són molt elevats i no es poden sostenir. Llavors, s'ha de trobar alguna altra manera de dissenyar la intel·ligència artificial perquè és insostenible també econòmicament, que és una altra dels vessants. També la indústria està fomentant en l'àmbit econòmic projectes d'investigació sobre aquest àmbit.

Marco: El problema està en el fet que és insostenible per la indústria, però sostenible per una petita part que conforma aquesta indústria que són les *Big Techs*, que ho poden resistir econòmicament. Això provoca una bretxa tant en l'àmbit d'investigació com en la inversió. Molta gent no té recursos per a investigar sobre LLM, i per això suposa un problema d'equitat. Perquè per a nosaltres com a centre, investigar sobre LLM és impensable. Així doncs, pot generar un problema d'equitat en el futur, perquè qui podrà fer servir aquesta IA podrà continuar fent coses més avançades que les altres persones sense els recursos no podran.

- **Hi ha algun centre que potser tingui més recursos i sigui referent per a vosaltres?**

Paolo: Aquí a Barcelona està el Barcelona Supercomputing Center que ara mateix tenen un establiment al Mare Nostrum amb una part quàntica. No em sembla que el vessant sostenible sigui tan central per a ells. Hi ha un grup molt poderós a escala de producció científica de la part de l'ús de la intel·ligència artificial per al canvi climàtic. Fan coses de sostenibilitat de la IA, però pel que conec no tan encara. Per això han començat pel vessant quàntic, que és clarament més eficient, però té altres problemes com la temperatura d'ús del computador quàntic que és gairebé el 0 absolut i que presenta altres problemes a l'hora de sustentar

aquest tipus de maquinària. És molt eficient, però dubto que es puguin tenir diversos centres d'aquest estil.

Hi ha també un grup de la UPC que fan informàtica (enginyeria de *software*) per a IA de tal manera que el *software* consumeixi menys. Considero que és una part molt important perquè hem vist en els nostres experiments que compta molt com escrius el codi per a fer-li fer els càlculs a l'algoritme. Llavors és un altre grup que també estan enfocats en aquest sentit tot i no tenir els recursos del BSC. Nosaltres no anem en la direcció del BSC. Intentem utilitzar menys el centre de dades i fer computació més local i en dispositius més petits que puguin col·laborar entre si.

Marco: A escala internacional tampoc és que hi hagi massa cosa. A mi em consta que hi ha el laboratori de *Hugging Face*³⁹, que té un departament de sostenibilitat bastant fort. És un repositori d'intel·ligència artificial oberta. Concursos, congressos, etc. per fer IA més sostenible.

- **Vosaltres tracteu l'eficiència en el *software*?**

Marco: No tan directament, busquem més l'eficiència en l'algoritme.

Paolo: Clarament, dissenyem *software*, però no és allà on posem l'èmfasi.

- **També mencioneu que l'aprenentatge descentralitzat és una de les vostres principals àrees de recerca. Quina és la infraestructura necessària per a dur això a terme?**

Marco: A veure, al parlar de distribuït no només s'aplica per sensors, de vegades també pot ser que hi hagi un petit centre de dades en cada barri. *Braininspired* o *Physic Informed*, per exemple, és una manera de fer l'algoritme d'IA més lleuger i que pugui funcionar en el sensor directament, perquè el sensor té poca energia i poca capacitat computacional sobretot, tenen un processador molt petit. El problema llavors és com dividir l'aprenentatge entre els diversos sensors.

Cada sensor fa el seu aprenentatge i al final s'ha de posar en comú tots els aprenentatges i dels diferents models que en surti un. Això es pot donar directament al sensor o a partir de petits centres de dades que hi ha en cada barri o on sigui, estan a tot arreu, avui en dia un fanal pot tenir un processador petit.

³⁹ <https://huggingface.co/akinlabs>

- **Per tant, la infraestructura serien els sensors, els centres de dades, i a l'hora de realitzar el model comú què es necessitaria?**

Paolo: Es necessita una infraestructura de comunicació per a poder enviar informació entre sensors o entre petits centres de dades (pot ser un ordinador) i fa falta internet (sense cables o cablejat) perquè s'ha d'intercanviar les dades.

Sempre intentem minimitzar la quantitat de dades que s'intercanvien per tal de reduir el consum d'energia i no necessitar grans xarxes. A nosaltres ens agrada dir-li "intel·ligència col·lectiva" perquè cada dispositiu pot parlar i formar part del procés d'aprenentatge i crear la intel·ligència artificial conjuntament amb els altres sense necessitat o, parcialment, de tenir un gran centre de càlcul on es fan totes les operacions i on s'han d'enviar totes les dades. És una cosa que normalment no apareix en els números de consum d'intel·ligència artificial, perquè es dona per fet que totes les dades es troben ja al centre de càlcul i no és així. I més si considerem sensors distribuïts per tota la ciutat, perquè aquests sensors han d'enviar totes les dades cap allà, i això clarament té un cost de consum de xarxa i d'operacions de la infraestructura de xarxa que no es calcula. Llavors és tota la infraestructura TIC que també s'ha de tenir en compte. Com menys dades millor.

Marco: La infraestructura és la mateixa que el paradigma que hi ha ara, però el que fem és intentar reduir on arriben les dades, perquè així també millores la privacitat de les dades i, per tant, de les persones.

- **Com es calcula el consum energètic en el cas de la transmissió de les dades?**

Marco: Normalment, fem servir models que ja són presents en articles. Sovint, hi ha una antena, que transmet a una certa potència i en funció de la quantitat de dades saps quanta energia consumeix. Menys dades, menys energia. Per això la selecció que hem mencionat abans i no arribar fins al centre de dades.

Paolo: Anteriorment, hem treballat en com fer més eficient aquestes xarxes de telecomunicacions, així que també tenim una trajectòria de sostenibilitat per a les telecomunicacions, és a dir, tot el que és el món digital que també consumeix.

- **Comenteu mètodes per a millorar l'eficiència dels models ML: *Knowledge Transfer Learning, Meta-learning i Continual Learning*. Podríeu explicar breument en què consisteixen i els avantatges i inconvenients de cadascun segons el vostre parer?**

Paolo: Són tots paradigmes que s'utilitzen per aprofitar el coneixement d'un dispositiu i transferir-lo a altres, de manera que el model es vagi adaptant cada vegada que tingui noves experiències i que sigui prou elàstic per a tenir en compte les noves experiències sense perdre el coneixement anterior. D'aquesta manera fas que el model no creixi, sinó que es manté amb una capacitat limitada a la vegada que vas introduint la nova informació. En aquest sentit, es diferencien dels models LLM, que tenen un nombre de paràmetres molt gran. Aquí el nombre de paràmetres és molt menor en comparació amb aquests, però permeten mantenir el model petit sense perdre la nova informació que va arribant.

Per a entendre-ho, tu tens un model que té x número de paràmetres i el vols mantenir així. Per a fer-ho, aquestes tècniques permeten adquirir nou coneixement mantenint el nombre de paràmetres.

Marco: Fem servir aprenentatge passat també per altres tasques que estiguin relacionades. Normalment, abans el que feien amb la IA era començar des de 0. El que ha fet Deep Seek, és això, és a dir, ha agafat OpenAI, però l'ha fet més petit i més eficient. Es tractaria de Transfer Learning.

Paolo: És una mica el que fem nosaltres els humans. Si a un nen li dones una bicicleta sense pedals, quan agafi una bicicleta amb pedals ja tindrà un coneixement previ que li permetrà no començar de 0. En aquest sentit, moltes coses que fem tenen un vessant biològic, ja que ens inspirem del mateix comportament humà però també del comportament animal.

- **Des de la desconexió intuïria que al ser un coneixement acumulatiu consumiria més energia...**

Paolo: Realment no perquè les tasques estan relacionades. Si hi ha una relació, no hi ha aquest augment de consum, perquè no comences de nou. Evidentment, es tracta de tècniques que encara s'estan perfeccionant, però que s'han d'explorar per tenir una IA més sostenible.

- **Una de les tècniques que també mencioneu és el *Federated Learning*, en què consisteix?**

Paolo: Aquesta és una tècnica que nosaltres posem molt èmfasi perquè és una manera en què no s'envien les dades, sinó el model directament; els paràmetres. Així, assegurem privacitat, ja que les dades no es mouen, a la vegada que reduïm el consum energètic perquè en tenir el model ens podem desfer de les dades i, per tant, evitar utilitzar emmagatzematge, i també la transmissió és molt menor perquè els paràmetres són menys informació que les

dades. Aquesta és una part que nosaltres veiem molt “green” juntament amb el *Transfer Learning*, *Continual Learning*, etc.

- **També introduïu la tecnologia *Blockchain* en qüestions de seguretat i comunicació. Tinc entès que aquesta tecnologia depèn de la mineria i aquesta comporta un gran consum energètic. Com encaixeu la introducció d'aquesta tecnologia dins de la perspectiva d'IA sostenible?**

Paolo: Això ve arran d'un projecte que vam tenir. El problema que ens diuen sovint sempre que parlem d'aquesta “intel·ligència col·lectiva” és el fet que podria ser molt més insegura, perquè és més vulnerable a possibles intrusos, hi ha més punts d'atac, etc. Llavors, vam començar a estudiar la tecnologia *Blockchain* al voltant d'aquesta problemàtica de la seguretat. A més, també volíem estudiar el consum energètic d'aquesta tecnologia. Després de realitzar l'estudi, vam descobrir que consumeix una barbaritat. Per tant, des d'allí, l'hem intentat substituir amb altres tipus d'algoritmes que puguin detectar si la informació que t'ha d'arribar des d'un dispositiu que formi part d'aquesta “intel·ligència col·lectiva” és de fiar o no. Aquesta és un altre vessant interessant per a la sostenibilitat de la IA, perquè sostenibilitat també inclou la confiança i la seguretat en la informació. La ciberseguretat és una capa més d'infraestructura que costa a escala energètica, per tant, estem avaluant de quina manera es poden integrar els paradigmes mencionats anteriorment (*Continual Learning*, *Reinforcement Learning*, *Federated Learning*, etc.) de manera que es pugui compactar del tot, i es pugui reduir el consum energètic a causa de la seguretat d'aquesta intel·ligència col·lectiva. Tot i això, encara estem en procés.

- **Vosaltres us guieu pels principis “Green AI”:**

1. **Electricitat verda** → ús d'energies renovables al llarg de tota la cadena de valor.

- **És possible que una IA només depengui d'energies renovables durant tota la seva cadena de valor?**

Marco: Possible és, el tema és que no sempre es pot fer. El problema està en quanta energia necessitaràs, perquè si necessites tota una macroinstal·lació de plaques fotovoltaïques per al teu centre de dades no té massa sentit. Hi ha d'haver prioritats en l'ús de l'energia.

Recentment, OpenAI i Microsoft van comprar una central nuclear. L'energia nuclear la venen com a “verda” (en el marc europeu no està recollida com a verda). Tenint en compte les prioritats en l'ús de les IA, tampoc cal fer servir tota l'energia renovable per fer servir una IA. La idea en tot cas seria més reduir l'ús.

Paolo: Aquí sorgeix la problemàtica de voler créixer indefinidament en un planeta finit. Llavors, amb això, tu pots fer les coses més eficientment, i fer-la funcionar amb dispositius més petits, i potser amb petites plaques solars, però si aquestes són un número infinit, doncs evidentment no és possible. De la mateixa manera que no es pot pensar que tots els serveis seran digitals i gestionats per la IA. Sí, la IA pot fer més eficient la indústria, però igualment estàs fent un traspàs de la càrrega energètica a la computació de la IA. Llavors s'ha de tenir sempre en compte que hi ha un límit i, per tant, prioritzar els serveis als quals volem donar energia i quins no, però això ja es tracta d'un tema més polític.

- **Per tant, tracteu que la vostra font d'energia sigui verda en les vostres investigacions?**

Paolo: Sí, de fet hem escrit un projecte i volem continuar treballant en això per a fer funcionar la IA en dispositius sense bateria directament. Per exemple, si es tracta de sensors que estan en un pont, que puguin recarregar-se per la vibració que produeixen els cotxes quan passen. O si reben llum, que puguin recarregar-se a partir d'una placa solar. D'alguna manera, que puguin fer computació recollint l'energia de la qual poden disposar on es troben, que és molt poca, però almenys que part de la computació la puguin fer així i que llavors altra part de la computació la puguin fer altres dispositius de la IA col·lectiva.

- **Per tant, no és un dels principals àmbits de recerca?**

Paolo: En part sí, perquè és la base del disseny. Nosaltres volem dissenyar algoritmes que ja estan previstos per funcionar amb energia que pot ser variable, intermitent, no fiable, etc. Però no dissenyem l'energia renovable en si.

- **Clar, aquest era un altre tema, si seguim en la línia de les energies verdes, com encareu el problema de la intermitència?**

Paolo: Això ja ho vam tractar anteriorment, però la qüestió està en el fet que quan tens més dispositius geolocalitzats en diferents zones, també augmenta la probabilitat que tinguis possibilitat de fer computació en més d'un lloc. Llavors has de controlar el sistema perquè quan s'hagi de fer una computació, que hi hagi una part que la pugui fer el dispositiu que està sota la llum, per exemple. Complica el problema, però es pot tractar.

D'alguna manera és predictiu o es podria arribar a predir quan és intermitent aquesta energia. Tu pots arribar a pensar que, en un moment determinat, la llum estarà allí, per la qual cosa, en aquest temps, la computació la farà aquesta part de la xarxa i si no la farà l'altra. És aquesta idea de la xarxa intel·ligent.

- **Davant la tendència a l'alça de la inversió en IA a tot el món, com poden encaixar les energies renovables en aquest escenari? Com podrien suplir la demanda?**

Marco: No es pot. Falta recursos per fer tantes plaques solars. És inviable avui en dia.

2. **Reutilització en la cadena de valor** → múltiples usos del *hardware*, *software*, models d'IA i de les dades al llarg de tota la cadena de valor.

- **Existeix la possibilitat de *hardware* biodegradable?**

Paolo: Sí. En el projecte del qual parlàvem abans de fer càlculs en dispositius sense bateria també estava prevista la possibilitat d'utilitzar material bio o reciclat i veure de quina manera la computació és eficient i precisa amb material que no sigui silici, etc. Hi ha molt poca investigació encara en aquest aspecte i s'estan utilitzant per a altres tipus de coses, però per a computació hi ha molt poca cosa.

Marco: El problema està en el fet que la tecnologia amb material compostable o bio no és tan precisa com la de silici. S'ha de fer una coordinació entre el *software* i el *hardware* perquè les dues coses puguin funcionar bé. El *software* ha de ser dissenyat tenint en compte que el *hardware* no serà tan perfecte com esperem. Hi pot haver algun error, hi pot haver soroll i que els paràmetres es puguin perdre en certa manera, etc. Però sí, es pot fer servir igualment la tecnologia tenint aquestes problemàtiques en compte.

- **I quin tipus de materials serien aquests?**

Paolo: Crec que utilitzen material metàl·lic, però ho desconec. Algunes lliges metàl·liques que són més fàcilment reciclables i també crec que fan servir fusta o part de la fibra de la fusta. Tot i això, hi ha un procés de creació que es fa amb electrònica impresa que és menys invasiu químicament que altres processos de fabricació. En el projecte esmentat vam col·laborar amb una altra empresa que es dedicava a la part del *hardware*.

- **Com es poden allargar els usos? De què depenen?**

Marco: Si el model és més petit i hi ha menys computació, llavors podràs fer servir el *hardware* per més temps. El problema amb els programes d'avui en dia és que els models creixen molt, la complexitat computacional també creix, i s'ha de fer un canvi d'unitat computacional molt sovint. Les GPU s'han d'anar canviant cada any o cada dos anys com a molt. En canvi, si pots reduir la capacitat computacional, el canvi es donarà menys sovint i també pots reutilitzar la GPU que altres empreses no fan servir a causa d'aquesta complexitat computacional. En aquest sentit, pots allargar la vida, i no sé si parlar de circularitat.

Paolo: Jo crec també (no tinc les dades), que com més computació i més calor es produeixi, més dissipació de calor és necessària, i si no es fa bé aquestes GPU es trenquen. Per tant, limitar la computació implicaria que aquestes GPU es puguin trencar menys.

- **Qüestió de la “E-waste” o brossa electrònica. Què fem amb ella?**

Paolo: Aquí el problema més gran és que sent tot molt integrat, una vegada que tot això finalitza es llança. És molt complicat separar els materials. Per a mi la part on s'hauria d'invertir més seria en investigar de quina manera es poden reciclar aquests tipus de materials, la qual cosa no es fa que jo sàpiga. Després també, és fonamental allargar la vida el màxim possible. Fer els dispositius de material bio també, però sobretot, allargar al màxim. La qüestió de la *e-waste* és un gran problema, produïda ja per tota la part digital, electrònica, si ara hem d'afegir tots els processadors que es llancen perquè ja no funcionen més, la *e-waste* es doblarà. La *International Telecommunication Union* (ITU) - àgencia de les Nacions Unides especialitzada en les TIC -, va publicar un informe el 2017 on l'estimació era 4.500 torres Eiffel de brossa electrònica a l'any⁴⁰. Clarament, hi ha hagut un creixement exponencial en part degut a les noves tecnologies d'IA que han fet créixer una barbaritat aquesta part del cicle.

Reparar també és una part que tampoc es toca, fer estructures més modulars. Com a exemple, jo tinc un *Fairphone* que és un mòbil que està parcialment fet amb material reciclat, tota la part en plàstic és reciclat. I internament està fet amb una arquitectura modular, de manera que si se't fa malbé una peça, pots canviar només la peça i no has de llançar tot el mòbil, i això en certa manera va en la direcció de decreixement quant a la brossa electrònica. Si es pogués fer això amb components més interns com el processador seria ja un gran avenç. Perquè el processador no és només una cosa, sinó que hi ha la memòria, hi ha la part que fa càlculs, tota la part de distribució de la informació, etc. Si es pogués fer de forma modular, que si es trenca la unitat de càlcul en si es pogués substituir per una altra seria genial. No és una línia d'investigació, però, perquè és més la part de *hardware* que no portem.

- **Coneixeu algun grup que la porti?**

Paolo: Ho desconec.

3. Petjada de CO₂ transparent → Indicar emissions CO₂ del *hardware* i del *software*.

⁴⁰ <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Toolbox/Global-E-waste-Monitor-2017.aspx>

- **Quines eines convenen per aquestes mètriques? Què es mesura del hardware?
I del software?**

Paolo: N'hi ha unes quantes. Encara no existeix un estàndard. És un problema que plantegen aquests principis, a partir de què es comença? El nombre de paràmetres podria ser un. Però el nombre d'operacions que has de fer podria ser un altre. No sempre són directament proporcionals els uns amb els altres. De fet, estem just ara estem escrivint un article on el nombre de paràmetres és molt més alt que el nombre d'operacions requerides, pel que consumeix menys. Segons el tipus d'operacions si és més complicada consumeix més. Després també està quant consumeix en watts, que és on podem trobar un cert consens entre tots. És la més completa, però és complicada de mesurar. Perquè no existeixen massa coses amb les quals puguis mesurar el consum d'un ordinador. Ara estan sortint algunes llibreries *software*, que et permeten fer-ho en determinats tipus de *hardware* i aquesta sí que seria una línia d'investigació nostra. De fet, fa poc que hem comprat un aparell que mesura l'energia consumida a escala computacional.



Fig. 1. Aparell per mesurar el consum energètic del servidor. Fotografia pròpia.

A nivell *software* intentem veure els diferents components i a partir d'aquí ens fem una idea de quant pot pesar l'algoritme, quina és la part corresponent a la memòria, l'emmagatzematge, la computació en si, en quin processador es farà la computació, etc. Llavors aquest és un àmbit força obert perquè mesurar el consum d'energia no té un estàndard.

També acostumem a posar les dades que utilitzem; quantes dades hem de comunicar als diferents agents i estimem quanta energia podria estar costant per a tenir un consum total de l'algoritme distribuït que tenim.

- **Com es mesura la petjada d'un centre de dades?**

Paolo: A veure, tot el que hem estat parlant fins ara és la part operativa, és a dir, d'operacions. En qualsevol centre de dades paguen l'energia, per tant, es pot saber. Després hi ha la part de construcció (*embodied* o "encarnada"), que és la part de *hardware* en si que és complicat de mesurar.

Marco: Inclou la part d'extracció de materials, producció, transport.

Paolo: És molt complicat i crec que en aquest sentit s'hauria de fer més per sector, perquè segons el material depèn d'un cert tipus d'extracció que ve de determinats països, llavors es requereix un transport concret. L'energia d'aquell país potser utilitza un tipus o l'altre de generador, etc. És molt complicat. El centre de dades en si, crec que s'hauria de fer públic. Podria començar el BSC amb el nou "monstre" que tenen de manera que tot el món sàpiga quant consumeix.

Estaria bé que als mòbils també hi hagués alguna cosa que ens digués quant estem consumint pel que fa a dades, energia, quanta estona el carreguem, etc. Estaria bé també veure-ho per cada app. Estaria bé descentralitzar-ho perquè cada persona pugui ser conscient de quant està consumint. Jo crec que la transparència i el fet que sigui públic, sobretot les entitats que són públiques ajudaria a fer que es passés més el missatge i que no sigui el de la intel·ligència artificial salvarà el món.

- **Creieu que seria necessari un mètode comú per a poder comparar els resultats de forma fiable? Ajudaria a fer que les grans tecnològiques oferissin més transparència i uns resultats més ajustats al consum real?**

Paolo: Just ahir vaig veure en *LinkedIn* que el director d'IA d'EPFL, a Laussanne, criticava tots els números que s'estan donant de quant consumeix la IA generativa, i deia que

consumeix molt més una dutxa al dia de 3 min o 5 min que un ús de 10 vegades al dia del ChatGPT. Clar, això com ho has calculat? Tampoc està escrit. Les dades són en certa manera falses, ja que no pot ser que consumeixi més una dutxa que l'ús del ChatGPT. De tant en tant surten aquests números perquè no hi ha un estàndard per a mesurar-ho.

Llavors segurament sí que si hi hagués aquest estàndard les grans empreses podrien ser més transparents.

- **Creieu que és possible?**

Marco: Avui en dia, crec que anem per un altre camí, justament cap a menys transparència. Sobretot per part dels EUA amb l'arribada de Trump al poder. Europa sí que estava intentant fer un ús de la IA més ètic i també en el sentit energètic. Però clar, no sé com estem ara perquè els EUA ho està movent tot per una altra banda, sense cap mena de regulació. I llavors, no és fàcil perquè caldria una entitat forta que s'ocupés d'aquests temes. O cal que els consumidors també agafin consciència, per exemple, si ChatGPT no em diu quant consumeix jo no el faig servir. Això podria ser una opció, ja que ja estan sortint altres alternatives a ChatGPT com GreenPT, que sí que et diu quant consumeix cada pregunta, a més que intenten fer-ho a partir d'energia renovable i models més petits. Clarament, segur que ChatGPT funcionarà millor, però aquí està la decisió, utilitzo ChatGPT que em donarà una millor solució, però no sé quanta energia consumeix, o faig servir GreenPT que sé que consumeix menys i també sé la quantitat.

Paolo: Aquesta és una manera, encara que sí que és necessari tenir un estàndard per mesurar la petjada de carboni. Sobretot en l'àmbit digital que presenta força opacitat. És necessari. Estaria bé poder-ho fer amb tota la cadena de valor, des de la generació del material o, si volem separar-ho, comencem per la part operativa almenys. Reforçat pels polítics.

Marco: Als polítics els agrada veure exemples que funcionin. Per exemple, amb el model del Fairphone s'ha creat una directiva perquè els mòbils durin almenys cinc anys i es puguin intercanviar un cert nombre de peces. Fairphone ha pogut créixer perquè hi havia gent que apostava per un mòbil diferent. És tot una concatenació. D'una part seria la part industrial i la legislativa, i d'altra el consumidor. Està tot relacionat.

Paolo: De tota manera, si la UE posa finançament en aquests temes, estic segur que hi ha molts grups que es posaran a investigar. Al final el finançament és el que mou l'interès. I llavors, ja es crearien possibilitats, models, petits prototips que funcionen com en el cas de

Fairphone (tot i que aquesta és una iniciativa privada). Sobretot si la UE es vol desmarcar dels EUA, podria intentar seguir en aquesta línia i impulsar la investigació al voltant de com es podrien fer aquest tipus de mesures.

4. Fer a mida → adaptar el *hardware* i el *software* a les necessitats i reduir tot allò que no és necessari a l'hora de modelar, entrenar o operar (fer funcionar).

- **Com s'aplica aquest principi per IA dissenyades per a resoldre multiplicitat de tasques?**

Paolo: Abans de tot, per què hem de dissenyar una IA que ho pugui fer tot? No li veig el sentit. També a nivell lògic. I després diria que, abans de tot, si ho vols fer, que almenys les tasques estiguin relacionades entre si, perquè si vols que resoldre una tasca en concret i després una altra que no tingui res a veure és complicat. De fet, hi ha una branca d'investigació que es diu "Unlearning" que bàsicament busca fer oblidar coses a aquests grans models per tal de comprimir-los i fer-los fer una tasca en concret. I llavors clar, entrena'l perquè faci aquesta tasca. Normalment et diuen: *perquè ja està entrenat*. I sí clar, però desentrenar-lo és un altre procés que no surt gratuït i són models molt complexos, amb bancs de memòria molt grans... No s'entén internament tampoc per què funcionen així, llavors és complicadíssim fer aquest tipus de coses. Nosaltres ho enfoquem de forma més vertical, és a dir, volem fer això, d'acord, si aquesta altra tasca està relacionada ho afegim. És a dir, funcionem al revés que aquests grans models, partim des d'una escala petita a veure fins on podem créixer, no al revés.

- **Al final és una mica aquest imaginari de pensar que tot és il·limitat i que, per tant, com ho podem tenir tot, també tinguem grans models que ho puguin fer tot... és aquest imaginari del progrés tecnològic.**

Marco: Sí, hi ha molt tecnooptimisme, tot funcionarà bé amb la tecnologia.

Paolo: Millor! Funcionarà millor!

- **Sou crític amb aquest discurs?**

Paolo: Jo sí

Marco: Sí, sí.

Paolo: De fet, crec molt en la humanitat, en la capacitat de l'ésser humà. Un dels problemes que serien molt interessants, dels quals s'ocupa la neurociència, és justament veure com van canviant amb el temps les habilitats i capacitats humanes a causa de l'ús de tanta tecnologia. A mi m'agrada la tecnologia, he estudiat això, m'agrada la IA, el concepte general és molt

bonic, també em permet veure com funcionem els humans perquè agafem moltes coses de la biologia. Però a la vegada tampoc crec que puguem solucionar tots els problemes amb la tecnologia. Jo començaria pels problemes físics, en el sentit de la física com a ciència, els altres ja... Per això, m'ha agradat que hagin donat el premi Nobel de l'any passat a aquests dos físics (Hinton i Hopfield) que van inventar la xarxa neuronal, perquè és un premi de física, exclusivament. No estem parlant d'altres coses, és un àmbit de la física.

5. Models d'IA optimitzats → es busca una arquitectura optimitzada i models d'IA que s'adscriuïn a casos específics d'ús.

- **Què fa que una arquitectura sigui optimitzada?**

Marco: Per a nosaltres, models que requereixin menys paràmetres i que, per tant, permetin més eficiència. Amb un model genèric requereixes molts paràmetres i sovint no saps si la solució és correcta perquè és molt difícil explicar per què dona una solució o una altra, juntament amb tots els problemes de bretxa digital que clarament creixen. Com més acotat el problema millor.

6. No a les duplicacions → permet la transparència i habilita la reutilització del codi.

- **Els centres de dades tenen duplicats de les dades per motius de seguretat. Des de la perspectiva sostenible, com es planteja aquesta problemàtica?**

Paolo: Les dades normalment estan en centres d'emmagatzematge i segurament tenen còpia de seguretat, et diria que deuen ser més de dos. A més, aquestes dades si després les vols per entrenar un model, es duplicaran perquè s'hauràn de tenir també per a l'entrenament d'aquest model. Llavors, el problema és justament totes aquestes dades que es volen utilitzar per a l'entrenament, que requereixen un emmagatzematge molt gran per tenir-les allà, per guardar-les, per evitar pèrdues, per si algú t'ho roba que puguis tenir el back-up o alguna cosa que et garanteixi recuperar-ho, etc. Com menys dades necessitis millor.

Per tant, la qüestió se centra més en aquest sentit, utilitzar menys dades, *Federated Learning*, que permet obtenir directament el model i no haver d'emmagatzemar dades, etc. És a dir, la seguretat és un aspecte que s'ha de tenir en compte i sempre t'afegirà una capa de consum més, però s'ha de tenir. És un altre eix que t'afegeix complexitat perquè aporta redundància, però és necessari.

7. Codi verd → programar codi de la forma més eficient possible.

- **Què implica codificar de forma eficient?**

Paolo: D'això se n'ocupen un grup de la UPC principalment. Jo no soc un enginyer de *software*, però quan dissenyes un codi, es llegirà la memòria, on estan les dades, les variables, es faran cicles, etc. Llavors minimitzar el nombre de cicles, minimitzar les lectures i escriptures de la memòria, etc. fa que tot això minimitzi el nombre d'operacions i consegüentment el consum energètic. Crec que tot el que es fa va en aquest àmbit i coses més complexes, perquè això és la part més bàsica que et puc dir dels estudis que vaig fer d'una assignatura de programació. Però es parlava d'això, instruir la màquina de tal manera que faci el menor nombre d'operacions possible, però executant la tasca que li has demanat d'igual manera.

8. Simplicitat → models d'IA tan simples com sigui possible encara que complint la seva tasca.

9. Responsabilitat end-to-end → la responsabilitat recau sobre tota la cadena de valor i es requereix una revisió constant de la petjada de carboni tant del *hardware* com del *software*.

- **Serien necessàries més auditories mediambientals?**

Paolo: Sí, i molt. De fet, m'estranya que nosaltres com a centre, com a fundació no en tenim; no em consta. I les vegades que hem parlat amb direcció per posar algun tipus d'inversió amb energia verda no han vist beneficis perquè no hi ha ningú que els digui res pel que prefereixen invertir en altres tipus de programa que no en aquests, perquè potser pensen que en poden obtenir alguna cosa. Ara amb la nova direcció ha canviat el sentit i s'ha creat un grup transversal de sostenibilitat juntament amb l'altra unitat de recerca que s'ocupa més de la ciència de la terra, etc. i també per enfocar les altres unitats amb vessants sostenibles. Marco et pot dir millor perquè està participant en la gestió.

Marco: Sí, estem intentant coordinar totes les unitats del centre, per tant, no només és IA sinó també comunicació i aplicacions de geomàtica; aplicacions de control remot d'aigua, glaceres, muntanyes, etc. Per exemple, com fer servir la xarxa de telecomunicacions com una xarxa de sensors i de computació. Aprofitar la xarxa existent. Nosaltres treballem més la part de computació i hi ha una altra part que treballa més la part de sensors, i després hi ha una altra part del centre que s'ocupa de com fer tota la xarxa de comunicació, la part de satèl·lit i aplicació. I sí que s'ha vist que últimament hi ha una mica més interès governamentalment de fer coses que siguin més eficients.

Paolo: Però és tota una sensibilitat pròpia, no hi ha un impuls a fer avaluacions mediambientals o enfocar la investigació cap a aquest tipus de temàtica.

- **I com es podria crear aquest impuls? S'hauria de crear algun organisme...**

Marco: Sí, fonamentalment sí. L'impuls ara és més inversió si ho fas eficient.

Paolo: Nosaltres som un centre que està dins del ventall CERCA, el qual està controlat pel govern català. Si allí hi hagués una mica més de relació ambiental, perquè hi ha un departament ambiental, potser es podria impulsar per allà. Ja sigui per veure com cada un d'aquests centres consumeix a escala de petjada ecològica. En formar part de la infraestructura pública, hauria de néixer pròpiament d'allí. És un altre cop un tema que recau en l'àmbit polític. Nosaltres podem tenir la sensibilitat i fer tota la disseminació possible, però per impulsar això manca el factor polític. De forma anàloga, la qüestió del gènere està rebent molt impuls, però perquè anteriorment hi va haver una forta pressió des de baix.

- **Sentiu que hi ha pocs grups de recerca relacionats amb la sostenibilitat de la IA? Com podria començar a ser un aspecte a tenir-se en compte?**

Paolo: Crec que així com el nostre n'hi ha pocs. El que hi ha són molts, però que tenen un enfocament més especialitzat, no tan holístic com el nostre. N'hi ha molts que estudien models eficients basats en el *BrainInspired*, per exemple, però potser no sempre ho enfoquen en relació amb la sostenibilitat de la IA. Tenen un ventall més ampli i van més en un vessant de ciència pura sense tenir la responsabilitat de generar una petjada ecològica menor.

Marco: No sabia com fer perquè hi hagués més grups amb aquesta responsabilitat...

Paolo: Jo crec que ara s'estan veient més iniciatives en aquest àmbit així que està havent-hi una major obertura en relació amb el Green AI. Llavors jo crec que en un futur n'hi haurà més, ara bé, si orientats verdaderament cap a la sostenibilitat o serà el *green washing* que sempre veiem quan hi ha alguna cosa que és "green". A Europa s'ha parlat de "green" des de fa almenys quaranta anys. El cotxe elèctric és "green" per exemple, opinable. Haver-hi n'hi hauran més, la direcció que després prenguin serà la qüestió important.

- **De forma breu, quins principals projectes esteu duent a terme. O en tot cas, podríeu esmentar-ne un que fos paradigmàtic de la labor que feu?**

Paolo: Un projecte gran que ha durat quatre anys (*Green Edge*) i que hi hem posat molt esforç és un projecte que inclou una xarxa de doctorands/andes que han estudiat aquestes temàtiques amb diferents vessants. Hem participat en la seva educació aportant el

coneixement que nosaltres tenim i fomentant el concepte de sostenibilitat en les tecnologies digitals i en la IA, que pugui ser distribuïda, descentralitzada, etc. Com a *feedback*, et puc dir que moltes d'aquestes persones no eren tan conscients d'aquestes problemàtiques i han gaudit molt del programa. Es tracta de començar amb gent jove que pugui començar una carrera tant acadèmica com industrial i pugui impulsar un cert tipus de pensament. Aquesta metodologia ens agrada molt perquè combina investigació amb educació.

- **I algun altre projecte que tingueu al cap que us agradaria fer?**

Paolo: Sí, en tenim un que hem presentat a la UE a veure si ens financen i seria seguir en la línia de xarxes distribuïdes, amb més baixa potència, utilitzant models molt més petits inspirats en el cervell i per les lleis físiques, i amb material reciclable. També amb el vessant d'investigació i educació, llavors si tot va bé, seguirem per aquesta línia.

Conjuntament amb una part més pràctica, com la part del mesurament de l'energia que estem impulsant ara perquè és un aspecte que volem tractar. Hem adquirit alguns aparells que puguin mesurar i voldríem acabar de tancar-ho per poder obrir una plataforma⁴¹ que pugui mesurar el consum energètic perquè ho puguin utilitzar altres centres o la mateixa indústria.

- **L'eficiència energètica és un vector principal de la vostra recerca. Així i tot, una millora en l'eficiència d'una tecnologia tendeix a comportar un abaratiment dels preus i que, per tant, en creixi la demanda, aconseguint un consum energètic major. Com es resol aquesta problemàtica des d'un punt de vista sostenible?**

Marco: Això és impossible, és el *rebound effect*; la paradoxa de Jevons. Tecnològicament, és impossible, quan baixa l'eficiència el consum augmenta. Però sí, amb més transparència la conducta del consumidor potser canviaria perquè es podria plantejar si fer-ne menys ús.

Paolo: Jo crec que impostos sobre la petjada que cadascú genera podria ajudar a controlar que aquest abaratiment de preus no comporti un augment de consums. Si em costa menys construir alguna cosa, però llavors contamina més perquè la gent l'utilitza més doncs potser aquest cost per a l'empresa o pel consumidor no seria convenient. Potser es pot controlar d'alguna manera. Crec que hi ha alguna cosa, però no sé si realment es controlen les emissions de les empreses, que jo sàpiga no. Amb transparència i control es podria fer alguna cosa, per exemple, en l'àmbit tecnològic així com nosaltres estem construint una

⁴¹ <https://supercom.cttc.es/>

infraestructura per mesurar el consum energètic de les nostres investigacions, perquè que això es pugui aplicar a les grans empreses o qualsevol indústria que contamina. No sé si això podria limitar d'alguna manera l'efecte *rebound*.

- **A la vostra web mencioneu tendències emergents com “energy-harvesting”, ML quàntic o arquitectures neuromòrfiques. Podríeu explicar breument quina és la vostra tasca en relació amb aquestes?**

Marco: Arquitectures neuromòrfiques és el *BrainInspired* que hem comentat abans. Energy-harvesting és el que comentàvem abans de col·locar dispositius sense bateria que puguin recollir energia variable del seu voltant. I pel que fa al ML quàntic no és el nostre tema principal, però el considerem perquè des del punt de vista científic sembla ser molt eficient tot i que encara requereixi molta investigació. Estem parlant de coses molt recents i que es donen en moments puntuals, a més que el cost pot ser tan elevat que n'hi ha pocs que s'ho puguin permetre.

- **On feu les pràctiques?**

Marco: Principalment als laboratoris, fem simulacions. Com treballem en algorismes, normalment fem servir dades de referència i d'allí sí que en casos puntuals fem alguna prova més real com va ser la de tràfic de cotxes o la del control de potència energètica de la xarxa energètica. Però la majoria són proves de laboratori amb dades sintètiques; que no són reals. Això és perquè la majoria d'algorismes ja venen provats amb aquest tipus de dades i, per tant, tu has de fer una comparació amb el mateix tipus de dades. Quan has comprovat que el teu algoritme funciona una mica millor llavors ja passem a les dades reals. Però encara estem treballant amb les dades sintètiques.

Paolo: Tenim dades reals amb la xarxa mòbil i alguna cosa hem fet amb Federated Learning i dispositius que poden captar dades que les antenes transmeten i això ho hem fet a partir de diverses zones de Barcelona. Així doncs, podem veure quant consumiríem si volguéssim fer una predicció del tràfic.

- **Com veieu l'escenari mundial en relació amb la IA i la sostenibilitat?**

Marco: És complicat. Per una banda, està els EUA que porta la veu cantant tot i haver-se vist afectat pel sorgiment de Deep Seek a la Xina. I, per altra banda, està Europa que no ha fet res...

Paolo: Bé, ha fet alguns centres de càlcul com el BSC, després també a França... Bé, no ho sé, espero que sigui la típica corba de la tecnologia on ara estem al moment punter, però

posteriorment hi haurà un descens per diverses raons. Crec que hi ha massa optimisme sobre la tecnologia i la IA i no crec que pugui solucionar tots els problemes. A curt termini tampoc podem tenir una IA que ens solucioni tots els problemes, per qüestió d'energia, materials que falten, etc. llavors això haurà d'acabar d'alguna manera no sé si serà per falta d'interès. Tot i això, no serà d'aquí poc, jo crec que encara li queden uns deu anys aproximadament perquè continui creixent com ho està fent ara. Em fa una mica de por figures com la de Musk i Trump en aquest sentit. Tot el desafiament que s'està fent entre els diferents pols mundials no sé si pot arribar a crear conflictes com ha passat fa poc amb Groenlàndia, que ha generat interès perquè amb el desgel pot tenir materials que puguin ser útils per aquests tipus de sectors. De forma utòpica m'agradaria que Europa es distingís en aquest sentit i seguís la política que està fent com l'AI-Act amb la part ètica i que fins i tot la impulsés una mica més.

Marco: Sí, que impulsés la inversió per fomentar activitats en aquesta línia.

Paolo: La crisi climàtica existeix i si volem que la IA serveixi d'alguna cosa, segur que no és aquesta que s'està impulsant ara i si d'alguna manera col·lapsa tot, que almenys tinguem un avantatge a partir dels que han treballat de forma diferent. Jo crec més en un paradigma decreixent que no en un model bulímic enorme que t'ho soluciona tot perquè és inviable. Per tant, si anem en la direcció que estem agafant ara, col·lapsarà tot i si no aconseguim controlar-ho abans, almenys en un moment de futur no tan distòpic podríem tenir un avantatge els que hem treballat d'aquesta manera. Utilitzar la IA per entendre quins escenaris climàtics podem tenir a pocs anys vista.

- **Què en penseu de l'arrelament que ha tingut ChatGPT en la vida de les persones?**

Marco: Això és un gran problema. Perquè la gent no sap les conseqüències d'usar aquest tipus de tecnologies. En aquest sentit, és transparència el que fa falta; conèixer els números o, almenys, que hi hagi empreses que siguin transparents per tal que els consumidors puguin escollir. Treballar en la consciència col·lectiva. I relacionat amb el que deia el Paolo del Federated Learning, si la xarxa és distribuïda pot ser que sigui més eficient i resilient en cas d'atac. Normalment, els models són més petits, les dades no han de viatjar a l'altra punta del món, etc. es tracta d'un model més democràtic d'IA que Europa podria impulsar.

Paolo: Fent-ho distribuït ho controles directament tu, que és una cosa força important i la manera en la qual la persona interacciona amb la IA és més controlada per la mateixa persona. No és que et posen directament el xatbot, ets tu qui pots decidir. Clarament, això requereix un procés, s'ha d'educar a les persones en relació amb la tecnologia perquè es

pugui produir aquest canvi si també la tecnologia cada cop la tindrem més present. Però es tracta d'una voluntat política i és una cosa que s'ha d'impulsar des de baix, però si no hi ha un marc legislatiu...

- **Clar, es requereix més consciència però i la gran dependència que tenim amb les grans tecnològiques?**

Marco: Això es pot trencar. Potser perdem una mica de performance, però és molt millor tenir un algoritme que funciona una mica pitjor que no cada vegada donar les meves dades a una *Big Tech*. Jo ho veig així, i de fet hi ha moltes possibilitats ara mateix. Hi ha molts models de xatbot que es poden baixar i els pots fer servir al teu ordinador directament. O, per exemple, es podria fer una petita comunitat de xatbot a la teva ciutat o barri muntant un servidor i, per tant, fer-ho de forma local i amb molta més privacitat. Però sí, falta molta més política.

Paolo: Ens agrada la nostra feina perquè potser podem ser un dels exemples que les coses es poden fer diferent. Però és complicat també en l'àmbit d'investigació perquè la direcció que s'està prenent és una altra i, per tant, en aquest sentit ens trobem al marge, la qual cosa dificulta que sempre puguis fer la investigació que vols fer.

- **Aquesta era una altra pregunta, us veieu molt limitats pel finançament que rebeu?**

Paolo: Ens agradaria tenir més inversió en aquests temes de tal manera que ens poguéssim dedicar al 100%, ja que no ho podem fer. En relació amb el projecte de *Blockchain* és perquè calia fer això i ho vam fer d'una manera que ens va agradar, però no sempre és tan fàcil enfocar la investigació com tu vols. Sobretot perquè no hi ha una inversió massa gran a Espanya en la investigació.

- **Els fons us provenen directament del govern català?**

Paolo: Sí, i de la UE, però és competitiu. 30% finançament de la Generalitat i l'altra part l'hem de buscar nosaltres.

Marco: Gran part de la feina ja és buscar aquest finançament.

[Nota: Les preguntes següents només es van fer a l'investigador Marco Miozzo per qüestions de disponibilitat durant la visita al centre].

- **L'altre dia va comentar el concepte de *smart city*. Quina perspectiva teniu quan parleu d'aquest concepte?**

Marco: Hem fet diversos projectes. Vam començar amb Barcelona investigant la congestió de tràfic. Les dades són obertes i es poden baixar des de la web. En canvi, a Madrid teníem molts més sensors i treballàvem amb números, pel que per ML era molt més fàcil treballar amb aquest tipus de dades. La idea era investigar sobre el trànsit a la ciutat a més de la qualitat de l'aire, per poder fer-ne una correlació. Això és una part del que treballem respecte al terme de *ciutat intel·ligent*.

L'altra part és en relació amb les col·lisions d'automòbils i atropellaments. Sempre ho fem de manera *edge*, distribuïda i de forma local (a prop d'on succeeix l'esdeveniment). Guanyes temps de latència, el que és important en aquestes situacions de perill, i a més és molt més verd perquè t'estalvies el camí de les dades a un servidor.

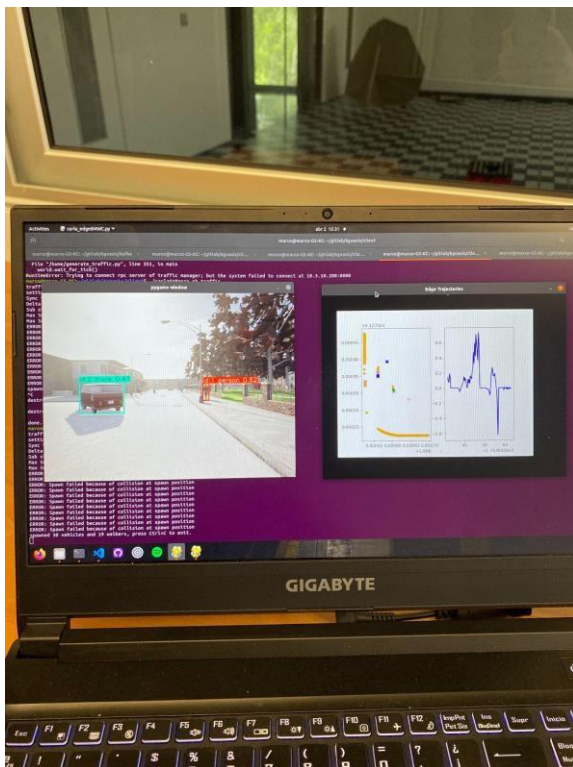


Fig. 2. Interfície que mostra els programes de mobilitat intel·ligent del SAI-CTTC. Fotografia pròpia.

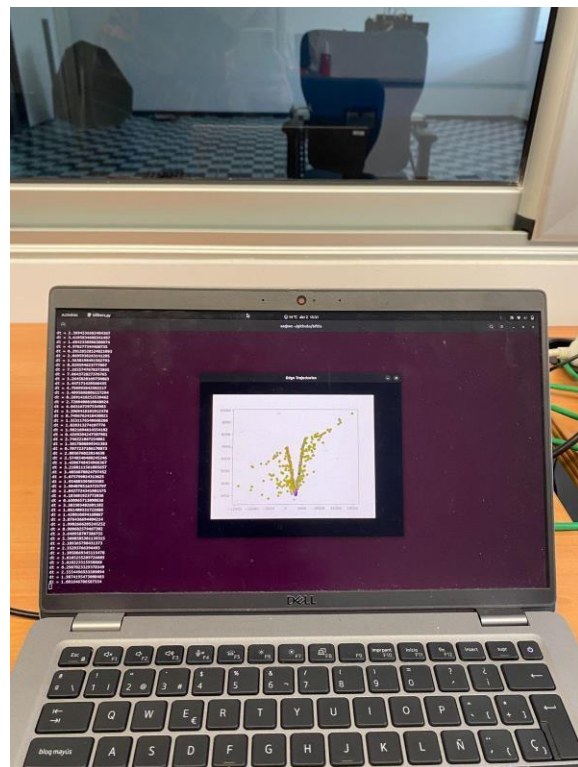


Fig. 3. Interfície que mostra un gràfic de mobilitat intel·ligent del SAI-CTTC. Fotografia pròpia.

També hem treballat el tema dels *smart buildings*. Per exemple, com detectar la presència de persones sense càmeres perquè es pugui millorar el sistema de climatització de les habitacions. També és possible detectar què estan fent les persones perquè depèn de l'activitat es requerirà una climatització o una altra.

I després, amb relació als *smart buildings*, també treballem la predicció de consum energètic. Jo també estic treballant al barri en una comunitària energètica i la idea seria fer un bessó digital de la comunitària energètica per al centre. Tenint les dades dels socis de la comunitat, poder conèixer si algú està consumint més amunt de l'esperat i adaptar llavors el consum d'energia.

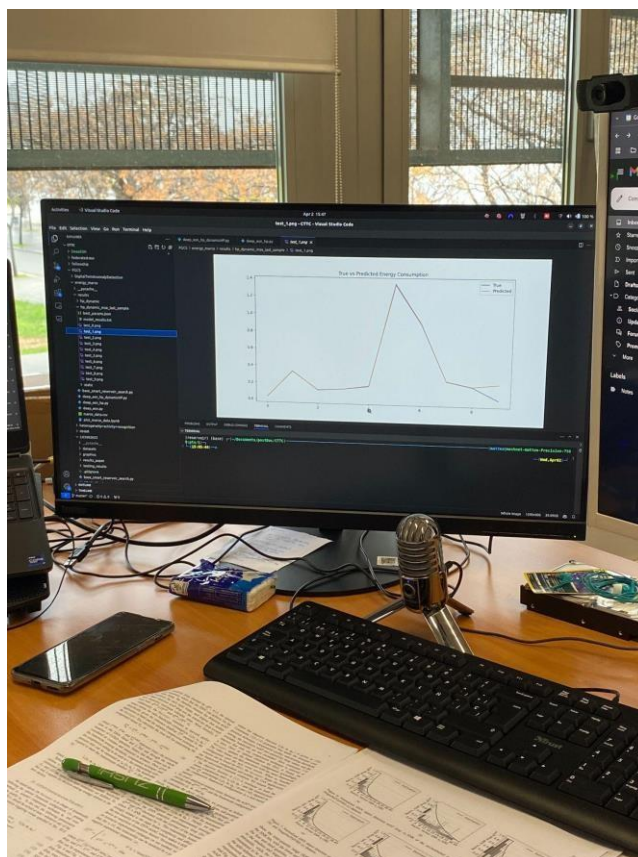


Fig. 4. Gràfic que mostra la predictibilitat de l'algoritme del SAI-CTTC que prediu el consum energètic.
Fotografia pròpia.

- **Aquestes tecnologies, per tant, requereixen molta traçabilitat. En aquest sentit, m'agradaria problematitzar-ho tenint en compte la sostenibilitat social, ja que podria suposar un perill per a la privacitat.**

Marco: En principi no. En el cas de la comunitària energètica, les dades no surten de la comunitat. Si treballes amb Federated Learning, el que es passa és el model, no les dades, per tant, aquesta informació no sortiria de casa teva.

- **Ho deia més en relació amb el cas que un veí sobrepassi un llindar.**

Marco: Aquesta informació la gestionaria la mateixa persona, no ha de sortir de casa teva. La pots compartir amb la comunitat, però de nou, en el Federated Learning les dades no són les que es transmeten.

El que volíem fer nosaltres a la comunitat energètica del Poble Sec era donar una assessoria de com estàs usant la teva energia a casa. Per exemple, si tens un “consum fantasma” durant la nit, ja sigui perquè algun electrodomèstic no funciona bé o el que sigui que pugui produir un pic de consum. Llavors es podria fer servir per detectar aquest tipus d’anomalies. Això seria un servei que és útil per la comunitat i que no requereix que surti de la comunitat, no cal que les dades vagin a un centre de dades de les grans empreses. La idea també és que es pugui implementar en la *raspberry*, aquest petit dispositiu.

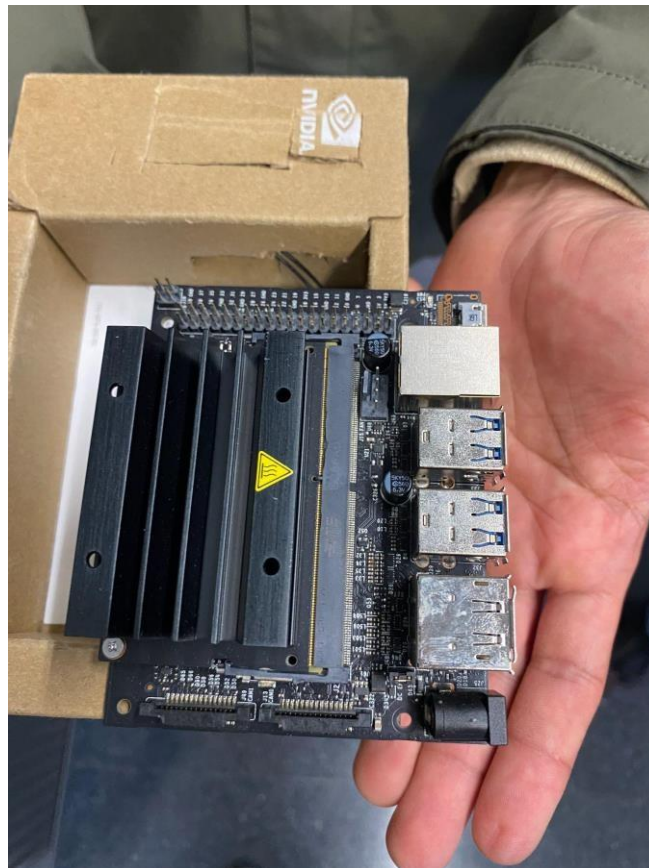


Fig. 5. Model Raspberry Pi de la companyia Nvidia. Fotografia pròpia.

- **Estem veient que potser hi ha una aposta per l’energia nuclear a l’hora de mantenir la demanda energètica dels centres de dades. Creus que la tendència de les grans empreses serà anar cap aquí?**

Marco: Això és geopolítica. Dependrà de com aniran les coses. Les grans tecnològiques d'IA estan apostant tant per la fissió com per la fusió nuclear. Però clarament estem parlant de coses que trigarán 20-30 anys. Clar, el tema està que la nuclear seria una manera de resoldre el problema encara que fos una mena de pegat, a falta que hi hagi una fusió nuclear bona o que el ML quàntic no sigui més eficient. Però veient com està creixent la IA ara, possiblement en 4-5 anys no serà fàcil alimentar tot això, per això, la nuclear podria garantir aquest creixement.

Abans de les eleccions dels EUA, tothom estava baixant el consum energètic menys les tecnològiques, que estaven pujant. I era una mica contraintuïtiu. I ara després de l'arribada de Trump, sembla que tot sigui camp lliure per fer el que es vulgui. S'ha de veure com reenfocar la investigació i la política mundial, perquè sí que comença a haver-hi investigació al voltant de la IA sostenible, però encara som molt poca gent. Sí que moltes vegades la paraula sostenibilitat entra en la investigació, però moltes vegades és *green washing*, és només la part operativa, no compta el rebound effect, etc.