Màster universitari en **Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes**

Treball de fi de màster

Títol: Aproximació a la Supercomputació a secundària

Cognoms: Oliver Segura
Nom: Josep
Titulació: Màster en Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes
Especialitat: Tecnologia

Director/a: Enric Mayol, Sílvia Zurita
Data de lectura: 14 de Juny 2023

Aproximació a la Supercomputació a secundària

per

Josep Oliver Segura

supervisat per

Enric Mayol
Sílvia Zurita

Treball de Final de Màster presentat per obtenir el títol de Màster en Formació del Professorat en Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes en l'Especialitat de Tecnologia.

Barcelona, juny de 2023

RESUM

En aquest TFM es realitza un anàlisi de les oportunitats que planteja el currículum d'educació secundària per incorporar, de manera transversal, coneixements i conceptes vinculats a la Supercomputació per tal de reduir la "impedància d'entrada" en aquest camp. Es prenen com a base diferents iniciatives i activitats extra-curriculars en entorns o tecnologies similars, treballant en la translació d'aquells conceptes bàsics i metodologies de treball vinculades a la Supercomputació com a eina en un entorn multidisciplinari a les assignatures que conformen els citats currículums. A partir d'aquí, es plantegen actuacions en dues vessants: metodològiques/curriculars i d'eines de suport. L'objectiu final del TFM és, en resum, explorar alternatives per desmitificar la Supercomputació en els cicles d'educació secundària i avançar idees i conceptes que permetin tant una transició més suau a cursos o carreres d'especialització per aquell estudiantat interessat en aquest tema en concret com per la resta d'estudiantat que, en algun moment de la seva formació posterior i/o vida laboral, requerirà accedir a serveis i eines de Supercomputació per complementar els seus estudis o la seva feina.

Paraules Clau: Secundària, ESO, batxillerat, Supercomputació, Paral·lelisme, Eines, Metodologies, Transversal, Cluster, Hackaton, Concurs de Programació

RESUMEN

En este TFM se realiza un análisis de las oportunidades que plantea el currículum de educación secundaria para incorporar, de manera transversal, conocimientos y conceptos vinculados a la Supercomputación para reducir la “impedancia de entrada” en este campo. Se toman como base diferentes iniciativas y actividades extra-curriculares en entornos o tecnologías similares, trabajando en la traslación de aquellos conceptos básicos y metodologías de trabajo vinculadas a la Supercomputación como herramienta en un entorno multidisciplinar en las asignaturas que conforman los citados currículums. A partir de aquí, se plantean actuaciones en dos vertientes: metodológicas/curriculares y de herramientas de soporte. El objetivo final del TFM es, en resumen, explorar alternativas para desmitificar la Supercomputación en los ciclos de educación secundaria y avanzar ideas y conceptos que permitan tanto una transición más suave a cursos o carreras de especialización para aquel alumnado interesado en este tema en concreto como para el resto de alumnado que, en algún momento de su formación posterior y/o vida laboral, requerirá acceder a servicios y herramientas de Supercomputación para complementar sus estudios o su trabajo.

Palabras clave: Secundaria, ESO, bachillerato, Supercomputación, Paralelismo, Herramientas, Metodologías, Transversal, Clúster, Hackaton, Concurso de Programación

ABSTRACT

This TFM includes an analysis of the opportunities that the secondary education curricula offers in order to include, in a transversal way, knowledge and concepts related to Supercomputing in order to reduce the “entrance impedance” in this field. Different initiatives and extra-curricular activities from similar environments or technologies are taken as basis, working on the translation of those basic concepts and working methodologies related to Supercomputing as a tool in a multidisciplinary environment into the matters that form such curricula. From that point on, different initiatives are proposed in two aspects: methodological/curricular and as support tools. The final goal of this TFM is, wrapping up, to explore different alternatives in order to demystify Supercomputing in the secondary education cycles and advance ideas and concepts that will allow both a smoother transition to courses or specialization careers for students interested in this specific theme and for the rest of students that, at some point in their later education and/or working life, will require to access Supercomputing tools and services in order to complement their studies or their job.

Keywords: Secondary, ESO, bachelor, Supercomputing, Parallelism, Tools, Methodologies, Transversal, Cluster, Hackathon, Programming contest

ABREVIATURES UTILITZADES AL LLARG D'AQUESTA MEMÒRIA

ACM: Association for Computing Machinery.

AI: Artificial Intelligence.

ANL: Argonne National Laboratory

BSC: Barcelona Supercomputing Center

CAD: Computer-aided design.

CASE: Computer Applications in Science and Engineering.

CEPBA: Centre Europeu de Paral·lelisme de Barcelona.

COVID-19: Coronavirus Disease of 2019

CPU: Central Processing Unit.

CT{L}E{A}M: Ciència, Tecnologia, {Lectura}, Enginyeria, {Art} i Matemàtiques.

DAC: Departament d'Arquitectura de Computadors.

DSL: Domain-specific language.

ESO: Educació Secundària Obligatòria.

FIB: Facultat d'Informàtica de Barcelona.

FP: Formació Professional.

GPU: Graphics Processing Unit.

HPC: High-Performance Computing.

IA: Intel·ligència Artificial.

MPI: Message-passing interface.

ODS: Objectius de Desenvolupament Sostenible.

RES: Red Española de Supercomputación.

ST{R}E{A}M: Science, Technology, {Reading}, Engineering, {Art} and Mathematics.

TFM: Treball Final de Màster.

UD: Unitat Didàctica

UPC: Universitat Politècnica de Catalunya.

ÍNDEX

1 Introducció....11
1.1 Motivació i circumstàncies personals....13
2 Estat de l'art i justificació del treball....14
3 Proposta de millora i objectius del treball....17
4 Metodologia de treball....19
4.1 Fase 1 : Recollida d'informació....19
4.2 Fase 2 : Plantejament de mecanismes....20
4.3 Fase 3 : Implementació....20
4.4 Fase 4 : Avaluació....20
5 Planificació i recursos....22
6 Desenvolupament del treball....23
6.1 Anàlisi previ....23
6.1.1 Aproximacions extra-curriculars (públic pre-universitari)....23
6.1.1.1 Activitats nodes RES....24
6.1.1.2 Activitats consorci LUMI....26
6.1.1.3 Activitats RIKEN/ANL....26
6.1.2 Activitats enfocades a altres públics....27
6.1.3 Articles científics....28
6.1.4 Currículum de l'ESO....32
6.1.5 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)....35
6.2 Plantejament de mecanismes....37
6.2.1 Conceptes o sabers rellevants....37
6.2.2 Propostes metodològiques i de materials....39
6.2.3 Propostes tecnològiques....41
6.2.3.1 Maquinari....41
6.2.3.2 Programari....41
6.3 Implementació....46
6.3.1 Propostes d'activitats i projectes....46

6.3.1.1 Projecte: «El nostre petit supercomputador» 46
6.3.1.2 Competició: «qui executa més ràpid? / més eficientment?» 48
6.3.1.3 Pràctica: «simulem la propagació dels incendis forestals» 50
6.3.2 Proposta detallada: «Som un supercomputador» 52
6.3.2.1 Resum 52
6.3.2.2 Nivell(s) 52
6.3.2.3 Sessions (estructura / temps) 52
6.3.2.4 Metodologies 52
6.3.2.5 Connexions amb altres matèries 52
6.3.2.6 Connexions amb els ODS 53
6.3.2.7 Conceptes de (Super)computació 53
6.3.2.8 Objectius i avaluació 54
6.3.2.9 Materials necessaris 55
6.3.2.10 Descripció bàsica de l'activitat 55
6.3.2.11 Extensions possibles 59
6.3.2.12 Alternatives d'avaluació 59
6.4 Avaluació de la implementació 60
7 Conclusions i Treball Futur 61
8 Referències 62
A Llistat de nodes de la RES 67
B Actuacions educatives pre-universitàries nodes RES 68
C Temes «Bojos per la Supercomputació 2023» 71
D Programes ANL (pre-universitaris) 73
E Intersecció matèries ESO / activitats formació pre-universitària BSC 74
F Plànols i anotacions activitat «Som un Supercomputador» 76
G Qüestionaris d'avaluació de l'activitat «Som un Supercomputador» 77

ÍNDEX DE FIGURES

Figure 1: Organigrama BSC (font: https://www.bsc.es).....12
Figure 2: Plantejament de fases del TFM.....19
Figure 3: Planificació del TFM.....22
Figure 4: Classificació assignatures ESO per intensitat.....34
Figure 5: Plànol classe activitat "Som un Supercomputador".....76

ÍNDEX DE TAULES

Table 1: Descripció de les "intensitats" els "punts d'extensió".....33
Table 2: Aplicabilitat de la Supercomputació als ODS.....35
Table 3: Conceptes de Supercomputació.....38
Table 4: Connexions amb altres matèries.....53
Table 5: Connexions amb els ODS.....53
Table 6: Llistat de nodes de la RES i activitats de formació/difusió pre-universitària.....67
Table 7: Activitats de difusió/educació pre-universitària BSC.....68
Table 8: Activitats de difusió/educació pre-universitària SCAYLE.....69
Table 9: Activitats de difusió/educació pre-universitària CénitS-COMPUTAEX.....69
Table 10: Activitats de difusió/educació pre-universitària CIEMAT.....69
Table 11: Temes "Bojos per la Supercomputació 2023".....71
Table 12: Intersecció matèries ESO / activitats formació pre-universitària BSC.....74

1 Introducció

En els darrers anys hem pogut comprovar com la Supercomputació ha passat de ser una eina minoritària per a la recerca a ser una eina d'aplicació transversal a molts àmbits no purament acadèmics.

La popularització d'eines i mètodes d'Intel·ligència Artificial basats en models estadístics i Big Data, per exemple, és un indicador clar: hem passat d'antics sistemes de recomanació de productes basats en «similaritats» definides pels administradors de cada aplicació, amb senzills sistemes de regles que podien avaluar-se de manera relativament ràpida, a complexos sistemes de predicció de tot tipus d'elements (productes, pel·lícules i sèries, rutes i trajectes...) basats en xarxes neuronals, que requereixen ingents capacitats de processament tant en el moment de la generació dels models (entrenament) com en el moment del seu ús (predicció).

Però l'aplicació d'aquests mètodes no es limita al món del comerç online o els serveis a usuaris finals, com les rutes o les funcionalitats de xarxes socials: cada vegada més àmbits del coneixement veuen com poden beneficiar-se de l'ús de la Supercomputació per millorar o accelerar els seus resultats: la biologia, la química, la física... tots aquests camps que, fins no fa gaire vivien «apartats» del món de la Supercomputació veuen ara com aquest món els brinda oportunitats d'anar més enllà de la pura experimentació física fent servir models per simular i predir certs comportaments, reaccions, etc.

Serveixi com a mostra l'estructura d'organigrama del Barcelona Supercomputing Center (BSC). El BSC està estructurat en departaments però, a diferència del que moltes persones podrien imaginar, aquests departaments no es limiten a camps específics de la computació, sinó que abasten altres macro-camps del coneixement (veure Figure 1). Podem observar com, juntament amb el departament de Computer Science (dedicat a la recerca purament en àmbit computacional), apareixen tres departaments que es focalitzen en ciències no purament computacionals:

- CASE (Enginyeria)
- Earth Sciences
- Life Sciences

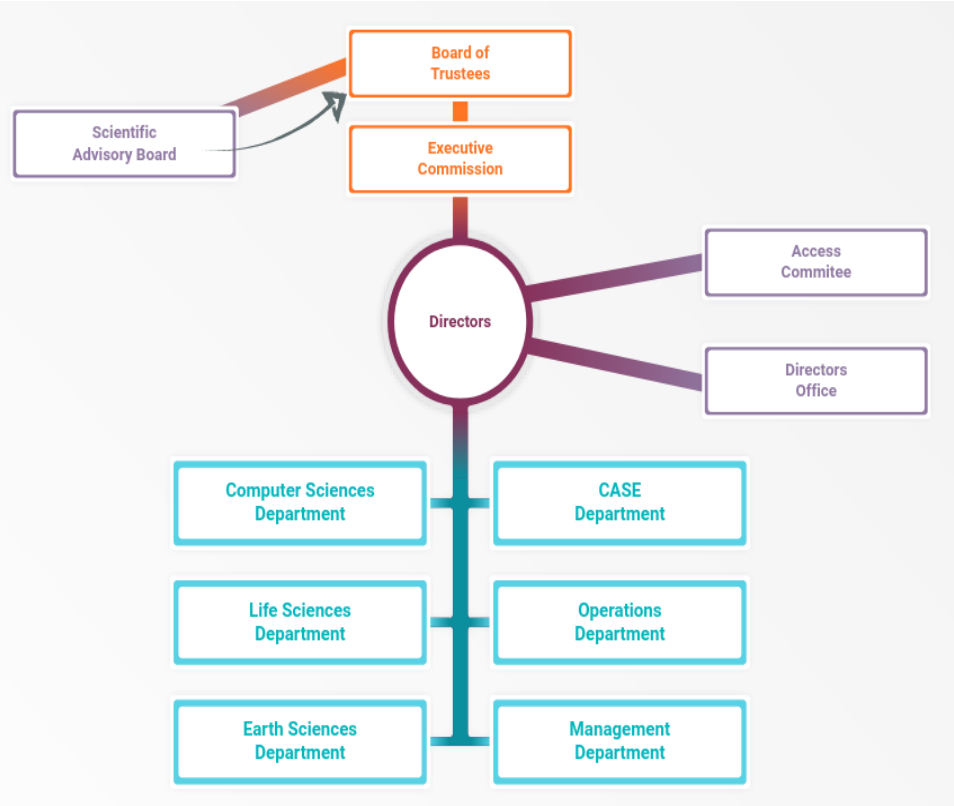


Figure 1: Organigrama BSC (font: https://www.bsc.es)

Aprofundint en els projectes desenvolupats a cada departament, podem veure iniciatives concretes que afecten a cada àmbit. Moltes d'elles es poden agrupar en allò que s'ha donat a conèixer com «Digital Twins» (bessons digitals), una evolució del que clàssicament coneixíem com a «simulacions», que han passat a un altre nivell gràcies a la Supercomputació, p.ex.:

- «BSC presents its new video on digital humans at the Science Museum in London» [https://www.bsc.es/news/bsc-news/bsc-presents-its-new-video-digital-humans-the-science-museum-london]
- «Barcelona tests with a digital twin developed by BSC if it is a 15-minute city» [https://www.bsc.es/news/bsc-news/barcelona-tests-digital-twin-developed-bsc-if-it-15-minute-city]
- «BSC lends expertise in machine learning and digital twins to enhance emergency management over extreme-scale data» [https://www.bsc.es/news/bsc-news/bsc-lends-expertise-machine-learning-and-digital-twins-enhance-emergency-management-over-extreme]

- «Digital twins at the cellular level help personalize prognosis and treatment in three cancer scenarios» [https://www.bsc.es/news/bsc-news/digital-twins-the-cellular-level-help-personalize-prognosis-and-treatment-three-cancer-scenarios]

Aquesta estructura, i aquestes iniciatives, ens confirmen aquesta «permeabilització» vers la Supercomputació que estan experimentant altres branques de la ciència.

La Supercomputació, a més, es presenta com un dels eixos clau en les estratègies europees d'innovació, com ho demostra la creació de la iniciativa europea de Supercomputació [1], de la qual l'estat espanyol n'és part.

Aquesta evolució ens situa en un futur, no gaire llunyà, en el que la necessitat de conèixer i entendre què és i com ens pot ajudar en el nostre dia a dia la Supercomputació ja no serà un requeriment només per a quatre científiques computacionals treballant en el soterrani d'algun campus universitari (p.ex. al CEPBA, precursor del BSC), sinó que afectarà, en major o menor mesura, a moltes més branques del coneixement. Davant aquest escenari, sembla raonable plantejar-se si el nostre sistema educatiu pot fer quelcom més del que ha estat fent fins ara per (a) fomentar les vocacions en Supercomputació i (b) apropar el coneixement d'aquesta disciplina a estudiantat amb altres vocacions que, en el futur, poden requerir-la.

En aquest treball, pretenem aportar el nostre petit gra de sorra sobre com ajudar, mitjançant les matèries d'Educació Secundària Obligatòria, a que la Supercomputació no sigui aquella gran desconeguda per a l'estudiantat no vinculat a ciències de la computació per tal de, com hem enumerat anteriorment, fomentar vocacions en Supercomputació i, si més no, desmitificar-la i donar-la a conèixer de manera senzilla i entenedora per preparar a l'estudiantat que, el dia de demà, en el desenvolupament de les seves professions, haurà de fer-la servir d'alguna manera.

1.1 Motivació i circumstàncies personals

Tot i que aquest TFM es desenvolupa en el marc del «Màster en Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes» impartit per la FIB/UPC, hi concorren altres circumstàncies: a banda de ser estudiant del màster de secundària, sóc treballador del BSC, on desenvolupo el doctorat (vinculat al DAC de la UPC), i, a més, he tingut ocasió de participar com a docent en algunes sessions del programa «Bojos per la Supercomputació» (del que parlarem en detall més endavant). La conjunció d'aquests interessos i circumstàncies, i la meva experiència personal entre aquests dos mons, han determinat el tema i l'enfoc d'aquest TFM.

2 Estat de l’art i justificació del treball

D’un temps ençà hem vist com el currículum de secundària al nostre país, i arreu, ha anat incorporant, poc a poc al principi, i cada vegada més ràpid, el que es va conèixer inicialment com «STEM» (o CTEM: Ciència, Tecnologia, Enginyeria i Matemàtiques).

Els poders polítics i la societat ens hem adonat que anem, cada vegada més, i si no estem ja, a un món «científico-tecnificat», on la tecnologia en general i la informàtica en particular, en qualsevol de les seves especialitzacions, tindrà un pes significatiu. D’aquí que, en els diversos currículums i aproximacions als mateixos, s’hagin incorporat aquests elements bé com a component transversal en alguns casos (el cas dels coneixements i habilitats digitals en general), bé com a component específic en d’altres (p.ex. la robòtica i la programació).

El que va començar sent «STEM» ha evolucionat, incorporat altres àmbits, fins arribar a l’actual «STREAM», on afegim a l’equació la lectura («Reading») i l’art («Art»). No entrarem a valorar si aquest acrònim ha de continuar creixent fins l’infinit o si n’hi ha prou amb reconèixer la transversalitat d’aquests camps i també el fet que molts coneixements prenen més sentit quan són ensenyats, apresos i exercits en consonància amb d’altres, per donar consistència a un tot. Pel que resta de document, ens referirem a aquest conjunt de coneixements i habilitats com «STREAM».

Com dèiem, les diverses evolucions dels continguts curriculars de l’ensenyament secundari han anat incorporant, cada vegada de manera més marcada, la necessitat de formar a l’estudiantat en «STREAM». Si mirem en detall els continguts, però, veurem que el més «proper» que trobarem a la Supercomputació és la introducció a la programació, l'algorísmia o el pensament computacional en assignatures com «Tecnologia», «Tecnologia i Digitalització» o «Robòtica i programació». L’ús de les cometes a «proper» és intencionat: el temari d’aquestes matèries, en el millor dels casos, proposen apropar l’estudiantat a la programació en general (p.ex. Robòtica i programació).

El darrer currículum educatiu per a secundària, però, ha aportat un detall important. Entre els centenars de pàgines on es descriu el currículum, apareix una vegada la paraula «supercomputadors». Apareix, concretament, al desplegament del currículum a Catalunya [2], Annex 3, a la descripció de l’assignatura «Digitalització» i, més específicament, al criteri d’avaluació 5.4 de la competència específica 5 d’aquesta assignatura:

- «*Competència específica 5: Analitzar l’impacte de les tecnologies digitals a la societat, a partir de la identificació dels canvis econòmics i socials a escala global, i aplicar les tecnologies emergents per al disseny de solucions a problemes reals tenint en compte els objectius de desenvolupament sostenible*»

- «*Criteri d'Avaluació 5.4: Analitzar l'ús d'eines de simulació i supercomputadors en el tractament de dades i valorar-ne l'impacte en la societat de la informació i l'aplicació a tecnologies associades*»

Si bé és un començament, veiem clarament com el rol de la Supercomputació en aquest cas és tangencial, com a causa, i no com a finalitat. Recordem, a més, que «Digitalització» és una assignatura optativa de quart d'ESO, per tant, és possible que l'alumnat passi sense ni tan sols haver tingut ocasió de veure aquest aspecte tangencial.

Si provem a fer una cerca d'altres termes, potser, amb més «màrqueting», lligats d'alguna manera a la Supercomputació, com «Intel·ligència artificial», trobarem 12 referències. Moltes d'aquestes 12 referències tenen a veure amb l'anàlisi ètic o de l'impacte social d'aquestes tecnologies a les assignatures de «Digitalització», «Educació en valors Cívics i Ètics» o «Filosofia». Només «Tecnologia» i «Tecnologia i Digitalització» incorporen «Intel·ligència artificial» a la descripció dels sabers o les competències específiques que comprenen aquella assignatura. En els dos casos es pot interpretar que es suggereix incorporar-les com a part dels sabers en tant que «eina a utilitzar», però no sembla, per l'anàlisi de les competències específiques o l'avaluació, que hi hagi voluntat d'aconseguir que l'alumnat entengui com funcionen internament aquests sistemes o les eines de Supercomputació que permeten crear-los.

Pel que fa a la resta d'assignatures, les referències a, «Supercomputació», «Intel·ligència artificial» o termes similars són, naturalment, inexistents. Fins i tot en aquelles matèries a les que es fa referència a «entorns tecnològics» de suport, podem deduir que s'està parlant d'eines que no són Supercomputació (fulls de càlcul, entorns col·laboratius virtuals, etc.)

Prenguem com exemple l'assignatura de «Física i Química», una branca del coneixement que, en un espectre més ample, més enllà de l'ESO, es beneficia enormement dels avenços en Supercomputació (per exemple, per aconseguir la primera imatge d'un forat negre [3], [4]). En la descripció curricular d'aquesta assignatura no es fa referència en cap moment a Supercomputació o cap terme que pugui fer sospitar que s'està fent referència a la mateixa. El més semblant o proper a eines, metodologies o tecnologies que podem trobar és, a l'apartat de «Sabers»:

- De primer a tercer d'ESO:
  - «Habilitats científiques bàsiques»
    - «Ús de diversos entorns i recursos d'aprenentatge científic, com ara el laboratori o els **entorns virtuals**, utilitzant de forma correcta els materials, els productes i les eines tecnològiques i atenent les normes d'ús de cada espai per assegurar la conservació de la salut pròpia i comunitària, la seguretat en xarxes i el respecte al medi ambient.»
- Quart d'ESO:

- «Les destreses científiques bàsiques»
  - «Ús de diversos entorns i recursos d'aprenentatge científic, com ara el laboratori o els **entorns virtuals**, utilitzant de forma correcta els materials, les substàncies i les eines tecnològiques i atenent les normes d'ús de cada espai per assegurar la conservació de la salut pròpia i comunitària, la seguretat a les xarxes i el respecte pel medi ambient.»

Pel que fa a les Competències Específiques:

- «Competència específica 4: Utilitzar de forma crítica i eficient **plataformes tecnològiques** i recursos variats, tant per al treball individual com en equip, per a la cerca d'informació, la creació de materials i la comunicació fonamentada en coneixements de la física i la química, entorn de fenòmens i qüestions ecosocialment rellevants»
  - «4.1 Utilitzar de forma crítica, creativa i eficient **entorns digitals** i diferents recursos en formats diversos per defensar el punt de vista propi sobre fenòmens i qüestions ecosocialment rellevants.»
  - «4.3 Cercar i analitzar informació amb mitjans convencionals i **digitals** i crear continguts relacionats amb la física i la química, seleccionant amb criteri les fonts més fiables i organitzant informació mitjançant l'ús i la citació correctes de diferents fonts {, amb respecte per la propietat intel·lectual}[1].»

Com podem comprovar, les referències a eines tecnològiques semblen centrar-se més en un suport convencional (fulls de càlcul, pàgines web, eines de presentacions, etc.) per tal de complementar els mètodes tradicionals d'experimentació d'aquesta matèria més que no pas en complementar aquests mètodes d'experimentació i anàlisis amb eines properes a la Supercomputació.

La manca de presència, com hem vist, de la Supercomputació en el currículum de secundària, juntament amb la rellevància que aquesta ciència/tecnologia té i tindrà en la societat actual i en el futur (que farà que, possiblement, una part important de l'alumnat de secundària acabi treballant, encara que sigui de manera tangencial, amb entorns de Supercomputació), així com el fet que la diversitat de matèries que componen el currículum de secundària reflecteix la diversitat de camps del coneixement on la Supercomputació té una aplicació significativa, motiva aquest TFM.

1 La referència explícita a la propietat intel·lectual és la única diferència entre els criteris de primer a tercer d'ESO (que no la tenen) i quart d'ESO, que la inclou.

3 Proposta de millora i objectius del treball

La proposta de millora d'aquest TFM es centra, principalment, en la incorporació de mecanismes i eines per tal d'augmentar la presència i rellevància de la Supercomputació, de manera transversal, en el currículum de l'ESO.

La finalitat d'aquesta millora, com hem explicat més extensament en els apartats anteriors és doble: d'una banda, fomentar les vocacions vinculades a la Supercomputació. D'altra banda, aconseguir desmitificar la Supercomputació i presentar-la a l'alumnat de secundària, que molt probablement, en un número significatiu, haurà de treballar amb ella en el futur, com una tecnologia que els podrà ajudar en el seu futur laboral.

Aquesta millora pot aconseguir-se mitjançant diferents actuacions, que explorarem i analitzarem en les següents seccions del document. Pel que fa als objectius concrets del TFM, plantegem els següents:

- Identificar assignatures i temes específics del currículum de secundària on es poden introduir conceptes, metodologies o eines de Supercomputació per complementar el temari que s'està presentant.
- Identificar eines metodològiques que es poden emprar per tal d'apropar l'alumnat al món de la Supercomputació i fomentar el seu coneixement i vocacions.
- Identificar eines tecnològiques que també poden ajudar en aquest aspecte, analitzant la seva adequació i, si s'escau, millores que podrien incorporar-s'hi.
- Proposar exemples de material docent per tal de donar suport en els objectius plantejats.
- Avaluar l'adequació de les fórmules proposades.

Pel que fa a l'abast d'aquest TFM, al respecte de nivells i etapes, ens centrarem exclusivament en els quatre cursos de l'ESO, sense arribar a incloure el batxillerat. Aquesta decisió es fonamenta en diferents aspectes, analitzats durant la primera fase d'aquest TFM:

1. La necessitat d'acotar l'abast del treball a una magnitud realista i assumible en un TFM.
2. El caràcter obligatori de l'ESO, que garanteix que les iniciatives aquí plantejades podrien arribar a la pràctica totalitat d'alumnat, independentment de si acaben cursant batxillerat o no.
3. De manera similar a l'anterior, la relativa poca especialització de l'ESO, amb gran quantitat de matèries comunes comparativament a batxillerat, que possibilitaria arribar a més alumnat.

4. La possibilitat, focalitzant en l'ESO, de fomentar vocacions en Supercomputació, atès que podem considerar el batxillerat com una etapa amb una orientació ja molt determinada (i que s'acaba de treballar a quart de l'ESO) on és difícil re-orientar-se.
5. Les sinergies que es poden trobar a l'ESO per introduir conceptes clau de la Supercomputació (concurrència, paral·lelisme, pas de missatges, sincronització...) en eines que, en l'actualitat, ja estan fent-se servir en assignatures de Tecnologia (p.ex. Scratch [5] o Snap! [6]).
6. La relativa proximitat, en determinats casos, d'activitats extra-curriculars que es duen a terme a etapes anteriors (p.ex., com veurem, visites al BSC a educació primària) i la major facilitat per incorporar raonaments i exemples basats en premisses senzilles i casos simples en els primers anys de l'ESO.
7. L'experiència personal impartint sessions del Bojos Per La Supercomputació a alumnat de primer de batxillerat. Tot i que caldria un número major de mostres per constituir una mostra representativa, la sensació és que en aquesta edat se'ls plantegen abstraccions massa avançades que, sense haver-se tractat prèviament en etapes anteriors, poden suposar un problema excepte per aquell alumnat excepcionalment dotat, motivat o, per motius personals, amb certs coneixements previs.

4 Metodologia de treball

Plantegem el desenvolupament d'aquest TFM com un (relativament petit) projecte de recerca i millora educativa. Per tant, l'estructurem en quatre fases: recollida d'informació/anàlisi de l'estat de l'art, plantejament de propostes, implementació i avaluació (veure Figure 2).

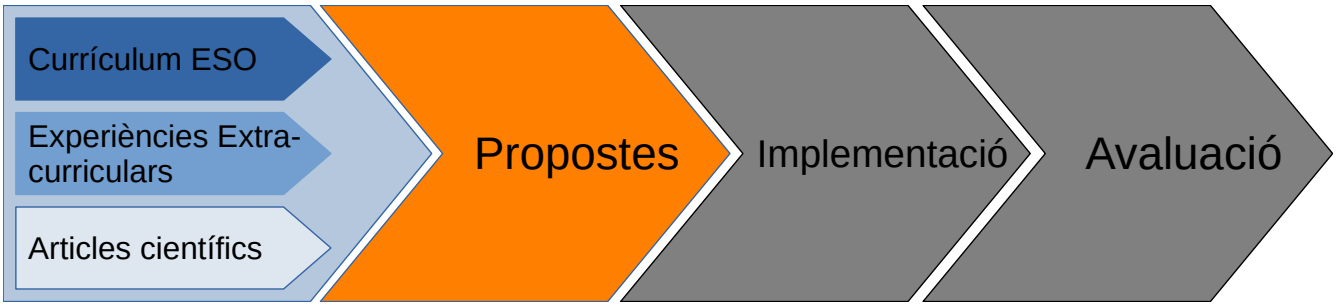


Figure 2: Plantejament de fases del TFM

4.1 Fase 1 : Recollida d'informació

En una primera fase, plantegem identificar assignatures i temes específics del currículum de secundària on es poden introduir conceptes, metodologies o eines de Supercomputació per complementar el temari que s'està presentant. També intentarem identificar dominis o problemàtiques científiques/socials on la Supercomputació pot ser una eina aplicable.

Durant aquesta primera fase també identificarem eines metodològiques que es poden emprar per tal d'apropar l'alumnat al món de la Supercomputació i fomentar el seu coneixement i vocacions. Finalment, pel que fa a la fase inicial, identificarem eines tecnològiques que també poden ajudar en aquest aspecte.

El material que analitzarem durant aquesta fase provindrà bàsicament de quatre àmbits:

- Recerca i estudi d'experiències extra-curriculars en la mateixa línia (apropament de la Supercomputació a Secundària) o línies similars. Per «línies similars» entenem iniciatives que no tracten exclusivament d'«alumnat de secundària» + «Supercomputació», però que poden apropar-s'hi i de les quals podem extrapolar idees: estudiar iniciatives dutes a terme per apropar altres col·lectius a la Supercomputació (p.ex. estudiantat universitari) o bé per apropar altres col·lectius a tecnologies concretes (p.ex. alumnat adolescent a la robòtica o programació).
- Recerca d'articles científics que puguin aportar-nos idees o plantejaments interessants per tal de ser incorporats a la nostra proposta de millora, o que ens confirmin o reforcin idees preliminars plantejades en base als dos punts anteriors.

- Anàlisi, a nivell transversal, del currículum de l'ESO.
- Revisió dels Objectius de Desenvolupament Sostenible

4.2 Fase 2 : Plantejament de mecanismes

En aquesta fase, un cop recollides i analitzades les fonts de dades que hem pogut considerar, procedirem a plantejar quins mecanismes i recursos didàctics i quines eines tecnològiques ens poden ajudar a aconseguir l'objectiu plantejat (apropar la Supercomputació al currículum de l'ESO).

Per «mecanismes i recursos didàctics» entendrem formes d'organitzar el procés d'ensenyament-aprenentatge, juntament amb les tipologies de materials per donar suport en aquest procés. Podem encabir en aquesta categoria fórmules clàssiques (aprenentatge basat en projectes, flipped classrom, etc.), però també altres propostes noves, o adaptacions, que puguem dur a terme en base al material d'estudi previ.

Per «eines tecnològiques» entenem, bàsicament, dos tipus de tecnologies:

- Programari: Llenguatges, abstraccions o entorns de programació o d'experimentació on l'alumnat pugui desenvolupar els coneixements o experiències vinculades a la Supercomputació.
- Maquinari: en quina mesura es pot acabar necessitant accés a un Supercomputador real o si, alternativament, podem acabar proporcionant funcionalitats «similars» (a escala) mitjançant altres solucions més a l'abast d'un centre educatiu públic.

4.3 Fase 3 : Implementació

Donat l'abast relativament reduït d'un TFM comparat amb l'abast del desenvolupament final i complet de l'objectiu plantejat (apropament a la Supercomputació no només a Tecnologia, sinó, potencialment, a **totes** les assignatures de **tots els cursos** de l'ESO), no seria realista plantejar una implementació completa de tots els mecanismes identificats/proposats. Tanmateix, a manera d'exemple i guia, desenvoluparem un mínim de propostes o idees, i plantejarem orientacions sobre com desenvolupar-ne d'altres.

4.4 Fase 4 : Avaluació

Com en el cas anterior, una avaluació completa de la proposta final hauria d'incloure la seva implementació a totes les assignatures i cursos de l'ESO que s'hagin identificat, amb un desenvolupament total de les propostes, cosa que no és realista per un TFM. En aquest cas, el que plantegem es complementar les activitats proposades com a exemples amb unes

guies d’avaluació per part del professorat que les imparteixi i per l’estudiantat que hi participi, per tal de poder tenir una retroacció de com han anat aquelles activitats: si el nivell i l’enfoc era adequat, si es troben a faltar coneixements preliminars, si el suport tecnològic és suficient, etc.

5 Planificació i recursos

Tenint en compte l'estructura de fases i la càrrega lectiva del TFM, presentem a continuació la planificació plantejada pel mateix (assumint una dedicació de 2h/dia):

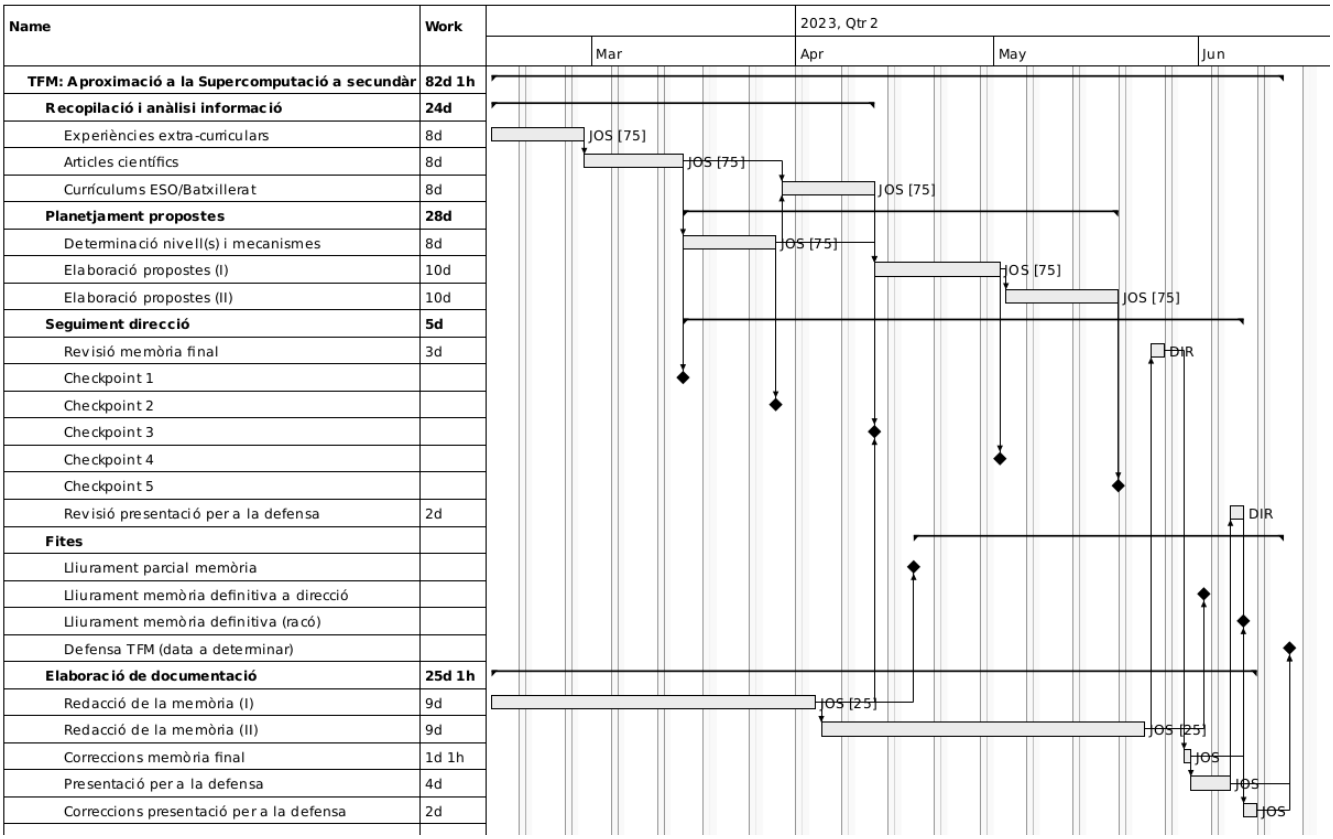


Figure 3: Planificació del TFM

Com podem veure, la planificació incorpora les fases descrites en l'apartat «4 Metodologia de treball», però inclou també altres tasques de més baix nivell relatives al seguiment, elaboració o correcció tant del document del TFM com de la corresponent defensa. S'han adaptat les càrregues de feina per tasques (i, per tant, l'abast, com s'ha descrit anteriorment) per tal d'encabir el màxim possible en la dedicació màxima teòrica d'un TFM.

Pel que fa a recursos materials o econòmics, considerem que no són rellevants com per incloure'n el detall. Donat el caràcter d'estudi/proposta teòrica d'aquest TFM, els únics materials amb cost econòmic que utilitzarem seran un ordinador per accedir a la informació i preparar la documentació i una connexió a Internet, dels quals ja disposem.

6 Desenvolupament del treball

Aquesta secció presenta el gruix del treball d'anàlisi, propostes, implementació i avaluació, seguint l'esquema d'etapes plantejat a «4 Metodologia de treball».

6.1 Anàlisi previ

A continuació podem trobar les principals conclusions extretes de l'anàlisi dut a terme en els tres àmbits determinats.

6.1.1 Aproximacions extra-curriculars (públic pre-universitari)

Entenem per «aproximacions extra-curriculars» aquelles activitats de formació o difusió en Supercomputació enfocades a alumnat pre-universitari (primària, secundària, FP) que es desenvolupen fora del temari del currículum del nivell corresponent i on l'entitat que el desenvolupa no és el propi centre d'ensenyament (tot i que, com veurem, en determinats casos es pugui dur a terme, físicament, en el centre d'ensenyament). Per tal de limitar l'abast d'aquest estudi i encabir-ho en la dedicació màxima d'un TFM, hem dut a terme una selecció prèvia de les organitzacions a analitzar, basant-nos en criteris de «proximitat», que explicarem a continuació. Els organismes/entitats que hem considerat per a aquest estudi d'aproximacions extra-curriculars a la Supercomputació, són els següents:

- RES (Red Española de Supercomputación) [7]. Està integrada per 14 nodes interconnectats entre sí, entre els quals es troba el BSC. A la seva pàgina web es pot trobar el llistat de nodes, que també s'ha inclòs en aquest document a l'apèndix «A Llistat de nodes de la RES».
- El consorci Lumi [8], que és el consorci que gestiona el primer supercomputador pre-exaescale europeu, dintre de del programa EuroHPC-JU [1].
- El RIKEN Center for Computational Science [9] a Japó i l'Argonne National Laboratory [10] als Estats Units. Ambdós centres mantenen nexes de col·laboració amb el BSC en el marc dels workshops Joint Laboratory for Extreme Scale Computing (JLESC) [11].

La metodologia que hem emprat ha consistit en l'anàlisi la presència on-line de cada organisme (principalment, pàgines web) per identificar activitats de formació / difusió de la Supercomputació enfocades a alumnat pre-universitari. En els casos en que s'ha constatat que un centre desenvolupa aquest tipus d'activitats, s'ha analitzat, en la mesura del possible, el contingut i la metodologia de les mateixes.

6.1.1.1 Activitats nodes RES

Pel que fa a la RES, a l'apèndix «A Llistat de nodes de la RES» s'inclou el detall de cada node, indicant si s'han localitzat activitats de formació. Com podem comprovar, 4 dels 14 nodes duen a terme activitats de formació i/o difusió de la Supercomputació amb un enfocament a alumnat pre-universitari.

En el cas d'aquests quatre nodes, hem dut a terme un anàlisi amb més detall d'aquestes activitats, que s'inclou a l'apèndix «B Actuacions educatives pre-universitàries nodes RES». D'aquests quatre nodes, tres ofereixen visites guiades, enfocades a alumnat de primària, secundària o FP. En la majoria d'aquests casos, es tracta de visites a les instal·lacions on s'explica què és un supercomputador i quins avantatges ofereix, juntament amb una explicació de les línies de recerca i programes concrets de cada node. Un node ofereix visites als centres per fer xerrades de difusió de la ciència, en general, entre les que podem trobar algunes que inclouen conceptes de Supercomputació. Només trobem un centre (el BSC) que desenvolupi programes i/o activitats «formatives» que es puguin assimilar a «cursos» de Supercomputació.

En concret, al BSC destaquen tres programes:

- «Som investigadores»: juntament amb la visita al Marenostrum, l'alumnat de tercer/quart de primària participa en una sèrie de jocs (vuit en total) on, mitjançant experimentació en primera persona, se'ls intenta transmetre conceptes bàsics de Supercomputació. Un dels jocs, per exemple, consisteix en veure la diferència de temps entre classificar una sèrie de pilotes de colors quan aquesta acció és duta a terme només per un alumne/a comparat amb el cas en el que l'acció és executada per un grup de quatre alumnes. Mitjançant aquesta activitat, l'alumnat pot experimentar què implica «fer coses en paral·lel» (paral·lelisme), o el cost que suposa sincronitzar múltiples processos paral·lels (posar-se d'acord per collir pilotes o deixar-les a una caixa on ja hi ha companys/es deixant d'altres).
- «L'aventura de la supercomputació a l'aula»: es tracta de la versió on-line del «Som investigadores». També, mitjançant jocs virtuals, s'intenta transmetre conceptes de Supercomputació a l'alumnat, però sense necessitat (o capacitat) d'anar a veure el Marenostrum.
- «Bojos per la Supercomputació»: desenvolupat en conjunció amb la Fundació La Pedrera, aquest és un programa més complex enfocat a alumnat de primer de batxillerat. A l'apèndix «C Temes «Bojos per la Supercomputació 2023» s'inclou el detall del temari d'aquest programa pel curs 2023. Com podem veure, s'inclouen unes classes preliminars de teoria/pràctica sobre Supercomputació en particular per, després, passar a treballar en àmbits transversals («Supercomputació aplicada a X» o «Com el camp del coneixement X es pot beneficiar de la Supercomputació»).

Aquestes classes són desenvolupades per personal dels diferents departaments de recerca i operacions del BSC. El plantejament de les sessions és teòric-pràctic: l'alumnat assisteix a classes (majoritàriament magistrals) on se'ls expliquen conceptes d'un tema concret (paral·lelisme, biologia molecular, etc.) per, a continuació, procedir a fer petites pràctiques on s'apliquen aquests coneixements. Per tal de dur a terme aquestes pràctiques, l'alumnat es connecta als diferents nodes del Marenostrum des dels seus ordinadors, accedint així als serveis de supercomputació.

De l'anàlisi de la tipologia i metodologies de les activitats exposades prèviament, es poden extreure les següents conclusions:

1. Podem distingir un primer nivell, bàsic, de coneixement més genèric, que s'imparteix mitjançant visites i/o xerrades.
2. Podem utilitzar l'experimentació física («jo sóc un microprocessador, i amb els meus companys i companyes, que són també microprocessadors, constituïm un petit superordinador físic que pot treballar en paral·lel») per simplificar abstraccions i fer-les més intel·ligibles a alumnat relativament jove.
3. En el cas que més s'aproximaria a «cursos reglats» (el «Bojos per la Supercomputació»), la metodologia no dista gaire d'algunes emprades a centres de secundària en el seu dia a dia (p.ex., en el cas de Tecnologia, on es poden combinar classes teòriques amb pràctiques de taller).

Donat que hem tingut la sort de poder assistir com a docents a alguna jornada del «Bojos per la Supercomputació», podem incloure també alguna observació que és interessant tenir en compte de cara a plantejar activitats similars enfocades a secundària. Destacaríem dues:

1. La importància d'eliminar barreres d'interfície. El món de la Supercomputació, en alguns casos particulars, és un món encara molt basat en «línia de comandes», una interfície de text amb unes comandes i una manera de funcionar que suposen un impediment addicional per l'alumnat que no hi està acostumat. El fet que la majoria de sistemes operatius domèstics avui dia incloguin interfícies gràfiques d'usuari que amaguen l'accés a funcions de baix nivell (interpret de comandes) fa que aquest alumnat pateixi per utilitzar algunes de les eines necessàries – basades en línia de comandes- que cal fer servir per les pràctiques.
2. Ponderar la necessitat de «conceptes avançats» o, en tot cas, com plantejar-los. Pensem en conceptes habituals quan es treballa amb paral·lelisme a baix nivell, com «deadlock». O «arquitectures superescalars». Si bé són conceptes que caldrà conèixer quan es vol treballar en profunditat en temes de paral·lelisme, la seva introducció a les sessions hauria d'ésser planificada i plantejada amb cura, atès que hem pogut observar que també suposen un punt de bloqueig que els pot impedir aprofundir en els exercicis.

És molt probable que, amb més temps per les sessions, aquests dos punts anteriors poguessin ser assimilats amb menys dificultat. En cas de no disposar-ne, caldria replantejar-se la seva necessitat o enfocament.

6.1.1.2 Activitats consorci LUMI

La revisió de la pàgina web del consorci LUMI no ofereix cap evidència que aquest consorci ofereixi activitats de difusió / formació a estudiantat pre-universitari. Donada la seva joventut i la possibilitat que encara no hagi començat aquest tipus d'activitats, hem procedit a comprovar si, alternativament, alguns dels centres membre d'aquest consorci, oferien aquest tipus d'activitats. Malauradament, no hem pogut trobar cap centre integrant de LUMI que ofereix formació més enllà de la típica enfocada a l'ús dels recursos de Supercomputació oferts per part del personal investigador.

6.1.1.3 Activitats RIKEN/ANL

Tot i que RIKEN, a la seva pàgina web, inclou una secció de «Training & Outreach» que cita «Schools», quan es revisa aquesta secció es pot comprovar que es tracta dels típics esdeveniments enfocats a estudiantat universitari o de doctorat («Summer Schools») per aprofundir en temes específics. No hi ha, fins on hem pogut veure, cap activitat de formació en Supercomputació específica per alumnat pre-universitari. En l'actualitat, a més, no existeix possibilitat d'assistir a visites per conèixer Fugaku (el segon superordinador més potent del món, a data d'avui, hostatjat a RIKEN), per restriccions vinculades al COVID-19. No hem trobat informació rellevant al respecte del format de visites i/o públic objectiu en etapes anteriors.

Pel que fa a Argonne (ANL), podem trobar a la seva pàgina web també una secció d'«Educational Programs and Outreach» una gran quantitat de programes enfocat a estudiantat pre-universitari, que recollim a l'apèndix «D Programes ANL (pre-universitaris)». Podem comptabilitzar fins a 21 programes de formació/difusió d'ANL enfocats a públic pre-universitari. El gran número de programes, comparat amb els altres exemples que hem trobat, es pot entendre donada la mida i caràcter de l'ANL, molt més gran i molt més pluridisciplinari. En aquest sentit, és interessant remarcar que en cap d'aquests 21 programes es fa referència explícita a la Supercomputació, paral·lelisme o similar. Els conceptes que més s'aproximen (des d'un punt de vista de ciències de la computació), serien «Biga Data», «Data 4 All» o «Programming for Science». És cert que, pel títol i la descripció, altres programes podrien haver d'incloure un mínim de continguts sobre Supercomputació (és el cas de «Exemplary Student Research Program», «College Bound Research», «All About Energy» i «Extreme X-Rays), tot i que aquest extrem no apareix explícitament a les descripcions.

Tot i no poder concloure que cap de les activitats de l'ANL inclogui enfocament a Supercomputació, si que és interessant analitzar el format que s'adopta per a l'aproximació de l'estudiantat de secundària a camps de recerca on, molt probablement, com a mínim, s'apliquin recursos de Supercomputació.

Podem classificar el tipus d'activitats d'ANL en 4 grans grups:

1. Xerrades a middle/high-schools, tant en format presencial com virtual.
2. Projectes anuals on les escoles formen equips que treballaran un tema de recerca fent servir els recursos de l'ANL i amb el seguiment d'un/a científic/a de l'ANL. En alguns casos, s'acaba fent una presentació en format fira/pòster.
3. Competicions. Donat un «problema» (bateries, cotxes autònoms, etc.), i fet un «briefing» comú, els equips dissenyen la seva millor solució i la sotmeten a un concurs/competició contra la resta d'equips.
4. «On-site camps»: cursos de curta durada (1 setmana màxim) per introduir a l'estudiantat a un concepte concret (programació, big data, etc.)

6.1.2 Activitats enfocades a altres públics

Un cop analitzades les activitats dels centres/entitats escollides pel que fa a públic pre-universitari, hem passat a fer una revisió a d'altres metodologies o enfocaments que puguin fer servir per difondre o aproximar a la Supercomputació a públic d'una edat més avançada, sigui universitari o post-universitari.

Com era d'esperar, totes les entitats seleccionades duen a terme aquest tipus d'activitats, enfocades a facilitar l'ús de les seves instal·lacions, equipaments, recursos... En aquest cas, ens interessa no tant el detall de cada curs (que es faria massa llarg i és, a més, innecessari per a la finalitat d'aquest TFM), sinó els formats i metodologies que s'apliquen, per avaluar si podrien ser interessants d'aplicar en la nostra proposta.

Analitzant les activitats de formació/difusió **no** orientades a alumnat pre-universitari d'aquestes entitats, podem observar tres grans categories:

1. Cursos intensius en una tecnologia: es tracta de cursos en format clàssic (classe magistral + pràctiques guiades) en determinades tecnologies que son oferides pel centre (p.ex., cursos per l'ús del Marenostrum, cursos de programació paral·lela fent servir OpenMP [12], etc.).
2. «Summer Schools»: normalment patrocinades per alguna entitat o associació (p.ex. l'ACM). Condensen, normalment en 1 setmana, xerrades (i, en menor manera, exercicis pràctics) sobre tecnologies rellevants per la recerca (p.ex., les «HPC Summer Schools» de l'ACM al BSC i a Dallas).

3. «Hackatons»: També anomenats «codefest», són esdeveniments on un gran número de persones es troben (en principi, físicament) per treballar col·laborativament en la resolució d'un problema fent servir tecnologies de computació o, més genèricament, eines STEM. La idea dels hackatons, en el context de la formació, és connectar expert(e)s en tecnologies concretes amb persones que les faran servir, en el mateix espai físic, en un temps concentrat (els hackatons solen ser d'entre 8-24h), amb l'esperança que aquesta col·laboració aprenent-expert resulti en una millora de les capacitats de l'aprenent en fer servir aquelles tecnologies que es volen promocionar. En el context d'aquest TFM, hi ha tres hackatons realitzats pel BSC que és interessant destacar:

   a) MNHACK: Marenostrum hackaton

   b) BSC-NVIDIA GPU Hackathons for HPC and AI

   c) Arm SVE Hackathon

   En tots tres casos, l'objectiu del hackaton és oferir accés a tecnologies gestionades pel BSC (integrades entre les eines de Supercomputació de que disposa) per tal d'ajudar a les persones participants a avançar en el desenvolupament dels seus projectes fent servir aquestes tecnologies, mitjançant la presencia d'experts del BSC i d'altres entitats que els poden ajudar en els dubtes concrets que se'ls plantegin durant el hacakton.

6.1.3 Articles científics

Hem considerat interessant incloure en l'estudi previ la vessant de recerca. Per tant, hem realitzat cerques d'articles científics enfocats a proposar, analitzar o millorar metodologies per ajudar a l'alumnat a assolir coneixements vinculats amb la Supercomputació/paral·lelisme. Si bé en principi el focus principal era trobar referències a aplicacions concretes a estudiantat pre-universitari, hem volgut obrir el ventall per incorporar també articles i estudis treballant sobre el procés d'ensenyament-aprenentatge en general o fins i tot alguns en els quals el subjecte objectiu era estudiantat universitari o professionals no-expert(e)s en tecnologies de la computació.

És interessant comprovar com ja al 1991 existia interès per apropar la Supercomputació a l'estudiantat pre-universitari. A [13], es descriu un projecte dut a terme al Los Alamos National Laboratory (el «New Mexico High School Supercomputing Challenge») per tal d'apropar la Supercomputació a l'estudiantat de les High Schools de New Mexico (concretament, al rang dels graus 9 a 12, dels 14 als 18 anys d'edat). En aquest projecte, les escoles desenvolupaven un projecte de ciència computacional durant tot un curs lectiu, fent servir els recursos de Supercomputació de que disposava el Los Alamos National Laboratory. Cada equip comptava amb un/a professor/a responsable que, juntament amb l'alumnat, rebia una

introducció a la ciència computacional i a la Supercomputació en un workshop de dos dies i després tornava a les seves escoles a desenvolupar el projecte. A més, cada equip tenia assignat un/a «technical coach», una persona experta del laboratori que podia ajudar a l'equip amb els dubtes i problemes que sorgissin tant en la part de programació (que es desenvolupava en C i/o Fortran) com en la part logística (connexions, etc.) Els centres que no disposaven d'equipaments per poder treballar en remot eren ajudats mitjançant el préstec d'equipaments per part del laboratori. Com a finalització del projecte, els equips desenvolupaven un pòster on presentaven allò que havien aconseguit assolir. Aquests pòsters eren jutjats per un equip d'experts i expertes de laboratoris i universitat de l'àrea, que assignaven una puntuació en base a una sèrie de criteris preestablerts. La fase final va incloure una cerimònia de lliurament de premis amb una visita als supercomputadors que havia fet servir l'estudiantat. Es van atorgar premis a tothom (una calculadora científica) i als equips guanyadors de cada categoria: import en metàl·lic per a la compra de material de computació pel centre. A més, els tres millors participants a nivell individual van rebre una beca per instituts i universitats de la zona. Les principals conclusions d'aquest projecte són les següents:

- Aquest tipus de programa va servir per augmentar l'interès de l'estudiantat en ciència en general i computació en particular.
- Va ser molt important fer un seguiment proper. El professorat no disposava del temps ni el coneixement per ajudar als equips en determinats temes. En aquest sentit, la figura de «technical coach» va ser clau per ajudar en temes vinculats a (Super)computació.
- Es va trobar que el professorat requeria un nivell addicional de coneixements en ciència i computació que, afortunadament, eren complementat per les figures de «technical coach», tot i que es va constatar que, amb els recursos adequats, sessions addicionals de formació pel professorat haguessin ajudat a mitigar aquest efecte.
- El programa era obert (sense selecció prèvia), la qual cosa va facilitar arribar a més escoles.

Un projecte molt similar es va desenvolupar dels anys 1991 al 1993 al Pittsburg Supercomputing Center [14]. L'estructura de la proposta va ser similar a la de Los Alamos, però es va prorrogar per tres anys, amb la diferència que en aquest cas, a més, no es plantejava una estructura competitiva o basada en premis i que les escoles eren seleccionades en base a una proposta inicial. La resta de components era molt similar, amb la figura del «technical coach» (en aquesta cas, «User Consultant») disponible pels equips, i es feien servir llenguatges de programació de relatiu baix nivell (Fortran/C). Altra diferència important és que, en aquest cas, el professorat i l'estudiantat rebia formacions addicionals durant el curs (no únicament abans, com en el cas de Los Alamos). Les conclusions d'aquest

projecte, tot i les diferències puntuals, són molt similars a les exposades en el projecte de Los Alamos.

A [15] es presenta una iniciativa per apropar la Supercomputació a públic no-expert (no específicament pre-universitari, tot i que s'ha aplicat amb aquest sector), combinant quatre estratègies: «Science in Plain English», «Questions and Answers», «Tours» i «Rounds». Es tracta de apropar la Supercomputació evitant, en la mesura del possible el que els anglesos anomenen «technical jargon» (argot tècnic), fent servir, alternativament «storytelling», analogies i jocs. Aquestes sessions es complementen amb sessions de preguntes i respostes en base al material proporcionat, visites als centres de dades del «Oklahoma University Supercomputing Center for Education & Research (OSCER)», el centre on es va desenvolupar aquesta iniciativa. Finalment, els «rounds» consistien en reunions periòdiques del grups de treball amb experts en Supercomputació per tal de fer revisions puntuals dels codis que estaven desenvolupant. Com hem indicat, aquest programa no estava enfocat a alumnat pre-universitari, però es va donar participació de grups d'aquest segment tant en les activitats de «Science in Plain English» com els «Tours». Les conclusions d'aquest treball apunten a la importància dels «Rounds» per apropar els experts en Supercomputació amb els grups que treballen en els projectes concrets, l'impacte positiu de les visites a infraestructures («Tours») així com la importància del «Science in Plain English» per reduir la barrera d'entrada. Finalment, destaca l'impacte positiu de tecnologies com «Condor» [16], [17], que permet la construcció de clústers de Supercomputació a partir de màquines distribuïdes aportades pels participants del clúster.

Tot i que enfocat a alumnat dels primers cursos de carreres de computació, i tractar-se d'un resum d'un panell d'experts, a [18] es donen quatre plantejaments de com apropar estudiantat al paral·lelisme que coincideixen en la base: utilitzant abstraccions d'alt nivell. Des de llenguatges que incloguin mecanismes de paral·lelisme en la seva sintaxi i funcionament fins a directrius basades en «pragmes», com OpenMP. En un format similar (presentació d'un workshop) i orientat al mateix segment d'usuaris, a [19] es plantegen sessions de «hands-on» en un petit clúster Beowulf [20] per a resoldre petits problemes que inclouen aspectes de paral·lelisme, incrementant l'abstracció i la complexitat a cada pas.

Encara que no enfocat directament a Supercomputació, a [21] es presenta una sessió per apropar temes de computació a estudiantat pre-universitari mitjançant «màgia» (prestidigitació), com una manera de «desmitificar» ambdues coses.

A [22] es descriu una experiència ensenyant programació i conceptes de paral·lelisme a alumnat d'entre 9 i 10 anys que no tenia experiència prèvia en programació. En aquest treball es desenvolupa un llenguatge «paral·lel» molt proper al llenguatge natural (amb construccions tipus «per a tots, fer...»), acompanyat d'un entorn gràfic web on l'alumnat pot provar els seus programes. A més, s'introdueixen conceptes de paral·lelisme fent servir jocs i

activitats «físiques» en grup (de la mateixa manera que es fa a les visites per a primària del BSC). En aquest cas, no es va requerir de cap clúster ni cap Supercomputador.

A [23] es presenten opcions per incorporar els clústers com a part del procés d'ensenyament de tècniques de Supercomputació fent servir entorns com Beowulf (i, per tant, aprofitant ordinadors «estàndard») i, el que és més interessant, fent servir el procés de construcció del clúster com a part del procés d'aprenentatge (els alumnes participen en la construcció del seu propi clúster).

A continuació trobem una sèrie de treballs que enfoquen l'ús o l'ensenyament del paral·lelisme a través de representacions gràfiques. A [24] s'estudia una representació basada en grafs dirigits on determinats tipus de vèrtex serveixen per «obrir» paral·lelisme o «recollir» resultats. La idea que pretén transmetre aquest article és que aquesta representació pot ser molt més propera a l'estructura d'un programa paral·lel que altres codis escrits. En la mateixa línia, a [25], [26] es proposen aproximacions a l'ensenyament de tècniques de paral·lelisme fent servir entorns visuals de programació basats en blocs. En el primer cas, es proposa una extensió d'Snap! per implementar paral·lelisme real fent servir WebWorkers de navegador web mitjançant un bloc específic. També es proposa utilitzar el mecanismes de «clons» per exemplificar la diferència entre execució seqüencial i execució en paral·lel. En el segon cas, es desenvolupa un petit llenguatge visual de blocs, similar a Snap! o a Scratch, anomenat BlocklyPar, per tal de construir tutorials (jocs, reptes) que van evolucionat de codi principalment seqüencial a paral·lel a mesura que el tutorial avança. En cada fase dels tutorials es van treballant reptes que van incorporant els idees i principis bàsics de paral·lelisme (balanceig de càrrega, sincronització, etc.) En aquest segon cas, a més, s'incorpora un estudi de l'aplicació d'aquesta tècnica en un grup d'alumnat, les conclusions del qual apunten que aquesta metodologia pot resultar beneficiosa per millorar l'aprenentatge d'aquest tipus de conceptes. En cap dels tres treballs descrits s'està fent referència a alumnat pre-universitari, però considerem que aquest tipus de metodologies són molt interessants d'incorporar com a treball previ, i més tenint en compte que, en molts centres de secundària, es fan servir llenguatges visuals basats en blocs per treballar el temari d'assignatures que inclouen programació.

A [27] es conclou que la utilització de la metodologia de «flipped classroom» ha resultat positiva en l'experiment dut a terme, utilitzant-la per ensenyar conceptes de concurrència i paral·lelisme, doncs s'han assolit millors indicadors de finalització dels exercicis proposats, tot i que part de l'estudiantat ha trobat la metodologia més complexa que la típica classe magistral seguida d'exercicis pràctics. Val a dir que aquest cas es va dur a terme a cursos de Computer Science (Parallel and Concurrent Programming) de la University of Texas El Paso.

De la lectura i anàlisi d'aquest recull d'articles, podem extreure diverses conclusions:

1. És possible (i desitjable) apropar la Supercomputació a nivells educatius pre-universitaris.

2. La utilització de «supercomputadors» reals o virtuals, o clústers, pot suposar un al·licient per a l'alumnat.
3. La construcció del clúster de «Supercomputació» pot ser part del procés d'aprenentatge.
4. Tot i que és possible realitzar aquesta apropament amb llenguatges de programació i metodologies clàssiques i fent servir una infraestructura de Supercomputació real, aquestes aproximacions requereixen més temps i el suport continuu d'un perfil de «expert» en Supercomputació.
5. La utilització de llenguatges visuals basats en blocs per ensenyar paral·lelisme (tant si és real com simulat) pot reduir el temps d'aprenentatge oferint els mateixos resultats d'aprenentatge que altres llenguatges de programació.
6. En el cas d'utilitzar llenguatges de programació textuals, és interessant fer servir aquells que incorporen construccions paral·leles en la seva sintaxi.
7. La experimentació física («jo sóc el microprocessador i col·laboro amb la resta de persones del grup, que també són microprocessadors per fer una feina determinada»), juntament amb el fet d'evitar argot excessivament tècnic, ajuda a simplificar conceptes i a interioritzar de manera senzilla conceptes que, d'altra manera, poden suposar una barrera d'entrada important.
8. Juntament amb les metodologies clàssiques (classe magistral i pràctiques guiades), altres metodologies han demostrat resultats interessants: aprenentatge basat en reptes/projectes, competicions/tornejos, «flipped classroom», storytelling, analogies, jocs.

6.1.4 Currículum de l'ESO

Per desenvolupar aquest punt, s'ha procedit a analitzar el conjunt de les assignatures que componen el currículum dels quatre cursos de l'ESO (tant obligatòries com optatives). Per cada assignatura, hem intentat trobar «punts d'extensió» als sabers o criteris assignats que permetin incloure, de manera més o menys extensa, conceptes i vincles amb el món de la Supercomputació. En base a la quantitat o qualitat de punts d'extensió trobats per cada assignatura, hem classificat aquestes en quatre categories del que hem anomenat «intensitat». Entenem, en aquest context, «intensitat» com la capacitat que ofereix aquella assignatura per incloure-hi coneixements o referències a Supercomputació, en funció dels continguts del currículum (criteris, sabers) així com l'estat de l'art actual en Supercomputació (aplicacions existents). Els criteris d'intensitat són els que es mostren a la Table 1.

Table 1: Descripció de les "intensitats" els "punts d'extensió"

Intensitat	Descripció
0	***A priori***, no es detecten punts d'extensió evidents.
1	Es detecten punts d'extensió mínims, que permetrien introduir referències o exemples de casos d'ús de poca intensitat.
2	Es detecten punts d'extensió significatius, que permetrien introduir referències i casos d'us de gran intensitat, incloent experimentació, des d'un punt de vista transversal.
3	Es detecten punts d'extensió significatius, que permetrien introduir referències i casos d'us de gran intensitat, incloent experimentació, des d'un punt de vista local (pròpiament).

És important destacar que, quan parlem d'aprofitar una assignatura per incloure-hi conceptes o relacions amb la Supercomputació, no estem limitant aquesta possibilitat a aquella assignatura en solitari; és a dir: en aquests casos contemplem –i de fet, probablement seria recomanable- la possibilitat que aquesta ampliació es produeixi durant el treball en projectes transversals o compartits entre assignatures.

Per tal de no partir només del nostre coneixement intrínsec sobre com d'aplicable és la Supercomputació a una matèria de secundària, hem procedit a creuat el temari i els conceptes del currículum de l'ESO amb el temari del «Bojos per la Supercomputació 2023» impartit pel BSC, com a referència fiable, identificant així els punts d'intersecció, que es correspondrien als punts d'extensió explicats prèviament. El detall del l'encreuament del currículum de l'ESO amb el temari del «Bojos per la Supercomputació 2023» es pot trobar a l'annex «E Intersecció matèries ESO / activitats formació pre-universitària BSC». Basat en aquest, la informació al respecte de la classificació de les assignatures de l'ESO segons les intensitats identificades es pot trobar a la Figure 4.

Assignatura	Curs		Intensitat
	1-3	4	
Aranès i Literatura a l'Aran	✓	✓	1
Arts Escèniques i Dansa		?	1
Biologia i Geologia	✓	?	2
Ciències Socials: Geografia i Història	✓	✓	1
Cultura Científica		?	2
Cultura Clàssica	?	?	0
Digitalització		?	3
Economia Bàsica		?	1
Educació en Valors Cívics i Ètics		✓	1
Educació Física	✓	✓	0
Educació Plàstica, Visual i Audiovisual	✓		1
Emprenedoria	?	?	1
Expressió Artística		?	1
Filosofia		?	1
Física i Química	✓	?	2
Formació i Orientació Personal i Professional		?	1
Llatí: Llengua i Cultura		?	0
Llengua Castellana i Literatura	✓	✓	1
Llengua Catalana i Literatura	✓	✓	1
Llengua Estrangera	✓	✓	1
Matemàtiques	✓	✓	1
Música	✓	?	1
Robòtica i Programació	?		3
Segona Llengua Estrangera	?	?	1
Tecnologia		?	3
Tecnologia i Digitalització	✓		3

«✓» obligatòria, «?» optativa

Figure 4: Classificació assignatures ESO per intensitat

Com podem veure, hem identificat 3 assignatures amb intensitat 0, on, a priori, ens sembla difícil aprofitar el currículum per vincular-hi conceptes o aplicacions de Supercomputació. Dues assignatures tenen a veure amb cultures o llengües clàssiques («Cultura Clàssica» i «Llati: Llengua i Cultura»), on, analitzant el currículum, no ha aparegut cap «punt d'extensió» evident. La tercera és «Educació Física»; val a dir que, en aquest cas, hem dubtat entre classificar-la amb intensitat 0 o 1, atès que es podria aprofitar una mínima escletxa per fer un mínim de didàctica al respecte de mètodes d'IA (p.ex.: en la detecció de moviment i postures) o en l'aplicació de la Supercomputació a tecnologies de competicions esportives (p.ex. dissenys aerodinàmics). Tanmateix, la primera opció ens ha semblat massa tangencial, i la segona més vinculada al món de l'enginyeria o la física que no pas al de l'educació física.

A continuació trobem 16 assignatures identificades amb intensitat 1. En aquest bloc d'assignatures detectem oportunitats per «portar a col·lació» exemples o casos puntuals d'ús de la Supercomputació vinculats a la matèria concreta. El nivell d'intensitat i l'enfoc, en cada assignatura, serà diferent. P.ex., en el cas de les assignatures de llengües, es pot donar oportunitat d'incloure referències a models de llenguatge com ChatGPT [28], [29], reflexionant sobre com es construeixen i com funcionen aquests sistemes. En canvi, assignatures com «Filosofia», proporcionen un marc interessant per analitzar les capacitats de la Supercomputació i el seu impacte ètic i social.

Tres de les assignatures restants han estat avaluades amb intensitat 2. Aquest nivell d'intensitat ja permetria aprofitar el temari d'aquests assignatures per aprofundir en més

detall en conceptes de Supercomputació, no només en descripció de possibilitats o presentació de casos, sinó arribant, fins i tot, al punt de permetre la realització (o simulació) d'experiments del camp propi d'aquestes assignatures aplicant tecnologies i mètodes de Supercomputació. No és cap sorpresa que aquestes tres assignatures comprenguin els següents camps de les ciències: Física, Química, Biologia i Geologia.

Finalment, trobem quatre assignatures amb un nivell d'intensitat 3. Aquestes assignatures corresponen a un bloc que inclou coneixements vinculats a la tecnologia, digitalització, programació i robòtica, que poden donar pas de manera molt senzilla a treballar temes i conceptes de Supercomputació (de fet, en algunes matèries apareixen al currículum referències a «Big Data» o «Intel·ligència Artificial»). Aquestes assignatures permetrien tant una aproximació transversal, juntament a d'altres assignatures dels blocs anteriors, com una aproximació local, auto-continguda, on el focus principals no serien les aplicacions transversals de la Supercomputació, sinó el detall de determinats mecanismes i procediments o maneres de fer a baix nivell, com funciona «per dintre» la Supercomputació.

6.1.5 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)

A continuació mostrem el llistat dels ODS i indiquem, en base a l'anàlisi realitzat, en quins casos la Supercomputació pot mostrar-se com una eina que ajudi a assolir-los. Podem trobar informació detallada dels ODS a [30].

Table 2: Aplicabilitat de la Supercomputació als ODS

ODS	SC?
1. Erradicar la pobresa a tot el món i en totes les seves formes.	✓
2. Posar fi a la fam; assolir la seguretat alimentària i la millora de la nutrició, i promoure l'agricultura sostenible.	✓
3. Garantir una vida sana i promoure el benestar a totes les persones de totes les edats.	✓
4. Garantir una educació inclusiva, equitativa, de qualitat i promoure oportunitats d'aprenentatge durant tota la vida per a tothom.	?
5. Aconseguir la igualtat de gènere i empoderar totes les dones i les nenes.	?
6. Garantir la disponibilitat i una gestió sostenible de l'aigua, i el sanejament per a totes les persones.	✓
7. Garantir l'accés a una energia assequible, segura, sostenible i moderna per a totes les persones.	✓
8. Promoure el creixement econòmic sostingut, inclusiu i sostenible; l'ocupació plena i productiva, i el treball digne per a totes les persones.	✓
9. Construir infraestructures resilients, promoure la industrialització inclusiva i sostenible, i fomentar la innovació.	✓
10. Reduir la desigualtat en i entre els països.	

11. Aconseguir que les ciutats i els assentaments humans siguin inclusius, segurs, resilients i sostenibles.	✓
12. Garantir modalitats de consum i producció sostenibles.	✓
13. Adoptar mesures urgents per combatre el canvi climàtic i els seus efectes.	✓
14. Conservar i utilitzar de forma sostenible els oceans, mars i recursos marins per al desenvolupament sostenible.	✓
15. Protegir, restaurar i promoure l'ús sostenible dels ecosistemes terrestres; gestionar els boscos de manera sostenible; combatre la desertificació, aturar i revertir la degradació del sòl, i aturar la pèrdua de la diversitat.	✓
16. Promoure societats pacífiques i inclusives per aconseguir un desenvolupament sostenible; proporcionar accés a la justícia per a totes les persones, i desenvolupar institucions eficaces, responsables i inclusives a tots els nivells.	✓
17. Enfortir els mitjans per implementar i revitalitzar l'Aliança Mundial per al Desenvolupament Sostenible.	?

Veiem que, pel que hem pogut comprovar, la pràctica totalitat dels ODS mostra aspectes on la Supercomputació pot fer-ser servir com a eina per assolir-los. En alguns casos, això no sembla prou obvi per l'enunciat de l'ODS, però com diuen els anglosaxons: «el dimoni està al detall», i és, si baixem al detall, a les «Metes» de cada ODS, on trobem les pistes que ens indiquen que la Supercomputació és aplicable. Prenem com a exemple:

> «2. Posar fi a la fam; assolir la seguretat alimentària i la millora de la nutrició, i promoure l'agricultura sostenible».

A priori, no semblaria que un Supercomputador pugui ajudar en aquest objectiu, però dintre d'aquest ODS, trobem alguna «Meta» que sí que ens ho pot fer veure més clarament:

> «2.4 Per 2030, assegurar la sostenibilitat dels sistemes de producció d'aliments i aplicar pràctiques agrícoles resilients que augmentin la productivitat i la producció, contribueixin al manteniment dels ecosistemes, enforteixin la capacitat d'adaptació al canvi climàtic, els fenòmens meteorològics extrems, les sequeres, les inundacions i altres desastres, i millorin progressivament la qualitat del sòl i la terra»

Naturalment, aquestes metes es poden perseguir sense fer servir la Supercomputació, però per la tipologia de problemes que aquí es plantegen (millorar processos, conreus, llavors...) i les eines i capacitats que ens ofereix la Supercomputació al respecte (simulacions, anàlisis de dades...), sembla raonable fer-ne ús per tal d'assolir-los amb més facilitat.

6.2 Plantejament de mecanismes

Em aquest apartat presentarem, en base a l'anàlisi dut a terme i les conclusions obtingudes a les seccions anteriors, un seguit de ***recomanacions*** pel que fa a objectius, metodologies, recursos pedagògics i tècnics per tal d'apropar coneixements del camp de la Supercomputació al currículum de secundària. L'objectiu fonamental d'aquestes recomanacions és facilitar l'enfocament d'activitats en aquest sentit, donar al professorat implicat certs punts de referència a partir dels quals poder plantejar-les. A seccions posteriors oferirem exemples de més alt nivell (propostes o exemples de possibles activitats), que en part poden utilitzar els recursos que plantejarem en aquesta secció.

6.2.1 Conceptes o sabers rellevants

Sembla raonable plantejar-se, abans de passar a descriure possibles metodologies o situacions pedagògiques, què és el que volem transmetre a l'alumnat, què volem que acabin interioritzant al respecte de la Supercomputació, quins conceptes vinculats a la Supercomputació són els rellevants, bé sigui com a disciplina «per se» o com a eina de treball aplicada a altres camps del coneixement (biologia, física, materials...). A la taula 3 podem trobar els conceptes que hem seleccionat. Hem agrupat aquests conceptes en dues categories principals, com hem descrit anteriorment, però addicionalment, hem subdividit la categoria de Supercomputació «pura» en el que són conceptes que considerem de més fàcil assimilació i aquells que poden requerir un esforç o un nivell maduratiu i d'abstracció més alt, tenint en compte les edats del públic objectiu d'aquest plantejament. Naturalment, podrem trobar alumnat que, tot i tenir la mateixa edat, assumeix amb més facilitat que altres aquests conceptes més avançats, però hem trobat interessant realitzar aquesta separació atès que són conceptes que, si bé està bé conèixer, no aporten un valor diferencial pels nivells en els quals ens estem plantejant les actuacions i, en canvi, poden suposar un escull important si l'alumnat no els entén en primera instància, com hem pogut comprovar en algunes sessions del «Bojos per la Supercomputació».

Table 3: Conceptes de Supercomputació

Sabers i conceptes «per se»
• Conceptes «bàsics» ◦ Arquitectura bàsica d'un (super)ordinador ◦ Execució seqüencial / concurrent / paral·lela ◦ Acceleració («Speedup») ◦ Jerarquies de memòria: velocitat d'accés (latència) / capacitat / amplada de banda ◦ Cost de comunicacions / sincronització ◦ Escalabilitat ◦ Condició de carrera («race condition») ◦ Exclusivitat o exclusió mútua • Conceptes «avançats» ◦ Bloqueig («Lock») ◦ Provar-i-assignar («Test and set») ◦ Punt mort («deadlock») ◦ Emissió / reunió / dispersió («Broadcast» / «Gather» «Scatter»)
Sabers i conceptes aplicats
• Modelització i simulació • Aproximació als Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) • Representació i interpretació de dades

Com podem veure, els conceptes avançats «per se» corresponen a mecanismes molt detallats del funcionament de les execucions en paral·lel que considerem que no és necessari introduir de partida. N'hi hauria prou, en la nostra opinió, en presentar-los des d'una perspectiva de més alt nivell, sense entrar en el baix nivell; en aquest sentit, plantegem introduir conceptes com «condició de carrera» i «exclusió mútua», sense entrar al detall de com es soluciona tècnicament.

Pel que fa als sabers i conceptes aplicats, els hem agrupat en tres gran famílies. D'una banda, el concepte genèric de «modelització i simulació», on podem encabir un gran ventall d'activitats: des de simular ecosistemes o models de fenòmens físics fins a la simulació de resistència de materials. És en aquest punt concret, en la implementació de cada activitat, en el cas de projectes transversals, on s'hauria de buscar el cas concret a plantejar que pot donar a l'alumnat la visió de perquè aquell «problema» pot beneficiar-se de la Supercomputació.

En aquest sentit, també seria molt recomanable identificar en quins dels ODS impacten aquests «problemes» o «casos» que estem plantejant millorar amb l'ús de la

Supercomputació. Els ODS són una constant en el plantejament del currículum de secundària i, si no ho fossin, aquesta vinculació continuaria sent totalment vàlida, partint de la base que la Supercomputació és una eina i que, com a tal, podem fer-la servir per millorar les nostres societats (en totes les dimensions que els ODS plantegen). Naturalment, també és una eina que es pot fer servir per assolir objectius no tan nobles (disseny d'armament, en la seva vessant d'intel·ligència artificial: control social per part d'estats autoritaris o violacions de privacitat part d'empreses multinacionals, etc.). Aquests casos no tan ideals s'han de tenir en compte i potser es poden plantejar des d'una perspectiva ètica, tant a les assignatures de Tecnologia o Informàtica de manera aïllada o en combinació amb d'altres com Ciències Socials, Filosofia o Cultura Científica; tanmateix, pels casos que ens ocupen de disseny de situacions i materials, considerem que ens hem de focalitzar en la vessant positiva de la utilització de la Supercomputació.

Hem afegit un últim punt, «Representació i interpretació de dades». Si bé la Supercomputació (o la computació, en general) acaba derivant en operacions matemàtiques sobre números, moltes vegades és tant o més important la capa d'abstracció que apliquem sobre aquests, la manera que tenim de veure i interpretar aquests resultats, aquestes dades. Aquest fet pren encara més rellevància quan el volum de dades a analitzar i els resultats obtinguts passen, gràcies a la Supercomputació, a suposar un salt qualitatiu respecte al volum de dades que es poden tractar amb un únic equip. Considerem interessant, per tant, incloure activitats i coneixements que mostrin a l'alumnat com es treballa per visualitzar informació rellevant d'aquests grans volums de dades. Aquesta pot ser, a més, una gran oportunitat per fer aquestes activitats més atractives per a l'alumnat: si treballem, per exemple, per explicar-los com es prediu el comportament de les tempestes de sorra fent servir un Supercomputador, és molt probable que la nostra explicació guanyi atractiu si aconseguim mostrar-los imatges dels simuladors visuals que moltes vegades es fan servir per presentar aquests tipus d'informació. Anem, per tant, més enllà de les visualitzacions amb gràfiques de barres i sectors, intentem –en la mesura del possible- atreure i retenir l'atenció de l'alumnat amb aquestes eines tant potents que permeten als i les científiques visualitzar des d'una nova proteïna fins a com es genera un terratrèmol.

6.2.2 Propostes metodològiques i de materials

En base a la revisió de literatura i activitats extra-curriculars per apropar la Supercomputació en general (el paral·lelisme en particular) a públics tant pre-universitaris com universitari/post-universitari, considerem que es poden basar les propostes didàctiques en les següents metodologies:

- Combinació de classe magistral / taller (pràctiques, projectes guiats, oberts o lliures)
- Joc de rols
- Aprenentatge basat en projectes

- Aprenentatge basat en problemes
- Competició / torneig
- Classe invertida

Cal tenir en compte, tanmateix, que no es descarta cap altra metodologia, però donat el caire pràctic i tecnològic, així com l'aplicació de la Supercomputació a diferents camps per resoldre problemes concrets, aquestes semblen les metodologies mes adients. Per aquest mateix motiu (l'aplicació a d'altres àrees de coneixement), es considera molt interessant que, en la mesura del possible, els projectes o problemes que es desenvolupin formin part d'un projecte transversal (p.ex. tecnologia + física, tecnologia + biologia, etc.).

En aquest cas, tot i trobar-les molt interessants, s'han descartat opcions que han aparegut en l'anàlisi de pràctiques extra-curriculars, en concret:

- Hackatons: requereixen un nivell d'organització, participació i recursos per a la seva organització que no sembla a l'abast d'un centre d'educació secundària.
- «Summer Camps» / «Summer Schools»: atès que l'objectiu principal és l'aproximació de la Supercomputació al currículum de secundària, aquest tipus d'activitats puntuals i concentrades no semblen el més adient, a més de compartir amb el punt anterior la dificultat logística de la seva organització per part d'un centre d'educació secundària.

Tanmateix, hi ha components d'aquests dos elements (i que també es donen en alguns dels plantejaments/projectes revisats) que fora interessant incloure en les propostes didàctiques, ni que fos de manera tangencial, sempre que sigui possible:

- Participació de professionals de l'àmbit de la Supercomputació (pura o aplicada): entenem que la participació d'aquest perfil por enriquir les activitats, desbloquejar punts morts, donar indicacions interessants i inspirar a l'alumnat, motivant-los a avançar.
- Utilització de les infraestructures reals de Supercomputació com a part final de les activitats: considerem que, per projectes o propostes amb prou entitat i que incloguin la simulació d'un entorn paral·lel o l'ús d'un petit clúster al centre, fora de gran interès arribar a portar aquella solució implementada, un cop desenvolupat el projecte/proposta, a un Supercomputador real.

Naturalment, aquestes propostes requereixen de voluntat per part dels organismes relacionats amb la Supercomputació i de les persones que hi treballen, però com hem pogut veure a «6.1.1.1 Activitats nodes RES», aquesta voluntat ja és present en alguns casos. Pel primer punt, n'hi hauria prou amb recórrer a les xerrades que ja es plantegen (tant on-line com a l'aula), tot i que caldria d'una petita adaptació al projecte concret que s'estigui treballant i també caldria una mica de continuïtat. En el cas de l'accés als nodes de Supercomputació, atès que el seu ús està gestionat en base a una partició del temps

disponible entre una sèrie de grups d'usuaris segons normatives pròpies, caldria incloure entre aquests grups d'usuaris amb accés a particions lògiques/temporals dels supercomputadors als centres de secundària. Naturalment, en el cas hipotètic que tots els centres de secundària acabin incloent l'aproximació a la Supercomputació com a component al seu currículum, es donaria un problema de recursos, però si això acaba succeint, pagaria la pena mirar de resoldre'l.

6.2.3 Propostes tecnològiques

Incloem en aquesta secció un petit recull d'eines o propostes d'eines que considerem molt interessants de cara a donar suport tecnològic a l'objectiu d'apropar la Supercomputació a l'alumnat de secundària.

6.2.3.1 Maquinari

Pel que fa a maquinari, si bé avui dia la pràctica totalitat d'ordinadors personals (portàtils o escriptori) compten ja amb més d'un nucli d'execució, la qual cosa ja els fa aptes per donar suport a l'ensenyament de paral·lelisme, considerem molt interessant comptar amb un suport de maquinari en mode «servidor» que ens permeti reproduir, a petita escala, el model de treball d'un centre de Supercomputació. La proposta passaria, per tant, per mantenir a l'institut un equip multiprocessador i/o multinode que es pugui utilitzar des dels diferents projectes per tal de dur a terme execucions realment paral·leles de les activitats que es puguin desenvolupar a la resta d'actuacions que resultin de les propostes que s'inclouen en aquest treball o d'altres que puguin derivar-se'n. De fet, la creació i el manteniment d'aquest petit superordinador poden aprofitar-se per involucrar a l'alumnat i així generar situacions d'aprenentatge. En aquest sentit, proposem un possible plantejament – a alt nivell- a 6.3.1.1 Projecte: «El nostre petit supercomputador».

6.2.3.2 Programari

Pel que fa a programari, tant per la bibliografia analitzada com per la tendència dels darrers anys en quant a eines pedagògiques per introduir la programació d'aplicacions a les aules de primària i secundària, sembla evident que fora força interessant incorporar algun entorn de programació basat en blocs per tal de poder desenvolupar petites pràctiques i experiments al respecte del paral·lelisme, concurrència, execució seqüencial, etc.

Si bé és cert que molts entorns de programació basat en blocs inclouen conceptes de paral·lelisme de base (p.ex. l'entorn de Micro:bit), també és cert que aquests entorns solen estar més vinculats al món de la robòtica, on la simultaneïtat dels sensor i actuadors en temps real fa més natural aquest mode de programació, moltes vegades plantejat com un model de programació orientat a esdeveniments, tot i que en realitat aquest paral·lelisme pugui correspondre a un model real de concurrència amb suport d'interrupcions hardware.

Pel que fa a entorns «purament de programació» (no vinculats a cap microcontrolador o placa didàctica), el clar referent és Scratch, un llenguatge visual de programació basat en blocs creat al MIT. Scratch és, també per definició, un entorn de programació concurrent i basat en esdeveniments: podem tenir diversos programes («scripts») executant-se al mateix temps, cadascun d'ells vinculat a un personatge o «sprite» diferent (incloent l'escenari o «stage»). Es pot fer servir Scratch i, per tant, treballar amb programació concurrent (l'avant-sala de la programació en paral·lel) sense que l'alumnat sigui conscient de que allò que està fent no correspon a un model estricte de programació mono-fil («single-threaded») seqüencial. En aquest sentit, aprofitar aquesta plataforma per fer explícit aquest fet (que l'alumnat està programant diversos «scripts» que «s'executen tots a l'hora»), és un punt a favor d'aquesta plataforma.

Tanmateix, tot i que Scratch ofereix un entorn de treball força interessant per iniciar-se en la programació, tant en seqüencial com en paral·lel, encara que sigui de manera simulada (concurrència), considerem que pot quedar-se curt en el moment de passar a conceptes una mica més avançats. Scratch no dona suport, per exemple, a una cosa tan habitual a la programació real com són les estructures multidimensionals (matrius o llistes de llistes). Scratch tampoc ofereix una manera senzilla d'incloure «extensions» (blocs addicionals: funcions/procediments o noves funcionalitats). Aquests fets són, entre d'altres, els que van motivar la creació, partint de la idea d'Scratch, d'un entorn de programació, Snap!, també basat en blocs, però amb abstraccions de més alt nivell i una capacitat d'extensió que el fa molt interessant pel que fa a la seva adaptabilitat i, per tant, en la nostra opinió, com a suport en l'aproximació a la Supercomputació a secundària. Això, a més, queda reflectit en alguns dels articles científics que hem considerat com a «estat de l'art» en la part d'anàlisi inicial.

Així doncs, considerem interessant contemplar Snap! com un entorn de programació que pugui donar suport als experiments i activitats proposats. Snap! ens permet experimentar amb el paral·lelisme des de dues aproximacions. En primer lloc, sense haver de fer cap actuació addicional en la plataforma, només fent servir les funcionalitats que Snap! incorpora de sèrie, es poden crear blocs «pseudo-paral·lels» que implementin certes funcionalitats. Aquest blocs podrien comportar-se com blocs seqüencials o paral·lels en funció del mode d'execució que es configuri en cada ocasió, generant els resultats en més o menys temps (p.ex. incloent pauses en funció del mode d'execució i número de recursos de comput simulats). Si bé aquesta idea de simular paral·lelisme també es podria implementar amb Scratch, Snap!, amb la seva possibilitat de definir nous blocs ad-hoc, ofereix un escenari més adient.

Una segona possibilitat seria la de tenir paral·lelisme real a l'entorn d'Snap! Per a aquest objectiu podem considerar dues alternatives, tot i que totes dues inclourien la necessitat de desenvolupament de codi de suport, bé a la plataforma, bé a servidors externs. En primer lloc, considerem la implementació de paral·lelisme al «core» d'Snap!; per tal de fer-ho, caldria modificar-lo per incloure-hi la capacitat de fer servir WebWorkers com a threads reals

d'execució dels scripts d'Snap!, que actualment s'executen de manera concurrent (això és una possibilitat que ja hem vist que s'ha apuntat com a resultat dels treballs de recerca presentats a seccions anteriors). De manera alternativa, sense haver de modificar el «core» d'Snap!, podríem contemplar la «externalització» d'aquest paral·lelisme a un servidor (en comptes de l'ordinador personal on s'està executant Snap!). Això seria possible fent servir les extensions per comunicacions sobre xarxa que incorpora Snap! D'aquesta manera, podríem oferir a l'alumnat blocs per modelar un determinat procés paral·lel que, en el moment d'executar-se al seu ordinador, el que estaria fent, en realitat, seria transmetre a un servidor realment paral·lel la sèrie de comandes que ha d'executar, esperar pels resultats i continuar. Aquesta segona aproximació requeriria la codificació de blocs de comunicació i «externalització» («off-loading») de càlcul a la banda d'Snap!, que podrien desenvolupar-se fent servir l'entorn tal i com és i, d'altra banda, les corresponents operacions al servidor remot, que donarien cobertura a cadascun dels blocs paral·lels que es vagin incorporant a Snap!

També podem avaluar com a possibilitat la utilització d'entorns de programació en blocs dissenyats, específicament, per tal d'introduir al paral·lelisme a l'alumant. Tal és el cas de BlocklyPar (disponible a https://blocklypar.github.io/) i que també hem esmentat a la revisió d'estat de l'art. Tot i que no el puguem considerar un entorn de programació complet, donat el seu enfocament a oferir una plataforma introductòria, les activitats que proposa són força interessants i poden formar part de les sessions preliminars en activitats d'introducció al paral·lelisme o la Supercomputació.

BlocklyPar està desenvolupat sobre Blockly [31], que és, segons la descripció de la seva web: «A JavaScript library for building visual programming editors». Es tracta d'una eina que permet justament això, generar entorns de programació basat en blocs. En cas que el professorat disposi del temps i coneixements adequats, i es vegi amb cor de començar a dissenyar un nou entorn que s'adapti 100% a l'activitat que vol dissenyar, o que vulgui limitar l'abast i opcions de l'alumnat a una sèrie de blocs molt limitada, aquest entorn pot ser una opció. En el cas general, però, considerem que Snap! ofereix un punt de partida molt més realista, més flexible i amb més suport de la comunitat i eines ja pre-generades.

Fora del mon de la programació basada en blocs, anat a programació en mode text, cal tenir en compte que trobarem una dificultat afegida, i és la necessitat d'introduir a l'alumnat no només als conceptes de programació paral·lela / Supercomputació, sinó que haurem de moure'ls de l'entorn gràfic dels seus ordinadors personals a entorns on, en el millor dels casos, hauran de programar amb eines «Visuals» (però textuals) o, en el pitjor dels casos (tot i que alguns creguem que realment és el millor cas), d'haver d'obrir un terminal de text. En cas que l'alumnat i el professorat siguin prou valents per endinsar-se en aquesta opció, no els mancaran eines: OpenMP [12] i MPI [32] són els entorns de programació paral·lela/distribuïda estàndard «de facto». Tanmateix, la seva complexitat és, en la nostra opinió, diversos ordres de magnitud superior al que podem demanar-li a l'alumnat de

secundària. En aquest sentit, la recomanació seria traslladar al món de la línia de comanda allò que hem proposat al món de la programació orientada a blocs: escollir un bon llenguatge base que ens permeti oferir «abstraccions» d'alt nivell que l'alumant pugui connectar de manera senzilla per tal d'experimentar amb el paral·lelisme.

Python és un llenguatge de programació que també està fent-se un lloc com a llenguatge d'iniciació a la programació a secundària (tot i la popularitat dels entorns basats en blocs) i que ofereix llibreries tant per la programació paral·lela basada en fluxos [33] com per la programació paral·lela basada en processos [34]. Tanmateix, com en el cas d'OpenMP o MPI, i tot i l'existència de llibreries que pretenen fer la programació paral·lela en Python més senzilla (p.ex. ParallelPython [35]), trobem que la complexitat de les abstraccions ofertes per aquests mòduls, de molt baix nivell, és un impediment per fer-los servir com a opció principal.

Com hem avançat anteriorment, per tal de reduir aquesta complexitat es poden plantejar solucions similars a les que hem contemplat pel cas d'Snap!: fer servir aquests llenguatges com a base i construir sobre ells llibreries que, en comptes d'oferir els recursos de computació i comunicació en mode «cru», de baix nivell, com fan les llibreries exposades anteriorment, ofereixi abstraccions de més alt nivell que incorporin ja de sèrie el comportament paral·lel. En el cas de Python, seria necessari desenvolupar mòduls ad-hoc que es farien servir des de programes escrits en Python. Altra alternativa seria la definició d'un llenguatge específic per a la docència, un «Domain Specific Language» (DSL) [36]–[38]. Segons [37] (cita textual):

«A domain-specific language is a software language that allows domain experts to capture their knowledge in a precise enough way to make that executable.»

És a dir: un DSL és un llenguatge de programació que no pretén ser genèric i oferir suport per escriure qualsevol programa, sinó que està enfocat i ofereix abstraccions per tal que persones expertes d'un determinat camp de coneixement puguin fer-lo servir per expressar procediments que, de manera senzilla, generen executables (o instruccions per interpretar).

Naturalment, els DSLs es poden escriure des de zero, però una pràctica força habitual és fer servir un altre llenguatge, prou flexible en sintaxi i semàntica, per tal definir aquest DSL com a complement a totes les funcionalitats que ofereix el propi llenguatge. En aquest sentit, si bé Python és un gran llenguatge per programar, potser no l'és tant per escriure DSLs o, com a mínim, no és tant flexible en la seva sintaxi i semàntica com és Ruby. En el cas que l'equip docent decideixi que el món de la línia de comandes és l'apropiat, i que l'alumnat ha d'atacar aquesta introducció a la Supercomputació amb un DSL que els ofereixi la sintaxi i els objectes que ja incorporin paral·lelisme, sense haver-se de preocupar del baix nivell, desenvolupar un petit DSL sobre Ruby (amb el temps i dedicació que això pot comportar) pot ser una bona opció.

Tant en el cas de desenvolupar mòduls com en el cas de generar un petit DSL, les aproximacions a la implementació real del paral·lelisme poden seguir els mateixos enfocaments que en el cas de les extensions d'Snap! que hem plantejat en paràgrafs anteriors: podem plantejar-nos oferir paral·lelisme fent servir els mecanismes que ofereixi el propi llenguatge i executar en l'ordinador on s'està executant el programa o bé incloure a les abstraccions d'alt nivell els mecanismes de comunicació i «off-loading» per tal d'executar codi corresponent a cada abstracció a un servidor remot, amb més capacitat de procés.

En cas que l'alumnat mostri un nivell d'aprenentatge realment notable i les solucions proposades fins aquí es quedin curtes, una opció és començar a treballar amb entorns més reals de supercomputació i amb eines que permeten, al mateix temps, documentar cada sessió de treball. És el cas, per exemple, de Google Colab [39], que permet accedir de manera gratuïta a servidors de Google que incorporen GPUs i treballar fent servir Jupyter notebooks [40], un entorn de programació/documentació integrat. Com hem apuntat inicialment, aquest entorn ja suposa un salt qualitatiu al respecte dels plantejaments anteriors, i sembla complicat que alumnat de secundària, en general, hagi d'arribar a aquest nivell de complexitat en projectes d'aproximació a la Supercomputació. En qualsevol cas, si tenim la fortuna que algun alumne o alumna arriba a aquest punt, aquesta solució podria ser útil.

Altres tipus d'eines interessants per utilitzar, tot i que normalment són força complexes pel que fa a posada en marxa i instrumentació de les aplicacions, són les eines de visualització de traces. Existeixen diversos tipus d'eines que permeten visualitzar com ha sigut l'execució d'un programa paral·lel en un Supercomputador: temps calculant, comunicacions entrada/sortida, contenció, possibles balanceig de càrrega, etc., a més d'altres funcionalitats avançades. Paraver [41] o Vampir [42] són dues d'aquestes eines, tot i que, en la nostra opinió, són eines massa complexes per portar-les a l'aula de secundària. Tanmateix, donat l'enfoc que hem donat a les seccions anteriors, on hem proposat desenvolupar i oferir a l'alumnat petits blocs que ja encapsulin certes abstraccions paral·leles, una alternativa potser més senzilla és fer servir eines no tant focalitzades en la Supercomputació, però que poden oferir un subconjunt prou complet del que podem demanar a una eina de visualització d'aquest tipus. En aquest sentit, Perfetto [43] seria una alternativa prou vàlida per a aquesta finalitat. Per tal de fer servir Perfetto, caldria afegir als blocs/llibreries/DSLs, desenvolupats ad-hoc i que encapsulen el paral·lelisme, les opcions per tal d'emetre traces que corresponguin amb el format que Perfetto espera. En el cas que el professorat consideri que explorar com és per dintre una execució d'un programa en un Supercomputador (encara que sigui simulat o a petita escala) és rellevant (i, en la nostra opinió, és rellevant), aquesta eina pot resultar molt interessant.

6.3 Implementació

A la secció anterior hem proposat una petita guia de recursos per a la confecció d'activitats per apropar la Supercomputació a l'educació secundària. En aquesta secció pujarem un grau el nivell d'abstracció i, fent servir els recursos bàsics de les seccions anteriors, plantejarem alguns exemples de possibles activitats o projectes a desenvolupar.

Com veurem a continuació, en general les plantejarem a alt nivell, com a idees, sense entrar gaire en detall d'implementació, però donant una orientació clara per qualsevol persona que vulgui fer-les servir com a base per dur-les a terme tal qual o per a crear-ne alguna de similar. En un cas concret entrarem més en detall, desplegant d'una manera més extensa els plantejaments de materials, activitats, avaluació, etc. Aquests exemples haurien de servir per d'ajudar al professorat interessant en incloure conceptes de Supercomputació a secundària a assolir aquest objectiu. Val a dir que és probable que els coneixements específics que seria desitjable tenir per poder plantejar aquestes activitats estigui una mica per sobre del que, en general, podem assumir respecte al professorat de secundària. Els centres de Supercomputació podrien desenvolupar un rol molt interessant en aquest sentit, oferint activitats de difusió / formació i acompanyament posterior, orientats específicament a professorat de secundària que vulgui apropar el món de la Supercomputació al seu alumnat.

6.3.1 Propostes d'activitats i projectes

A continuació s'inclouen exemples de possibles activitats o projectes a desenvolupar a l'aula per tal d'apropar el món de la Supercomputació a l'educació secundària. Per a cada proposta s'inclou una petita explicació, els conceptes clau que es poden treballar i possibles relacions amb d'altres assignatures o temes del currículum que podrien ajudar-nos a incloure-les com a part de projectes transversals.

6.3.1.1 Projecte: «El nostre petit supercomputador»

Aquesta proposta de projecte consisteix a construir, amb l'alumnat, un «supercomputador» per a l'institut. Naturalment, no es tracta de construir-ne un de veritat, sinó de configurar una sèrie de components per tal d'imitar un supercomputador real. La idea seria que aquest petit supercomputador que l'alumnat construeix passi a ser «EL» supercomputador de l'institut, allà on executar, si s'escau, els programes, simulacions o aplicatius en general que resultin de la resta d'activitats que es poden proposar.

Aquesta activitat es pot plantejar com un projecte guiat, tot i que probablement sigui més interessant per a l'alumnat plantejar-lo com un projecte obert, on el professorat hauria d'establir uns requeriments pel que fa a pressupost, materials, dimensions, etc. però que podria donar cert joc per tal que l'alumnat, com a part de la realització del projecte, tingui certa llibertat pel que fa a selecció de components, estructures, etc.

Tenint en compte que estem parlant d'una activitat didàctica enfocada a alumnat de secundària, la nostra proposta passaria per evitar «solucions professionals» («blades», «racks», etc.), tant per complexitat com per cost, i orientar el projecte més a una filosofia «do-it-yourself» (fins i tot, «tinkering», en funció del temps i pressupost) a partir de components estàndard. En aquest sentit, un possible enfocament podria consistir en definir l'arquitectura del nostre pròxim petit supercomputador fent servir plaques Rasbperry Pi (o equivalents) com a nodes de càlcul i emmagatzematge, discs durs externs com a suport d'emmagatzematge i switchs ethernet com a elements d'interconnexió.

Com a part de la creació d'aquest petit supercomputador, es pot plantejar a l'alumnat la necessitat de crear estructures físiques per tal d'hostatjar els seus components, la qual cosa donaria joc a incloure al projecte temes de, p.ex.: materials, impressió 3D, treball amb fusta o components modulars d'alumini, suports acrílics, dibuix tècnic, disseny CAD, etc. En funció de la creativitat del grup i ubicació futura del petit supercomputador (si estarà a la vista), es poden incloure propostes estètiques per al contenidor extern, de manera que s'apliquin també coneixements de plàstica o que puguem incorporar eines constructives que sempre sumen punts, com Lego o Mecano. Naturalment, en tractar-se d'un component que funciona amb electricitat, podem incloure la necessitat d'estimar consum, potència demanada, requeriments dels components elèctrics, tolerància dels materials a les temperatures, etc.

La pròpia estructura d'un superordinador, a més, ens facilita la divisió de la feina entre grups i la posterior integració de resultats: si bé la conceptualització i posada en comú del disseny definitiu del superordinador final s'hauria de fer amb tot el grup classe (o, fins i tot, amb tot el nivell), un cop establerts els «estàndards» d'interoperabilitat, cada grup podria treballar de forma autònoma en implementar la seva part, el seu node del futur mini supercomputador. Un cop finalitzats, tots els nodes es poden integrar en el que seria l'estructura final. A mode d'exemple, si suposem un institut de dues línies i, aproximadament, 24 alumnes per grup-classe, establit grups de tres persones, es podria acabar construint un mini superordinador de (24/3)x2=16 nodes, que suposaria –assumint una Raspberry Pi 4 per node, amb 4 cores- 48 cores en total. Aquesta estructura a més, ens permetria explicar conceptes com el particionat lògic o la composició (compondríem «EL» supercomputador de l'institut sumant «els» supercomputadors de cada classe en una única estructura o, si s'escau, podem dividir-lo en particions per tal que cada classe tingui recursos en exclusiva per treballar-hi).

Naturalment, en funció dels components escollits, el nostre projecte podria resultar excessivament car pel pressupost del centre. Tanmateix, si bé idealment voldríem fer servir components actuals, una opció per abaratir costos passaria per fer servir components de generacions anteriors (p.ex., fer servir Raspberry Pi 3 en lloc de 4) o altres plaques similars. La popularització de la Raspberry Pi ha donat lloc a l'aparició de tot un seguit de plaques compatibles que donen força alternatives. Aquesta selecció, de fet, pot ser part també del projecte plantejat a l'alumnat. No ens hauria de fer patir el fet de fer servir alternatives més antigues o «clòniques» (més barates i potser lleugerament més lentes): recordem que no

estem intentant crear un superordinador real, sinó replicar la seva estructura a un centre educatiu. La velocitat, per tant, és un factor secundari: no hauríem de comparar el rendiment d'aquest superordinador amb un de veritat (excepte per fins il·lustratius), sinó comparar el que es pot fer amb un únic node d'aquest petit superordinador versus el que es pot fer quan el fem servir sencer.

Respecte a la finestra temporal d'execució d'aquest projecte, podem plantejar diverses alternatives. En una situació ideal, es podria plantejar que l'alumnat que farà servir el petit superordinador sigui el mateix que el construeix. Això es pot plantejar en el mateix curs, desenvolupant aquest projecte a inicis del curs i la resta de projectes i pràctiques que requereixen el seu ús a continuació. També es pot plantejar entre cursos: durant un curs es pot combinar la utilització d'un petit supercomputador ja existent al centre amb la creació del que serà el seu reemplaçament per l'any següent per a l'alumnat que puja de nivell. Aquestes dues opcions, però, suposen, potser, un malbaratament de materials, atès que és molt probable que en aquesta finestra de temps no ens calgui actualitzar components, que no hi hagi cap «nova generació» que aporti més rendiment o, sobre tot, menys consum energètic. Davant aquest plantejament, que potser és el més raonable i ens pot donar joc a debatre i plantejar a l'alumnat qüestions d'eficiència energètica, sostenibilitat, etc., podem optar per alternatives creatives per «reciclar» components. Una possibilitat seria mantenir un inventari de components base (plaques, discos, etc.) que s'aprofiten diversos anys, de manera que la selecció d'aquests és tancada, però es planteja a l'alumnat la creació del contenidor, etc. D'aquesta manera, cada final de curs es desmunta el superordinador de l'institut i es guarden els components clau per tal de crear-ne un de nou el curs següent, requerint canvis en els components reutilitzats únicament cada X anys. Aquesta alternativa continua presentant un cert malbaratament de components (els estructurals), així que el plantejament de materials a utilitzar hauria de passar, en la mesura del possible, per requerir materials modulars i/o reciclables que es puguin aprofitar al màxim d'any en any o que suposin un impacte mínim en cas de descartar-los.

6.3.1.2 Competició: «qui executa més ràpid? / més eficientment?»

Amb un plantejament d'aprenentatge basat en competició i treball en grup, la proposta passa per incloure, com a part final del període on s'ha introduït a la Supercomputació (sempre que s'hi hagi inclòs un component pràctic de programació) una activitat de competició on, per equips, l'alumnat desenvolupa la seva pròpia solució a un repte de programació fent servir programació paral·lela. Guanya aquell equip que aconsegueixi generar els resultats demanats trigant el mínim temps possible, amb les limitacions donades en quant a infraestructura.

Es pot modular la dificultat en funció del nivell que es vulgui demanar i també en funció dels recursos disponibles. En un cas ideal podríem suposar que, realment, disposem d'accés a un «supercomputador» (p.ex. el que hem construït en la proposta anterior) i que el nivell de

coneixement de programació de l'alumnat és prou alt per plantejar un problema amb certa profunditat que requereixi de solucions creatives. Pel contrari, si no disposem dels recursos, podem plantejar simular-los mitjançant components de programari que emulin execucions seqüencials/paral·leles (p.ex. amb blocs Snap!), donat estimacions de temps en comptes de temps real. Aquests mateixos blocs i llenguatges ens donen joc, també, a oferir un grau més o menys abstracte pel que fa a l'accés a aquests recursos de computació, de manera que, si estem treballant a un nivell genèric i volem transmetre conceptes d'alt nivell sense entrar gaire en el detall, podem donar aquestes abstraccions pre-programades a l'alumnat per tal que desenvolupi els seus aplicatius.

Pel que fa al plantejament d'aquesta activitat, tot i que la part tècnica pot tenir la seva complexitat, potser el repte més interessant és plantejar «el problema» a resoldre. En un altre context (universitari?), una competició per veure qui fa en menys temps un producte de matrius podria ser quelcom interessant. No sembla que això sigui rellevant a un nivell d'educació secundària, i més quan podem aprofitar per introduir elements transversals i temes com els ODS. En aquest sentit, una recomanació seria plantejar casos concrets i «tangibles». Per a aquesta finalitat, és molt recomanable que aquesta proposta es desenvolupi dintre d'un projecte transversal que inclogui altres assignatures on hem vist que la supercomputació aporta un factor diferencial. Idealment, com hem dit, hauríem d'alinear la proposta amb algun ODS i, a mode de suggeriment, considerem molt interessant que el resultat final inclogui un component visual. Què vol dir això? Que, en la mesura del possible, l'alumnat pugui veure com evoluciona la competició i/o el resultat de cada execució, per tal de fer aquesta part més atractiva.

Com hem indicat, la selecció del «problema» a resoldre s'hauria de fer, idealment, amb professorat d'altres àrees dintre de projectes transversals, però a mode d'exemple i inspiració, podem deixar aquí algunes idees:

- Simulació d'entorns i ecosistemes afectats per algun factor extern (clima, contaminació, accidents causats per humans...)
- Càlcul i simulació de trajectòries de sistemes complexos (cossos celestes, electrons...)
- Simulacions de resistència de diversos materials
- ...

Podem plantejar també una variant al plantejament «resoldre un problema el més ràpid possible», on cada grup s'enfronta a un únic repte, i que seria la competició entre aplicatius paral·lels. En aquesta modalitat, no hi ha un únic problema a resoldre de la manera més ràpida possible, sinó que hi ha una situació de competició en la qual es poden aprofitar recursos de càlcul en paral·lel per prendre la decisió de la següent jugada per part de cada participant al joc. Si limitem el temps que es pot dedicar a utilitzar aquests recursos de supercomputació per calcular jugades, el programa que ho fa de manera més eficient

acabaria sent, idealment, el guanyador. No deixa de ser una partida d'escacs amb temps límit per jugada, però portada al món de la supercomputació, naturalment.

Tot i que desitjable, en aquesta varietat pot resultar més costós incloure continguts transversals i ODS, tot i que és possible. En un cas ideal, es podrien conjugar ambdós plantejaments per tal de combinar l'aplicació transversal i la inclusió dels ODS juntament amb la competició entre iguals, per tal d'incrementar la motivació. La solució passaria per plantejar no un únic problema a resoldre en el mínim temps possible, sinó una classe o tipus de problemes que es poden mitigar o millorar aplicant supercomputació però, com hem dit, limitant el temps per ronda que cada participant pot utilitzar per decidir què fer. Per tant, l'input pels programes desenvolupats per l'alumant no són un únic cas, sinó una sèrie de configuracions particulars d'un problema, o iteracions de simulació.

A mode d'exemple, plantegem una competició on l'alumnat ha d'escriure programes que poden utilitzar recursos en paral·lel per calcular la probabilitat de terratrèmol en unes zones determinades a partir de certs inputs: un punt de partida (el model inicial) i la seva evolució; en cas de detectar risc en una zona determinada (aquest càlcul hauria de requerir un cert cos computacional) pot activar una alerta d'evacuació. En cas que la predicció sigui correcta, haurem salvat a la població i el nostre programa anotarà una sèrie de punts de victòria. Si no activem una alerta en una zona determinada i es produeix un terratrèmol, perdrem punts. Si activem l'alerta i és una falsa alarma, també perdrem punts (probablement menys que en el cas anterior). Al final d'una ronda de N cicles de simulació (amb diferents inputs sobre el mateix model), el programa que hagi fet les millors prediccions (aplicant algorismes paral·lels amb temps limitat) guanyarà. Aquest exemple incorpora els tres components: supercomputació, transversalitat (biologia i geologia, física i química) i ODS («ODS 11: assentaments humans segurs i resilients»). Si, a més, afegim a cada «ronda» la seva visualització en un monitor de manera que tot el grup classe pugui veure com van evolucionant el model, els inputs, les prediccions i encerts de cada equip, etc. de manera molt visual, probablement tindrem un increment de motivació notable.

Naturalment, el que hem descrit fins aquí requereix una sèrie de material de suport (programari) gens menyspreable (p.ex., la «consola de visualització», la modelització de fenòmens o les llibreries paral·leles a proporcionar a l'alumnat) i no és quelcom que es pugui improvisar, sinó que requerirà un temps de desenvolupament i proves considerable. Cal tenir això en compte, de cara a la planificació de recursos i esforços, en cas que es vulgui plantejar una activitat seguint aquesta proposta.

6.3.1.3 Pràctica: «simulem la propagació dels incendis forestals»

Amb un abast i un grau de complexitat més limitat que les propostes anteriors, podem plantejar-nos mostrar de manera pràctica a l'alumnat la diferència de velocitat entre el càlcul seqüencial i el paral·lel. En aquest cas, l'excusa pot ser, per exemple, un model de

propagació del foc en incendis forestals [44], [45], cosa que també pot facilitar la inclusió de coneixements i temes d'altres assignatures i també dels ODS.

De manera molt sintètica, la proposta consisteix en proporcionar a l'alumant informació de com es pot simular (de manera molt simplificada o fins i tot artificial) la propagació del foc en un incendi forestal discretitzant el terreny en una malla 2D i assignant a cada cel·la una sèrie de propietats (composició, temperatura). A partir d'aquí, aplicant algorismes iteratius de simulació de propagació del foc (encara que, com hem indicat abans, molt simplificats o fins i tot artificials), podem veure com evoluciona aquest model durant el temps a cada iteració. Es poden afegir altres inputs, agents externs, a la simulació, com condicions climàtiques (vent, humitat) que afectin la seva evolució.

L'exercici pràctic hauria de consistir en

- Modelitzar la simulació fent servir programació seqüencial on cada cel·la calcula un nou estat en base al seu propi estat, l'estat de les cel·les veïnes i la influència dels agents externs.
- Executar i observar evolució del model així com el temps requerit per la simulació
- Passar a paral·lel aquelles operacions que es puguin paral·lelitzar
- Executar de nou i comparar ambdues execucions

Al llarg de tota aquesta activitat podem incorporar temes d'assignatures relacionades amb la temàtica exposada, així com reflexions sobre els ODS vinculats. «Què succeeix si no es neteja el bosc freqüentment?», o «Com influeix la composició del bosc derivada del canvi climàtic en la propagació d'aquests focs?», etc.

De nou, considerem interessant incorporar la visualització, de manera simplificada i en 2D, de com evoluciona la graella 2D que modela el terreny. A banda d'atreure visualment a l'alumnat, ajuda molt a adonar-se de la diferència de temps entre execució en seqüencial i execució en paral·lel. Naturalment, en termes absoluts un adult pot tenir prou amb un número («hem simulats N steps per segon i N*8 per segon en paral·lel»), però considerem que aquest component visual ajuda a incrementar la motivació de l'alumnat adolescent.

Recordem de nou que aquestes «execucions en paral·lel» poden ser reals (idealment, si tenim el nostre mini supercomputador) o simulades mitjançant components i llibreries de programació, de manera que triguin més o menys en retornar resultats en funció de la capacitat de càlcul assignada.

Si, a aquesta proposta, li afegim un component extern addicional per incorporar al model de simulació, com podria ser: «a quina part del mapa hem d'enviar dotacions de bombers per combatre el foc?», podem tenir un altre escenari interessant per plantejar una situació d'aprenentatge basat en competició, com hem fet prèviament amb l'exemple de la predicció de terratrèmols, però en aquest cas en un context d'ajuda a l'extinció de focs forestals.

6.3.2 Proposta detallada: «Som un supercomputador»

6.3.2.1 Resum

En aquest, cas plantegem una activitat d'experimentació física en primera persona, un joc de rols («role play») particular, on l'alumnat es configura per tal de reproduir el que succeeix quan executem un programa de manera seqüencial i quan ho fem a un supercomputador. Cada alumne/alumna pren el rol d'un component de maquinari i, per grups, reprodueixen una execució d'un programa, amb les limitacions que cada component imposa a la resta en quant a velocitat d'accés a memòria, capacitat de transferència / càlcul / emmagatzematge, etc.

Per tal de dotar de més contingut significatiu a aquesta activitat es recomana combinar-la amb el treball en un projecte transversal on s'integrin coneixements i sabers d'altres assignatures. En el cas que plantegem en aquesta proposta, el fil conductor serà la simulació del patró de propagació d'un foc forestal mitjançant un algorisme seqüencial/paral·lel que l'alumnat «executarà». El fet de fer servir aquest programa/objectiu ens permet incloure tant continguts d'altres matèries com transversals respecte als ODS.

6.3.2.2 Nivell(s)

Tercer/quart de l'ESO.

6.3.2.3 Sessions (estructura / temps)

En el cas ideal, 1 sessió d'una hora, però es pot dividir en dues sessions d'1 hora. Es pot dur a terme amb grup-classe complet (unes ~24/32 persones), o amb mig grup (~12/16 persones) amb petites adaptacions per quadrar l'estructura simulada al número d'alumnes.

6.3.2.4 Metodologies

Joc de rols («role-playing»), pensament computacional, treball en grup.

6.3.2.5 Connexions amb altres matèries

Es contempla una connexió directa amb Biologia i Geologia en diferents aspectes. Per exemple, podem considerar el vincle partint de la idea de com les transformacions i intervencions humanes directes en les dinàmiques dels ecosistemes (cacera, restricció d'accés als boscos, eliminació d'espècies que participen en el procés de neteja natural dels boscos, manca de manteniment de terrenys privats/públics, etc.) o les provocades indirectament per altres accions (calor extrem, sequera i manca de pluges vinculades al canvi climàtic) afecten als fenòmens que estem plantejant estudiar.

Table 4: Connexions amb altres matèries

Matèria	Biologia i Geologia
Competències específiques (CE) i criteris d'avaluació (CA) vinculats	
CE1	CA1.1, CA1.2, CA1.3
CE3	CA3.1, CA3.2, CA3.3, CA3.4, CA3.5, CA3.6
CE4	CA4.1, CA4.2
CE5	CA5.1, CA5.2, CA5.4, CA5.5
CE6	CA6.3

El text detallat de les competències específiques i dels criteris d'avaluació es pot trobar desplegat a [2].

6.3.2.6 Connexions amb els ODS

Table 5: Connexions amb els ODS

ODS	**Descripció**
ODS13	Acció climàtica. Adoptar mesures urgents per combatre el canvi climàtic i els seus efectes.
ODS15	Vida terrestre. Protegir, restaurar i promoure l'ús sostenible dels ecosistemes terrestres, gestionar sosteniblement els boscos, lluitar contra la desertificació, aturar i invertir la degradació de les terres i aturar la pèrdua de biodiversitat.

6.3.2.7 Conceptes de (Super)computació

- Arquitectura bàsica d'un (super)ordinador
- Execució seqüencial / concurrent / paral·lela
- Acceleració («Speedup»)
- Jerarquies de memòria: velocitat d'accés (latència) / capacitat / amplada de banda
- Cost de comunicacions / sincronització
- Escalabilitat
- Condició de carrera («race condition»)
  - Exclusivitat o exclusió mútua

6.3.2.8 Objectius i avaluació

L'objectiu principal d'aquesta activitats és apropar a l'alumnat a l'estructura i funcionament d'un supercomputador, així com a determinats conceptes vinculats a la Supercomputació i la seva aplicabilitat per tal d'estudiar o solucionar problemes d'altres àmbits del coneixement, especialment aquells esmentats als ODS.

En acabar aquesta activitat, ***al respecte dels conceptes de Supercomputació***, l'alumnat hauria d'haver assolit coneixements que els permetin:

- Enumerar i explicar els components bàsics d'un supercomputador i el seu funcionament de manera simplificada.
- Entendre i ser capaç d'explicar les diferències entre executar un programa en modes seqüencial, concurrent o paral·lel.
- Calcular tant l'escalabilitat com l'acceleració proporcionada per un model d'execució paral·lela respecte a un de seqüencial en funció de les característiques del programa i les dades, així com de les infraestructures, i explicar perquè en determinades ocasions ni l'escalabilitat ni l'acceleració assolides es corresponen amb el màxim teòric (fracció paral·lelitzable, cost de comunicacions, etc.)
- Explicar què és una condició de carrera, ens quins casos genèrics es pot donar i què cal fer per evitar-les en els entorns de programació paral·lela.

Pel que fa als **criteris d'avaluació d'altres assignatures dintre d'un projecte transversal**, l'alumnat haurà d'haver assolit els coneixements corresponents, en funció de cada cas concret. En el context de l'exemple seleccionat per aquesta proposta (simulació de propagació d'incendis forestals, vinculat a Biologia i Geologia), els criteris d'avaluació estan resumits a Table 4 Connexions amb altres matèries, i els vincles amb els ODS estan recollits a Table 5 Connexions amb els ODS.

Pel que fa al mètode concret d'avaluació, queda a criteri del professorat responsable d'aplicar aquesta activitat; tanmateix, com a mínim en la part relacionada amb la Supercomputació, la nostra recomanació seria que les proves objectives s'obtinguessin a partir de la translació d'aquesta pràctica en viu a un exercici de programació (com hem vist a 6.3.1.3 Pràctica: «simulem la propagació dels incendis forestals») fent servir alguna de les plataformes que hem proposat a seccions anteriors (6.2.3 Propostes tecnològiques). En aquest sentit recomanem una combinació de lliurament de codi/blocs + memòria descriptiva/explicativa més que no pas una única prova objectiva tipus examen. En cas de requerir aquest tipus de prova, es poden incorporar a ella l'avaluació del coneixement de certs conceptes teòrics, naturalment, però considerem d'allò més interessant per afavorir el procés d'ensenyament-aprenentatge que l'alumnat experimenti i porti a codi real allò que estem intentant transmetre-li.

6.3.2.9 Materials necessaris

Per tal de dur a terme aquesta activitat necessitarem els materials enumerats a continuació. En cas de no disposar-ne exactament dels mateixos, el professorat pot optar per materials substitutius que es puguin fer servir per assolir el mateix objectiu (veure apartats posteriors per a una descripció més extensa dels rols aquí citats):

- Per cada persona que faci de «processador»:
  - 1 taula i 1 cadira.
  - 1 retolador esborrable («de pissarra blanca»).
  - 5 fulls A4 plastificats amb una quadrícula de 3X3 cel·les de 5cm X 5cm.
  - Esborrador.
  - 1 targeta verda, 1 targeta vermella.
- Per cada persona que faci de «responsable de memòria»:
  - 1 retolador esborrable.
  - Esborrador.
  - 1 targeta verda.
- Per cada subgrup («node»), dos fulls A0 plastificats amb quadricules de 12X18 cel·les de 5cm X 5cm, que representaran la «memòria principal» del node. Es recomana establir una divisió en «tics» exteriors per cada grup de 3X3, doncs seran els elements «adreçables» d'aquesta memòria. Idealment, aquests full s'haurien de penjar de la paret però es pot dur a terme l'activitat si es deixen sobre un grup de taules. En qualsevol cas, han de situar-se a una distància d'entre tres i cinc passes de la taula del «processador», un al costat de l'altre. Els numerarem M«node»0 i M«node»1.
- Recomanable
  - 1 ordinador connectat a projector o pantalla visible a tota la sala, equipat amb eines d'ofimàtica «on-line» que incloguin full de càlcul amb capacitat d'establir format condicional per colors i que siguin actualitzables simultàniament des de diferents sessions d'usuari.
  - 1 ordinador portàtil per cada «node»

6.3.2.10 Descripció bàsica de l'activitat

Per a dur a terme aquesta activitat dividirem al grup classe en subgrups («nodes»), cadascun de sis components. Suposem un grup-classe de mínim 24 persones, resultant 4 «nodes». En

cas que els números no siguin exactes, es poden realitzar petites adaptacions a l'activitat. Aquests components es repartiran els següents rols:

- «Processador» o «Nucli»: quatre persones (dues si treballem amb mig grup, ~12/16 persones).
- Responsable d'accés a memòria: una persona.
- Responsable de comunicacions: una persona.

Inicialment, començarem amb un únic grup actiu a mode de demostració, la resta de grups han de mirar com es va desenvolupant la part inicial de l'activitat abans de participar.

Idealment, la disposició física de l'aula hauria de permetre la circulació lliure de persones, doncs només voldrem taules i cadires per l'alumnat que exerceix de «processador». A l'annex F Plànols i anotacions activitat «Som un Supercomputador» podem trobar un esquema explicatiu que ajudarà a visualitzar la disposició a l'espai de cada component, així com els camins a seguir en el cas d'alumnat que s'ha de desplaçar.

El grup inicial es configura amb una única persona com a «processador» i una persona com a «responsable d'accés a memòria» actius.

El problema a resoldre (model de propagació d'un incendi forestal) el representarem mitjançant un model numèric molt senzill (de fet, fictici, del que haurem d'avisar a l'alumnat per tal que siguin conscients que estem sobre-simplificant el problema) sobre una malla 2D. Cada cel·la d'aquesta malla tindrà un valor 0, 1 o 2 en funció de si no hi ha foc, si està prop de calar-s'hi foc o si ja s'hi ha calat foc. Juntament amb aquesta informació del model, establirem un factor global, que és la direcció i força del vent (0, 1 o 2) en cada pas de la simulació. Aquests dos valors influeixen en com és calcula la propagació de foc. Donada una cel·la, per decidir l'estat de la mateixa en el pas següent, es seguirà un algorisme molt senzill:

1. S'agafen els valors de les 8 cel·les que l'envolten.
2. El valor de les cel·les situades en la direcció des de la qual bufa el vent (si bufa) s'incrementen en un número igual a la seva intensitat.
3. Es sumen els valors anteriors amb el valor de la pròpia cel·la.
4. Es divideix el resultat entre 9 (el número de cel·les del bloc de 3X3).
5. La part entera del càlcul anterior, arrodonida cap a dalt, serà el valor corresponent al nou estat de la cel·la que estem calculant.

Com hem avançat, aquest càlcul es realitza per cada cel·la tenint en compte les seves veïnes en blocs de 3X3. El model d'incendi es representarà als full A0 de cada «node», que inicialment estaran buits (per no haver d'inicialitzar manualment tot l'A0, una cel·la buida equivaldrà a un «0» en aquella posició). En cada pas de simulació, el «processador» haurà

de calcular els valors d'una nova quadrícula a partir dels valors de l'actual, mitjançant un model ping-pong entre els dos mòduls de memòria. És a dir, en trets generals:

1. Es defineix el model (malla/bosc, condicions inicials de vent, punts inicials de foc)
2. Repetir mentre no final
    2.1. Es parteix del M00, per cada quadrícula de 3X3, s'actualitza M01
    2.2. Es parteix del M01, per cada quadrícula de 3X3, s'actualitza M00
    2.3. S'avalua si la condició de vent ha canviat i s'actualitza el valor global
    2.4. Tornar a 2.1

Per tal d'operar, el «processador» demanarà al «responsable de memòria» que li porti les dades d'un bloc de 3X3, identificant-los amb MxyBij, on xy corresponen al «node» i «banc» (0/1) i «i» i «j» corresponen a les coordenades (fila, columna) del bloc de 3X3 elements.

El «responsable de memòria» anirà des de la taula del «processador» fins als «bancs de memòria» i copiarà a un dels fulls A4 els 9 valors que se li han demanat i les coordenades d'on venen, i li portarà al «processador».

El «processador», en aquell moment, podrà calcular i escriure, a un full A4 en blanc, els nous valors per aquella quadrícula, i demanar-li al «responsable de memòria» que actualitzi els valors (al banc alternatiu d'on ha llegit).

Per tal de fer-ho, el «responsable de memòria» haurà d'agafar el full A4 on s'han calculat els nous valors, anirà cap als «mòduls de memòria» i copiarà a les cel·les corresponents els nous valors.

Un cop feta una petita demostració i veient que tot el grup entén el funcionament, podem fer que tots els grups adaptin la mateixa disposició, i tornar a començar la simulació (per fer-ho més interessant, hauríem d'establir cel·les amb valor 1 o 2 a diferents punts de cada model inicial per cada «node»).

És important **que l'alumnat no corri**. S'han de buscar maneres per forçar que tots els «accessos» a memòria triguin el mateix a tots els «nodes» i que el càlcul de cada quadrícula de 3X3 també costi el mateix. La manera més senzilla és establir torns sincronitzats. A aquest efecte, podem dotar a cada «processador» d'unes targetes per tal que indiquin quan han acabat un càlcul (targeta verda): fins que tots els «processadors» no mostrin «targeta verda» no es donarà permís als responsables de memòria per tal d'anar a actualitzar dades. D'igual manera, quan s'envii a «responsables de memòria» a buscar o actualitzar dades, haurem d'esperar a que tothom mostrin la targeta verda indicant que han acabat, per sincronitzar-los. Aquest exercici **no és necessari des d'un punt de vista de la Supercomputació**, és un mecanisme per intentar que la classe no derivi en una cursa de velocitat. Qualsevol mètode alternatiu pot ser igualment vàlid per a aquesta finalitat.

Aquest procés es pot anar repetint indefinidament, però en funció de les característiques de cada grup-classe, hauríem de preveure el temps màxim amb el qual s'adonaran que hi ha tres (o un, en cas de mig grup) «processadors» per «node» que no estan fent res, per tal d'aturar la simulació i incorporar-los al joc.

Un cop incorporats els «processadors» que estaven inactius en cada node, es pot continuar la seqüència, però en aquest cas, cada «processador» podrà demanar al «responsable de memòria» que li porti dades per treballar o que les guardi un cop calculades.

En aquest punt, però, caldrà fer reflexionar a l'alumnat: fins ara hi havia un únic «processador», que anava al seu aire. Ara, però, tenim quatre. Com repartim la feina? El més lògic seria que, per un «node» de quatre «processadors» es divideixin la quadrícula de 12x18 en quatre sub-quadrícules de 6X9 (o dues de 12X9 o 6X18 si només hi ha dos «processadors»), però aquest punt potser dona per debatre i parlar de temes com el balanceig de càrrega.

Un cop establert el criteri de repartiment de la feina, podem tornar a començar la simulació. Aquesta es pot allargar tot el considerem necessari fins que, en algun moment, vulguem incorporar el concepte de «multi-node»: el model ara ja no serà local a cada «node», sinó que concebrem el model com un tan gran que no hi cap a una única memòria i, per tant, els «nodes» s'hauran de comunicar entre sí. En aquest punt poden entrar els joc els «responsables de comunicacions». D'igual manera que els «responsables de memòria», els «processadors» podran demanar a aquests components que vagin a una memòria veïna i els portin una còpia de dades residents allà (que necessitaran per actualitzar els valors de les cel·les que fan de límit del model entre cada node).

El pas entre el «multi-processador» i «multi-node» pot ser un bon punt per dividir l'activitat entre dues sessions en cas que per la dinàmica del grup, planificació, etc. calgui fer dues sessions i no es pugui fer tota l'activitat en una.

Com hem vist, aquest model permetrà a l'estudiantat viure en primera persona el funcionament d'un (Super)ordinador quan el fem servir per resoldre problemes i donarà al professorat oportunitat per parlar i fer-los experimentar en primera persona conceptes com la repartició de la feina, el balanceig de càrrega, el cost d'accedir a memòria local o remota, l'acceleració o «speedup» quan fem servir quatre «processadors» o només un, o com podem escalar a problemes molt més gran fent servir múltiples nodes. També trobarem que hi ha oportunitat per parlar de comunicació i sincronització en el moment en el que els «nodes» estiguin cooperant per treballar sobre un únic model distribuït entre tots quatre.

A l'apartat de material necessari (tot i que opcional) hem incorporat una sèrie de requeriments tecnològics (portàtils, full de càlcul on-line, projector, etc.). La finalitat és oferir una representació visual del que està succeint al model de simulació. Per tal de fer-ho, es pot crear un Llibre («Spreadsheet») amb un full de càlcul per cada «node» i un de general, que

recollirà les dades de cada «node» i mostrarà la representació visual (fent servir, per exemple, format condicional amb escala de colors). Per tant, podem configurar cada full de càlcul de cada node amb les quadrícules corresponents (seguint les establertes als A0) i fer que cada «responsable de memòria», a més d'actualitzar les dades a l'A0, faci les modificacions al seu full de càlcul particular, que actualitzarà el global que es projecta per a tota la classe mitjançant el projector.

Durant l'activitat, hi ha una sèrie d'alumnat que no està actiu fins ben avançada la mateixa (és el cas dels «responsables de comunicacions», per exemple). Per tal de mantenir la seva atenció, una possible activitat a demanar-los és que vagin anotant en una quadrícula el «temps» (cicles ficticis) que cada «processador» està calculant, esperant dades de memòria, etc. Amb aquestes anotacions, a posteriori, es pot treballar el concepte d'anàlisi d'execució, traces, etc.

6.3.2.11 Extensions possibles

El model d'activitat que hem presentat és fàcilment extensible per incorporar conceptes més detallats del funcionament d'un (super)computador.

Per exemple, podem incorporar el concepte de múltiples jerarquies de memòria (memòries cau) dividint l'accés als A0 que representen la memòria principal en segments corresponents als diferents nivells (L0, L2, L2), atorgant-los diferents capacitats/latència/amplada de banda, fent que aquests siguin compartits (L1, L2) o privats (L0), etc.

Això ens permetria treballar temes més avançats com els avantatges de realitzar accessos «locals» (en el temps i en l'espai) per aprofitar la memòria més ràpida i més propera, o idees més avançades com el «prefetching» en cas que l'alumnat que participa en les activitats mostri capacitats suficients per arribar a aquests nivells de detall.

Finalment, una extensió molt recomanable, seria portar aquesta experiència «en viu» a un projecte de programació, on l'alumnat hagués de crear un aplicatiu que faci exactament això mateix que ells i elles han hagut de fer de manera manual en aquest «role play», tal i com hem proposat a 6.3.1.3 Pràctica: «simulem la propagació dels incendis forestals».

6.3.2.12 Alternatives d'avaluació

Pel que fa a la part corresponent a Supercomputació, plantegem dues possibles alternatives d'avaluació o, més aviat, dos possibles punts d'avaluació. En cas que l'activitat s'hagi acabat amb el «role play», aquest seria el punt d'avaluació, naturalment, però considerem recomanable fer l'extensió proposada anteriorment (passar a programa real el que han experimentat en persona) i avaluar allà l'assoliment dels coneixements, d'una manera més pràctica i realista.

6.4 Avaluació de la implementació

Atès que aquesta és una proposta teòrica que no s'ha portat a l'aula degut als requeriments temporals, que surten de l'abast d'un TFM, no s'ha pogut fer una avaluació real de la seva implementació. Tanmateix, de cara a possibles futures implementacions, s'han elaborat dos qüestionaris que permetrien obtenir dades quantitatives amb les que avaluar el funcionament d'aquesta proposta i, si s'escau, dur a terme els ajustaments necessaris. Aquests qüestionaris s'inclouen a G Qüestionaris d'avaluació de l'activitat «Som un Supercomputador».

7 Conclusions i Treball Futur

Com hem apuntat a la part introductòria d'aquest TFM, la Supercomputació es presenta com una eina, una palanca de canvi, que està arribant a moltes més àrees del coneixement del que ho havia fet fins fa relativament poc anys, i està fent que molts dels plantejaments clàssics de com es feia ciència en aquests àmbits es vegin lleugerament trastocats (per a millor) amb el suport de la Supercomputació. En aquest sentit, i els recents moviments polítics a nivell europeu donant suport a polítiques de potenciació de la Supercomputació així ho apunten, sembla raonable pensar que aquesta és una aposta de futur, tant per les empreses i treballadors/es d'avui com per les de demà. Per tant, considerem necessari plantejar-se si no hauríem d'avançar el contacte del nostre alumnat amb conceptes bàsics de Supercomputació a etapes pre-universitàries, com la secundària.

En aquest TFM hem fet un anàlisi de possibles maneres d'apropar el món de la Supercomputació a l'aula de secundària i hem materialitzat algunes idees en propostes concretes que haurien d'ajudar en la seva missió al professorat interessat a fer-ho (bé per voluntat pròpia, bé perquè, afortunadament, en algun futur immediat, es considera necessari per part dels poders polítics). Hem analitzat actuacions que es duen a terme, dins el món de la Supercomputació, per fer-ne difusió, encara que el públic objectiu no sempre sigui assimilable a l'alumnat de secundària, tant des de centres de Supercomputació com des de perspectives més acadèmiques i de recerca. També hem ampliat el nostre punt de mira per avaluar quines metodologies o propostes es fan servir en altres àmbits tecnològics no directament vinculats a la Supercomputació, però relativament propers, com la robòtica.

D'aquest anàlisi i els coneixements adquirits durant el màster, han resultat una sèrie de propostes en diferents nivells. D'una banda, hem identificat les eines i metodologies docents o tecnològiques que semblen més apropiades per a dur a terme aquesta tasca. Hem proposat un seguit d'elles amb indicacions de com aplicar-les/ampliar-les en el disseny d'activitats orientades a fomentar el coneixement (bàsic) de la Supercomputació a secundària. També hem generat i detallat una sèrie de propostes-exemple d'activitats que es poden prendre com a base per a aquesta mateixa finalitat i, en un cas concret, hem fet un desenvolupament més detallat, incloent tota aquella informació que caldria per dur-la a terme i, si es dona el cas, avaluar-la.

Tot i que, per la dedicació vinculada al número de crèdits i pel calendari de pràcticum/TFM, no haguem pogut posar la guinda al pastís implementant alguna d'aquestes propostes a l'aula, considerem que els objectius del TFM han estat assolits amb èxit. Considerem aquesta implementació real a l'aula com un possible treball futur. En aquesta línia, també considerem com un possible treball futur el desenvolupament d'alguna de les idees al respecte de possibles eines tecnològiques que hem apuntat (blocs paral·lels, DSLs específics, mini-clúster/«el nostre petit supercomputador»...)

8 Referències

[1] «The European High Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC JU)», 8 març 2023. https://eurohpc-ju.europa.eu/index_en (consulta 8 abril 2023).

[2] «DECRET 175/2022, de 27 de setembre, d'ordenació dels ensenyaments de l'educació bàsica.», *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*. http://dogc.gencat.cat/ca/document-del-dogc/ (consulta 8 abril 2023).

[3] «Cómo los científicos combinaron en el EHT el poder de 8 telescopios para lograr la primera fotografía de un agujero negro», *BBC News Mundo*, 10 abril 2019. https://www.bbc.com/mundo/noticias-47867134 (consulta 8 abril 2023).

[4] «El supercomputador de ALMA asciende a 5.000 metros para interpretar el cosmos | GTD Blog». https://www.gtd.eu/es/blog/el-supercomputador-de-alma-asciende-5000-metros-para-interpretar-el-cosmos (consulta 8 abril 2023).

[5] «Scratch - Imagine, Program, Share». https://scratch.mit.edu/ (consulta 8 abril 2023).

[6] «Snap! Build Your Own Blocks». https://snap.berkeley.edu/ (consulta 8 abril 2023).

[7] «RES - Red Española de Supercomputación». https://www.res.es/ (consulta 16 abril 2023).

[8] «LUMI consortium», *LUMI*. https://www.lumi-supercomputer.eu/lumi-consortium/ (consulta 16 abril 2023).

[9] «RIKEN Center for Computational Science RIKEN Website | RIKEN R-CCS», *RIKEN Center for Computational Science RIKEN Website*. https://www.r-ccs.riken.jp/en (consulta 16 abril 2023).

[10] «Argonne National Laboratory Homepage | Argonne National Laboratory». https://www.anl.gov/ (consulta 16 abril 2023).

[11] «JLESC — Joint Laboratory on Extreme Scale Computing». https://jlesc.github.io/ (consulta 16 abril 2023).

[12] L. Dagum i R. Menon, «OpenMP: an industry standard API for shared-memory programming», *IEEE Computational Science and Engineering*, vol. 5, núm. 1, p. 46-55, gen. 1998, doi: 10.1109/99.660313.

[13] M. Cohen, M. Foster, D. Kratzer, P. Malone, i A. Solem, «A high school supercomputing challenge», en *Proceedings of the 1991 ACM/IEEE conference on Supercomputing*, en Supercomputing ’91. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, ago. 1991, p. 68-75. doi: 10.1145/125826.125878.

[14] C. Porto, «Pittsburgh Supercomputing Center high school initiative in computational science: report on findings (school years: 1991–92, 1992–93, 1993–94)», en *Proceedings of the 1995 ACM/IEEE conference on Supercomputing*, en Supercomputing ’95. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, des. 1995, p. 14-es. doi: 10.1145/224170.224200.

[15] H. Neeman, H. Severini, i D. Wu, «Supercomputing in plain english: teaching cyberinfrastructure to computing novices», *SIGCSE Bull.*, vol. 40, núm. 2, p. 27-30, juny 2008, doi: 10.1145/1383602.1383628.

[16] D. Thain, T. Tannenbaum, i M. Livny, «Distributed computing in practice: the Condor experience», *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 17, núm. 2-4, p. 323-356, 2005, doi: 10.1002/cpe.938.

[17] «HTCondor Software Suite». https://research.cs.wisc.edu/htcondor/ (consulta 16 abril 2023).

[18] R. A. Brown, J. C. Adams, D. P. Bunde, J. Mache, i E. Shoop, «A stratified view of programming language parallelism for undergraduate CS education», en *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education*, en SIGCSE ’12. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, feb. 2012, p. 81-82. doi: 10.1145/2157136.2157162.

[19] R. A. Brown i E. F. Gehringer, «Developing competency in parallelism: techniques for education and training», en *Proceedings of the 3rd annual conference on Systems, programming, and applications: software for humanity*, en SPLASH ’12. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, oct. 2012, p. 229-230. doi: 10.1145/2384716.2384783.

[20] T. Sterling, D. Savarese, D. Becker, J. Dorband, U. Ranawake, i C. V. Packer, «BEOWULF: A Parallel Workstation for Scientific Computation», presentat a International Conference on Parallel Processing, 1995. Consulta: 16 abril 2023. [En línia]. Disponible a:

https://www.semanticscholar.org/paper/BEOWULF%3A-A-Parallel-Workstation-for-Scientific-Sterling-Savarese/6f3b2259877f49154ea04f5279c7d7a4fad9f811

[21] D. D. Garcia i D. Ginat, «DeMystifying computing with magic», en *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education*, en SIGCSE '12. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, feb. 2012, p. 83-84. doi: 10.1145/2157136.2157164.

[22] C. Gregg, L. Tychonievich, J. Cohoon, i K. Hazelwood, «EcoSim: a language and experience teaching parallel programming in elementary school», en *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education*, en SIGCSE '12. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, feb. 2012, p. 51-56. doi: 10.1145/2157136.2157155.

[23] E. Shoop, R. Brown, E. Biggers, M. Kane, D. Lin, i M. Warner, «Virtual clusters for parallel and distributed education», en *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education*, en SIGCSE '12. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, feb. 2012, p. 517-522. doi: 10.1145/2157136.2157287.

[24] J. Browne, S. Hyder, J. Dongarra, K. Moore, i P. Newton, «Visual Programming and Debugging for Parallel Computing», *Parallel & Distributed Technology: Systems & Applications, IEEE*, vol. 3, p. 75-83, feb. 1995, doi: 10.1109/88.384586.

[25] A. Feng i W.-C. Feng, «Parallel Programming with Pictures in a Snap!», en *2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)*, maig 2016, p. 950-957. doi: 10.1109/IPDPSW.2016.194.

[26] A. L. V. Solórzano i A. S. Charão, «BlocklyPar: from sequential to parallel with block-based visual programming», en *2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, oct. 2021, p. 1-8. doi: 10.1109/FIE49875.2021.9637261.

[27] S. V. Moore i S. R. Dunlop, «A Flipped Classroom Approach to Teaching Concurrency and Parallelism», en *2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)*, maig 2016, p. 987-995. doi: 10.1109/IPDPSW.2016.161.

[28] «Introducing ChatGPT». https://openai.com/blog/chatgpt (consulta 9 abril 2023).

[29] «What Is ChatGPT Doing … and Why Does It Work?», 14 febrer 2023. https://writings.stephenwolfram.com/2023/02/what-is-chatgpt-doing-and-why-does-it-work/ (consulta 9 abril 2023).

[30] «Els 17 ODS», *Departament d'Educació*. http://educacio.gencat.cat/ca/departament/linies-estrategiques/ods/els-17-ods/ (consulta 30 maig 2023).

[31] «Blockly», *Google for Developers*. https://developers.google.com/blockly (consulta 28 maig 2023).

[32] «MPI Forum». https://www.mpi-forum.org/ (consulta 28 maig 2023).

[33] «threading — Thread-based parallelism», *Python documentation*. https://docs.python.org/3/library/threading.html (consulta 28 maig 2023).

[34] «multiprocessing — Process-based parallelism», *Python documentation*. https://docs.python.org/3/library/multiprocessing.html (consulta 28 maig 2023).

[35] «Parallel Python». https://www.parallelpython.com/ (consulta 28 maig 2023).

[36] M. Boersma, *Business-Friendly DSLs*. 2023.

[37] «DSL Guide», *martinfowler.com*, 28 agost 2019. https://martinfowler.com/dsl.html (consulta 28 maig 2023).

[38] M. Publications, «The What and Why of Domain-Specific Languages», *Manning*, 12 febrer 2021. https://freecontent.manning.com/the-what-and-why-of-domain-specific-lanugages/ (consulta 28 maig 2023).

[39] «Google Colaboratory». https://colab.research.google.com/ (consulta 28 maig 2023).

[40] «Project Jupyter». https://jupyter.org (consulta 28 maig 2023).

[41] «Paraver: a flexible performance analysis tool | BSC-Tools». https://tools.bsc.es/paraver (consulta 28 maig 2023).

[42] «Vampir 10.2». https://vampir.eu/ (consulta 28 maig 2023).

[43] «Perfetto - System profiling, app tracing and trace analysis», *Perfetto*. https://perfetto.dev/ (consulta 28 maig 2023).

[44] «Wildfire modeling», *Wikipedia*. 19 abril 2023. Consulta: 29 maig 2023. [En línia]. Disponible a: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wildfire_modeling&oldid=1150723874

[45] E. Seraj, X. Wu, i M. Gombolay, *FireCommander: An Interactive, Probabilistic Multi-agent Environment for Joint Perception-Action Tasks*. 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.28498.58561.

A Llistat de nodes de la RES

A continuació es mostra la llista de nodes de la RES, indicant si duen a terme activitats de difusió/formació pre-universitària, segons els continguts trobats a les seves pàgines web. La llista de nodes RES es pot trobar a: https://www.res.es/es/nodos-de-la-res

Table 6: Llistat de nodes de la RES i activitats de formació/difusió pre-universitària

Node	Centre	D/F?
MareNostrum i Minotauro	Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS)	✓
LaPalma	Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)	✗
Altamira	Universidad de Cantabria	✗
Picasso	Universidad de Málaga (UMA)	✗
Tirant	Universitat de València (UV)	✗
Caesaraugusta	Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BIFI) de la Universidad de Zaragoza	✗
Finisterrae	Fundación Pública Galega Centro Tecnológico de Supercomputación de Galicia (CESGA)	✗
PirineusII i Canigó	Consorci de Serveis Universitari de Catalunya (CSUC)	✗
Caléndula	Centro de Supercomputación de Castilla y León (SCAYLE)	✓
LUSITANIA	Centro Extremeño de iNvestigación, Innovación Tecnológica y Supercomputación - Fundación Computación y Tecnologías Avanzadas de Extremadura (CénitS-COMPUTAEX)	✓
Cibeles3	Universidad Autónoma de Madrid (UAM)	✗
Nasertic	Nasertic (Navarra de Servicios y Tecnologías S.A.)	✗
PIC	Port d'Informació Científica (PIC)	✗
Xula i Turgalium	Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)	✓

B Actuacions educatives pre-universitàries nodes RES

Table 7: Activitats de difusió/educació pre-universitària BSC

Centre	**BSC**
Activitat	**Projecte «Som Investigadores»**
Visites de dues hores de durada per centres de primària (tercer-quart), on visiten el Marenostrum i se'ls introdueix al món de la (Super)computació mitjançant una sèrie de jocs.	
Més informació	
https://www.bsc.es/ca/descobreix-el-bsc/computem-amb-tu/visites-per-a-primaria	
Activitat	**L'aventura de la supercomputació a l'aula**
És la versió on-line (mitjançant un aplicatiu web) del «Som Investigadores» per tal que es pugui dur a terme de manera autònoma als centres.	
Més informació	
https://www.bsc.es/ca/descobreix-el-bsc/computem-amb-tu/laventura-de-la-supercomputaci%C3%B3-laula	
Activitat	**Bojos per la Supercomputació**
Curs impartit pel BSC co-organitzat amb la Fundació Catalunya La Pedrera, orientat a estudiantat de primer de batxillerat amb vocació STEM. Es fa mitjançant selecció prèvia, existint un total (aprox) de 25 places. El curs s'imparteix els dissabtes entre gener i novembre al BSC, en 17 sessions. En aquest curs es tracten tant temes específics de Supercomputació (paral·lelisme, comunicacions, rendiment, etc.) com aplicacions d'aquesta als diferents camps als quals hi té presència el BSC.	
Més informació	
https://www.fundaciocatalunya-lapedrera.com/ca/bojos-ciencia/cursos/supercomputacio	

Table 8: Activitats de difusió/educació pre-universitària SCAYLE

Centre	**SCAYLE**
Activitat	**Visites guiades**
Visites d'una hora amb explicacions de conceptes de Supercomputació, usos principals i visita a Caléndula. A la pàgina web es fa referència explícita a grups d'instituts de secundària o formació professional.	
Més informació	
https://www.scayle.es/visitas-a-scayle/	

Table 9: Activitats de difusió/educació pre-universitària CénitS-COMPUTAEX

Centre	**CénitS-COMPUTAEX**
Activitat	**Visites guiades**
Visites amb explicacions de conceptes de Supercomputació, usos principals i visita a LUSITANIA, LUSITANIA II i LUSITANIA III. Al formulari web per demanar visita es pregunta pel nom de centre i nivell educatiu.	
Més informació	
https://www.cenits.es/visitas-guiadas	

Table 10: Activitats de difusió/educació pre-universitària CIEMAT

Centre	**CIEMAT**
Activitat	**Xerrades a centres (ESO, batxillerat, FP)**

Visites a centres (ESO, batxillerat, FP) per tal de «ampliar horitzons, satisfer la seva curiositat i motivar-los en la seva elecció de futur professional». Es poden demanar fins a tres temes per la xerrada, incloent-se entre els mateixos «Computación científica: el reto de procesar inmensas cantidades de datos científicos». Al formulari web, però, hi ha més xerrades que poden incloure's com a difusió de la Supercomputació:
• «Biología y biomedicina»
  ◦ «Modelos animales en la investigación biomédica»
• «Ciencias de la computación y tecnología informática»
  ◦ «Supercomputación, big data e inteligencia artificial»
• «Fusión nuclear»
  ◦ «Simulación de turbulencia en plasmas de fusión usando superordenadores»	

- «Partículas elementales y astropartículas»
  - «El uso de Machine Learning y Aprendizaje Automático en Física de Partículas»
  - «Introducción al Machine Learning y sus aplicaciones a Física de Partículas»
- «Radiaciones ionizantes»
  - «Implementación de métodos de Inteligencia Artificial asociados a la Dosimetria de Radiaciones»

Més informació

https://www.ciemat.es/portal.do?IDM=461&NM=2

https://agenda.ciemat.es/event/4052/

C Temes «Bojos per la Supercomputació 2023»

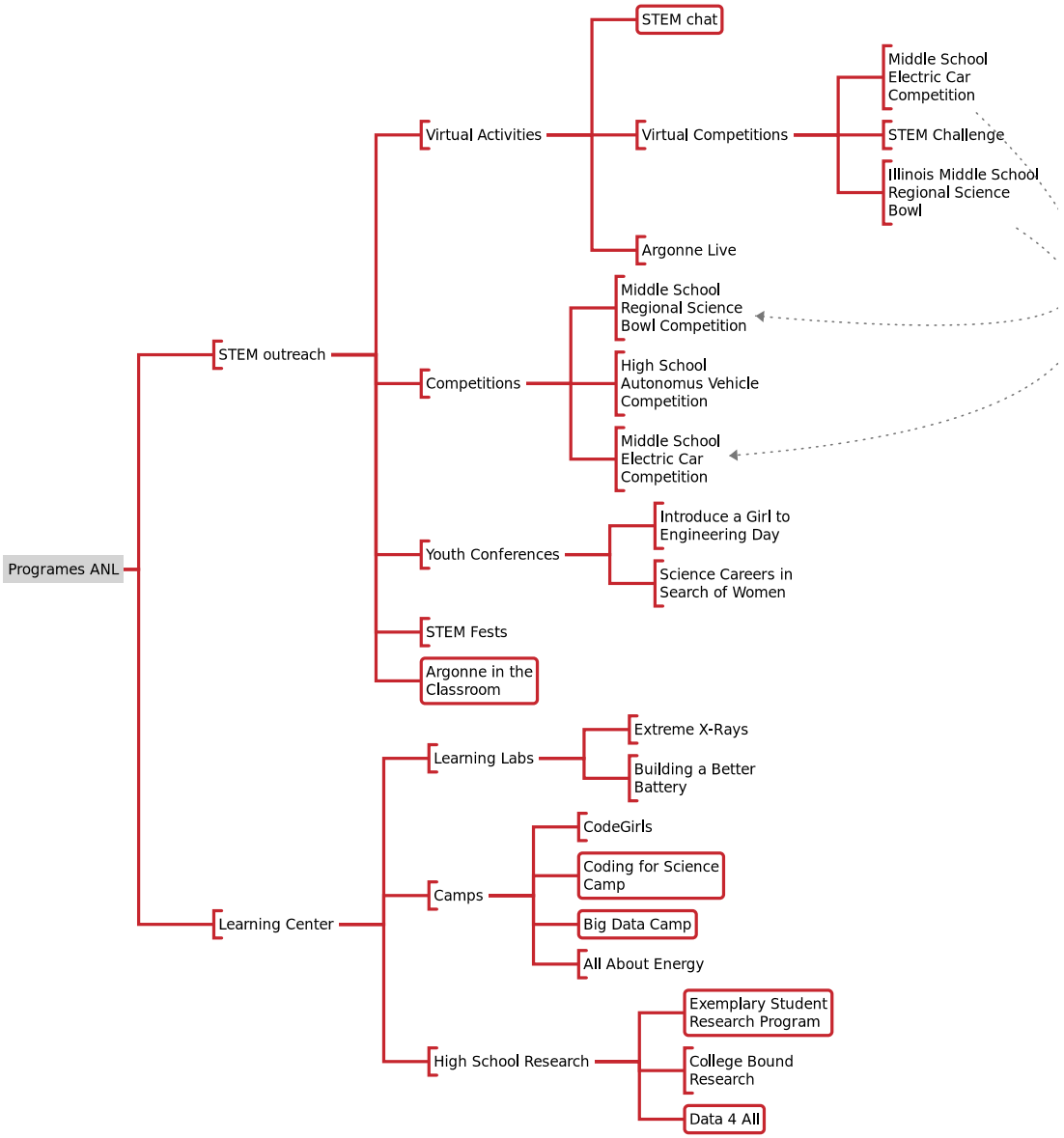
Table 11: Temes "Bojos per la Supercomputació 2023"

Mòdul	Introducció a la Supercomputació (SC)
Temes	
Què és un Supercomputador	
Mètodes i eines de programació per a Supercomputadors	
Paral·lelisme	
Mòdul	Matemàtiques per a la Supercomputació (MSC)
Temes	
Simulant el pas del temps en un laboratori virtual	
Mòdul	Com fer una simulació (SIM)
Temes	
Per què els avions volen i els cotxes no?	
Simular la terra	
Infraestructures de dades	
Mòdul	Intel·ligència artificial (IA)
Temes	
Introducció a la intel·ligència artificial	
Deep Learning	
Mòdul	Canvi climàtic (CC)
Temes	
Paraula de climatòleg	
Mòdul	Biologia computacional (BC)
Temes	
Introducció a la genòmica	

Proteïnes i disseny de fàrmacs	
Mòdul	Computació quàntica (CQ)
Temes	
Introducció a la computació quàntica	
Mòdul	Ciutats Intel·ligents (CI)
Temes	
Mobilitat sostenible	

D Programes ANL (pre-universitaris)

A continuació podem observar el recull de programes de formació/difusió pre-universitari d'ANL. Tot i que cap d'ells parla específicament de «Supercomputació», hem marcat (amb una capsa tancada) aquells que podrien, a priori, incloure continguts al respecte –en funció de la descripció del programa-, tot i que no sigui el seu principal focus.



E Intersecció matèries ESO / activitats formació pre-universitària BSC

Les activitats BSC es corresponen amb les visitres descrites a l'apèndix «B Actuacions educatives pre-universitàries nodes RES» (VIS) i els móduls del programa «Bojos per la Supercomputació» descrits a l'apèndix «C Temes «Bojos per la Supercomputació 2023» (SC, MSC, SIM, IA, CC, BC, CQ, CI)

Table 12: Intersecció matèries ESO / activitats formació pre-universitària BSC

Matèries ESO	Activitat BSC								
	VIS	SC	MSC	SIM	IA	CC	BC	CQ	CI
Aranès i Literatura a l'Aran					✓				
Arts Escèniques i Dansa	✓				✓				
Biologia i Geologia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Ciències Socials: Geografia i Història	✓			✓	✓	✓			✓
Cultura Científica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Cultura Clàssica									
Digitalització	✓	✓	✓	✓	✓				
Economia Bàsica	✓		✓	✓	✓				
Educació en Valors Cívics i Ètics					✓				
Educació Física	✓			✓					
Educació Plàstica, Visual i Audiovisual	✓				✓				
Emprenedoria	✓	✓							
Expressió Artística	✓				✓				

Matèries ESO	Activitat BSC								
	VIS	SC	MSC	SIM	IA	CC	BC	CQ	CI
Filosofia					✓				
Física i Química	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Formació i Orientació Personal i Professional	✓	✓							
Llatí: Llengua i Cultura									
Llengua Castellana i Literatura					✓				
Llengua Catalana i Literatura					✓				
Llengua Estrangera					✓				
Matemàtiques	✓	✓	✓						
Música	✓				✓				
Robòtica i Programació	✓	✓	✓	✓	✓				
Segona Llengua Estrangera					✓				
Tecnologia	✓	✓	✓	✓	✓				
Tecnologia i Digitalització	✓	✓	✓	✓	✓				

F Plànols i anotacions activitat «Som un Supercomputador»

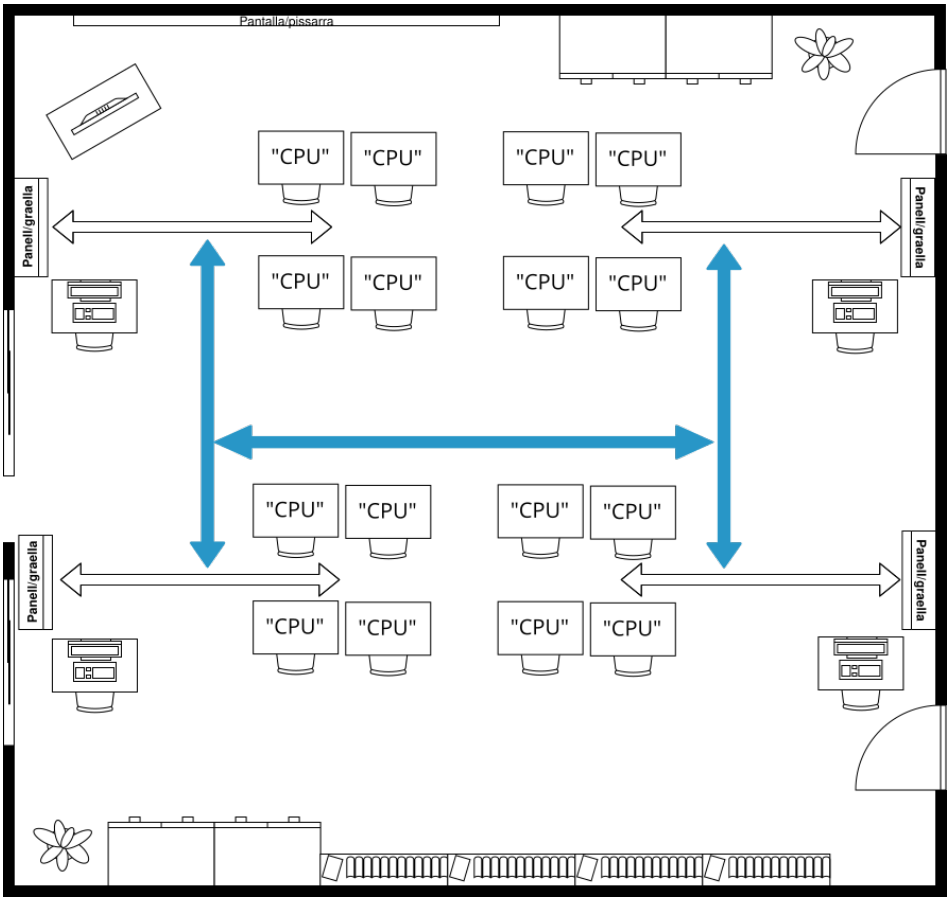


Figure 5: Plànol classe activitat "Som un Supercomputador"

A la Figure 5: Plànol classe activitat "Som un Supercomputador" podem observar una proposta/exemple per aquesta activitat. L'alumnat que fa de «Processador» («responsables de càlcul) seurà a les taules indicades. Les «memòries/graelles» s'ubiquen al costat de cada «Processador», a certa distància. Els «responsables de memòria» s'encarregaran d'actualitzar dades d'aquests panells o de llegir-les en suport esborrable per proporcionar-li al seu «Processador». Per «accedir» a les memòries des de cada «Processador», aquest «Responsable de memòria» haurà de fer servir el camí indicat per les fletxes horitzontals dibuixades en color negre. És també en aquest trajecte on podem ubicar, si volem ampliar el joc de rol, altres elements de memòria (cache). Les fletxes en color blau indiquen els camins que pot fer servir cada «responsable de comunicacions» per accedir a «memòries» d'altres «Processadors». Si marquem un únic camí, també podem incorporar al joc de rol els conceptes de col·lisions de comunicacions.

G Qüestionaris d'avaluació de l'activitat «Som un Supercomputador»

Qüestionari d'avaluació de l'activitat «Som un Supercomputador» (professorat) Respongueu, si us plau, a les següents qüestions entre 1 (no/cap/gens/gens d'acord) i 5 (sí/molt/tot/totalment d'acord)					
	1	2	3	4	5
Tinc coneixements de conceptes de Supercomputació previs a la preparació d'aquesta activitat					
La proposta d'activitat...					
...està prou estructurada					
...presenta uns objectius raonables i assolibles					
...dona els detalls necessaris per a la seva implementació					
...detalla correctament tots els materials necessaris					
...utilitza materials fàcils d'aconseguir i utilitzar					
...és fàcil d'entendre i seguir					
...presenta una planificació temporal (sessions) raonable					
...fa servir un llenguatge no excessivament tècnic (dintre del raonable)					
...està plantejada per a uns nivells d'alumnat apropiats					
...fa servir una metodologia apropiada					
...mostra connexions pertinents amb altres matèries					
...mostra connexions pertinents amb els ODS					
Durant l'execució de l'activitat...					
...l'alumnat ha pogut seguir amb facilitat les indicacions proposades					
...el professorat ha tingut prou informació per guiar a l'alumnat					

...l'alumnat s'ha mostrat participatiu i ha mostrat interès					
...ha entès els conceptes que es volien transmetre					
Tornaré a fer aquesta activitat					
Recomanaria a altres professors/professores fer aquesta activitat					

Qüestionari d'avaluació de l'activitat «Som un Supercomputador» (alumnat) Respongueu, si us plau, a les següents qüestions entre 1 (no/cap/gens/gens d'acord) i 5 (sí/molt/tot/totalment d'acord)					
	1	2	3	4	5
Tinc coneixements de conceptes de Supercomputació previs a la preparació d'aquesta activitat					
L'activitat...					
...ha sigut interessant i m'ha engrescat fer-la					
...dona els detalls necessaris per anar seguint el que ens diuen					
...es pot fer amb els materials que se'ns ha proporcionat					
...és fàcil d'entendre i seguir					
...l'hem pogut fer en un temps raonable (ni ha sobrat ni ha mancat temps)					
...fa servir un llenguatge no excessivament tècnic (dintre del raonable)					
...és apropiada pel nostre nivell/curs					
...fa servir problemes i exemples reals, que m'interessen, com a eix transversal					
...ens ha transmès conceptes que he aconseguit entendre					