



**Universitat**  
de les Illes Balears

## **TREBALL DE FI DE MÀSTER**

**APLICACIONES DE LA TEORIA DE XARXES  
COMPLEXES ALS CONTINGUTS CURRICULARS  
DE L'ÀREA DE CIÈNCIES**

**APLICACIONES DE LA TEORÍA DE REDES  
COMPLEJAS A LOS CONTENIDOS  
CURRICULARES DEL ÁREA DE CIENCIAS**

**APPLICATIONS OF COMPLEX NETWORK  
THEORY TO THE CURRICULAR CONTENTS OF  
THE SCIENCE AREA**

**Juan Fernández Gracia**

**Màster Universitari de Formació del Professorat**

**(Especialitat/Itinerari de Física i Química)**

**Centre d'Estudis de Postgrau**

**Any Acadèmic 2020-21**

# **TÍTOL DEL TREBALL DE FI DE MÀSTER**

**Juan Fernández Gracia**

**Treball de Fi de Màster**

**Centre d'Estudis de Postgrau**

**Universitat de les Illes Balears**

**Any Acadèmic 2020-21**

Paraules clau del treball:

continguts curriculars, disseny curricular, aprenentatge integrat de ciències, xarxes complexes.

*Nom Tutor/Tutora del Treball Antoni Salvà Salvà*

*Nom Tutor/Tutora (si escau)*

*Nom Tutor/Tutora (si escau)*

## Resum

L'ensenyament formal té unes estructures ben marcades que, a nivell de matèries, venen dictades per l'estructura i elements dels currículums. En el context de l'ensenyament de les ciències a les Illes Balears, està marcada per la separació en diferents àmbits de la ciència com la física, la química, les matemàtiques o la biologia. Una de les tendències actuals és la de l'ensenyament integrat de les ciències, on continguts que tradicionalment es tractaven en matèries diferents es tracten de manera conjunta i coherent. Aquest apropament dóna una visió de conjunt a l'alumnat sobre les ciències i fa més èmfasi en el desenvolupament del pensament crític. La teoria de xarxes ens pot ajudar a guiar el procés de disseny d'un ensenyament integrat de ciències. En aquest treball ens centrem en els continguts curriculars i apliquem la teoria de xarxes complexes per a trobar continguts centrals, agrupaments coherents de continguts i propostes per a integrar la física i les matemàtiques de 2n de batxillerat. Després de generar les xarxes de continguts de física, de matemàtiques i de les dues assignatures alhora, les analitzem i en trobem els continguts més importants, tant de manera aïllada, com conjunta. També trobem agrupaments de continguts que són coherents amb la xarxa i reflecteixen l'agrupació en blocs que fa el currículum, amb algunes petites diferències interessants. Finalment, l'anàlisi de comunitats sobre la xarxa conjunta de física i matemàtiques ens proporciona maneres de combinar les dues assignatures de manera coherent. Demostrem doncs en aquest treball el potencial d'aplicació de les eines basades en teoria de xarxes complexes per al disseny curricular.

**Paraules clau:** *continguts curriculars, disseny curricular, aprenentatge integrat de ciències, xarxes complexes.*

# Índex

1	Objectius . . . . .	1
2	Estat de la qüestió . . . . .	2
2.1	L'ensenyament integrat de les ciències i el currículum . . . . .	2
2.2	Ciència de xarxes . . . . .	3
2.2.1	Conceptes bàsics . . . . .	6
2.2.2	Mesures de centralitat . . . . .	7
2.2.3	Estructura de comunitats . . . . .	8
2.3	Ciència de xarxes i educació . . . . .	10
3	Desenvolupament de la proposta . . . . .	12
3.1	Mètodes . . . . .	12
3.1.1	Obtenció de xarxes de continguts . . . . .	12
3.1.2	Visualització i anàlisi de xarxes . . . . .	13
3.2	Resultats . . . . .	15
3.2.1	Física de 2n de batxillerat . . . . .	15
3.2.1.1	Mesures de centralitat . . . . .	16
3.2.1.2	Estructura de comunitats . . . . .	18
3.2.2	Matemàtiques de 2n de batxillerat . . . . .	18
3.2.2.1	Mesures de centralitat . . . . .	20

	3.2.2.2	Estructura de comunitats . . . . .	20
	3.2.3	Cap a un ensenyament integrat de ciències . . . . .	24
	3.2.3.1	Mesures de centralitat . . . . .	25
	3.2.3.2	Estructura de comunitats . . . . .	29
4		Conclusions . . . . .	30
	4.1	Obtenció de les xarxes . . . . .	30
	4.2	Aplicació de mesures de centralitat . . . . .	31
	4.3	Aplicació de l'estructura de comunitats . . . . .	33
	4.4	Cap a un ensenyament integrat de les ciències . . . . .	34
	4.5	Conclusió general . . . . .	35
		Referències . . . . .	37

# 1 Objectius

En aquest treball ens plantegem 4 objectius principals.

1. Generar una xarxa de relacions entre continguts curriculars de diferents assignatures. Ens centrarem en física i matemàtiques de 2n de batxillerat.
2. Trobar els continguts més centrals d'aquestes assignatures, per tal d'ajudar als docents a seleccionar els continguts a tractar amb més cura.
3. Trobar grups de continguts segons les relacions entre els continguts que ens proporcionin unitats didàctiques coherents, emprant l'estructura de comunitats. Aquest objectiu ajudarà a la presa de decisions dels docents per a la seqüenciació de continguts.
4. Proposar agrupacions de continguts però emprant la xarxa conjunta de les dues assignatures, de manera que ens apropem a un ensenyament integrat de les ciències.

## 2 Estat de la qüestió

### 2.1 L'ensenyament integrat de les ciències i el currículum

L'ensenyament integrat en ciències es refereix a impartir les ciències de manera conjunta, fent una barreja de conceptes provinents de diferents matèries com ara la física, la química, les matemàtiques, la biologia o la tecnologia. Aquest tipus d'ensenyament està més centrat en el pensament crític i en la visió del món que ens envolta com un món interconnectat on fenomenologies estudiades per diferents disciplines coexisteixen i interactúen, creant possibles sinergies. Aquestes sinergies es poden dur al procés d'ensenyament-aprenentatge, donant l'oportunitat a l'alumnat de veure la ciència com un conjunt amb moltes interrelacions. De fet, la teoria constructivista ens ensenya que és més important saber connectar diferents continguts entre sí i amb les idees prèvies [1]. D'aquesta manera es pot arribar al que s'en coneix com a *deep learning*, en què l'aprenentatge és més permanent que mitjançant la memorització crua. A més, ens apropem més a la forma que té el cervell d'aprendre, en què es creen estructures de xarxa entre conceptes. L'ensenyament integrat, i en particular de les ciències, se suposa una tendència a seguir. Aquest canvi, però, presenta molts desafiaments [2, 3, 4, 5].

Per una banda s'ha de preparar al professorat per al canvi cap a l'ensenyament integrat. En això pot ajudar l'autoavaluació del professorat [6], però sobretot ajudaria tenir programes específics per a preparar docents per a aquesta tasca, com ténen a algunes universitats dels Estats Units [7, 8].

Per altra banda haurem de canviar l'estructura dels currículums per a dur a terme un canvi real cap a l'ensenyament integrat de ciències. La ciència de xarxes pot proporcionar eines informatives per a avançar cap a aquest canvi. Entre altres coses,

ens pot ajudar a estructurar i trobar continguts d'alta importància, tant en matèries per separat, com amb combinacions de diferents matèries. D'aquesta manera podem comprendre com dur a terme un vertader aprenentatge integrat de ciències amb grups de continguts de diferents matèries que formin conjunts coherents.

A les Illes Balears l'estructura de les assignatures és de tal manera que s'estudien per separat diferents àrees de la ciència com les matemàtiques, la biologia, la física i la química. Hom podria pensar que tenim un sistema híbrid entre ensenyament atomitzat de les ciències i integrat, doncs física i química són la mateixa assignatura de 2n d'ESO fins a 1r de batxillerat. En realitat això no és del tot cert, doncs l'estructuració en blocs diferenciats per matèries (física o química) dels continguts del currículum de l'assignatura de física i química fan que en realitat siguin dos matèries que s'imparteixen dins la mateixa assignatura i no una barreja sinèrgica de les dues [9]. En aquest treball ens centrarem en els continguts actuals del currículum i els intentarem estructurar per a ajudar a prendre decisions sobre l'ensenyament integrat de les ciències.

Hem escollit física i matemàtiques de 2n de batxillerat per a centrar aquest treball, doncs els estudiants de les Illes Balears obtenen de les pitjors notes de l'estat en aquestes matèries a les proves d'accés a la universitat [10]. A més, la dificultat en aquestes dues matèries s'arrossega als primers cursos de totes les enginyeries [11].

## **2.2 Ciència de xarxes**

La ciència de xarxes és una branca de la ciència que estudia xarxes complexes. Dins el camp dels sistemes complexos les xarxes tenen una posició especial, doncs descriuen l'esquelet d'interacció d'aquests. En aquest treball les xarxes de continguts seran l'objecte d'estudi. Per això fem aquí una petita introducció a la història de l'estudi de xarxes i a certs conceptes més tècnics que ens faran falta per entendre la



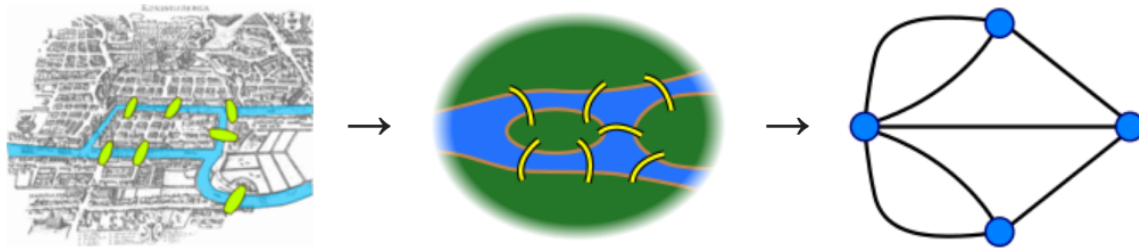


Figura 1: Traducció del problema dels set ponts de Königsberg al problema de travessar tots els enllaços d'una xarxa sense repetir-ne cap (reproduït de [14]).

resta del treball. Per a un resum divulgatiu de la ciència de xarxes es pot consultar la Ref. [12], i per aprofundir en el tema es pot consultar el llibre de la Ref. [13].

La ciència de xarxes (o teoria de grafs a matemàtiques) va començar l'any 1753 quan Leonhard Euler va resoldre el problema dels set ponts de Königsberg emprant una demostració que es basava en les característiques topològiques d'una xarxa [14]. El problema consistia en trobar un camí circular per Königsberg, el qual travessés els set ponts sense repetir-ne cap. Euler va transformar el problema en un en que s'havia de travessar una xarxa<sup>1</sup> utilitzant tots els enllaços i es va adonar que qualsevol node intermig del camí havia d'estar connectat a un nombre parell d'enllaços, mentre que els punts inicials i final havien de tenir un nombre senar d'enllaços connectats amb ells. Com que el problema imposava tornar al punt de partida, el punt inicial i final també havia de tenir un nombre parell d'enllaços. Com es pot comprovar a la Fig. 1 la xarxa resultant de Königsberg i els seus ponts té 4 nodes i tots estan connectats amb un número senar d'enllaços, de manera que el problema dels set ponts de Königsberg no té solució.

El problema que va resoldre Euler va ser el treball seminal de la teoria de grafs que van continuar desenvolupant els matemàtics. Tot i que la teoria de grafs va trobar alguna aplicació a la química del s.XIX, el següent salt qualitatiu en ciència de

<sup>1</sup>Per ara serà suficient saber que una xarxa és un conjunt de punts anomenats *nodes* o *vèrtexs* connectats mitjançant línies que s'anomenen *enllaços* o *aristes*.

xarxes va venir a la dècada dels anys 30 del segle XX quan el psiquiatra i psicòleg Jacob Levy Moreno va desenvolupar el sociograma, com una representació de l'estructura social d'un grup d'individus. Aquesta eina va trobar moltes aplicacions i ha acabat transformant-se en el camp de l'anàlisi de xarxes socials. Poc més tard, a finals dels anys 50, Paul Erdős i Alfréd Rényi van introduir els grafs aleatoris, obrint tot un nou camp de treball en ciència de xarxes [15]. Més recentment, la ciència de xarxes va resorgir amb força degut a treballs que a finals dels anys 90 i principis dels 2000 van explicar diferents característiques de xarxes *reals* que ara es podien mesurar a gran escala. Destaquen d'aquesta etapa els treballs seminals de Duncan i Watts sobre xarxes de món petit<sup>2</sup> o els treballs de Barabási i Albert sobre xarxes lliures d'escala<sup>3</sup> [16, 17].

Avui dia la teoria de xarxes es considera totalment interdisciplinària i s'aplica a una varietat immensa de contextos (veure Fig. 2). Quant a topologia de les xarxes s'estan descrivint cada vegada millor interaccions de natures més complexes, mitjançant xarxes temporals, xarxes multicapa, xarxes interconnectades i altres tipus de topologies no tradicionals [18, 19, 20]. El camp també ha estat impactat per el paradigma actual de Big Data. Cada cop es troben més treballs amb quantitats ingents de dades. En aquest context la ciència de xarxes té gran potencialitat per trobar patrons i significats en quantitats massives de dades [21]. En el context actual les xarxes ténen una gran importància en l'estudi de propagació d'infermetats infeccioses, com ara la Covid [22].

---

<sup>2</sup>Es considera que una xarxa és de món petit quan els nodes ténen un alt grau d'agrupament, és a dir, que si un node està connectat amb altres 2 nodes, aquests altres dos és molt probable que estiguin connectats directament també, i a més els camins més curts sobre la xarxa per arribar entre dos nodes qualsevol són molt petits en relació al nombre de nodes de la xarxa. Petit vol dir de l'ordre del logaritme del nombre de nodes. És a dir, per una xarxa de 1000 nodes poder trobar un camí de qualsevol node a qualsevol altre en només 3 salts sobre enllaços de la xarxa.

<sup>3</sup>Les xarxes lliures d'escala es caracteritzen per que el nombre d'enllaços connectats a cada node (o *grau* del node) segueix una distribució de llei de potències. Aquest tipus de llei implica que la major part de nodes de la xarxa ténen un grau petit, mentre que hi ha uns pocs amb graus desmesuradament grans. Com passa per exemple amb la riquesa al món.

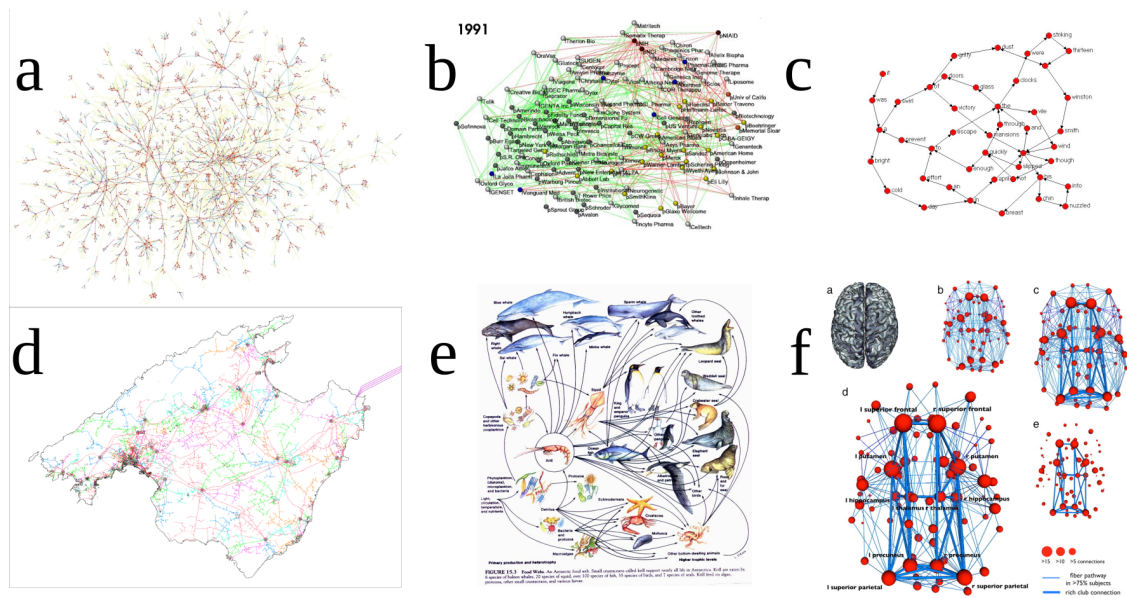


Figura 2: Exemples de diferents tipus de xarxes. **a)** Xarxa de comunicació per telefonia mòbil (reproduïda de [23]). **b)** Xarxa de relacions comercials entre empreses de biotecnologia dels Estats Units l'any 1991. **c)** Xarxa de relacions d'adjacència entre paraules de les dues primeres frases del llibre 1984 de George Orwell [24]. **d)** Xarxa de distribució elèctrica de la illa de Mallorca. **e)** Xarxa tròfica marina. **f)** Xarxa de connexions neuronals al cervell, el connectoma (reproduït de [25]).

### 2.2.1 Conceptes bàsics

Formalment una xarxa o graf  $G = (\mathcal{N}, \mathcal{E})$  es defineix com un conjunt de nodes  $\mathcal{N}$ , que estan relacionats mitjançant un conjunt d'enllaços  $\mathcal{E} \subset \mathcal{N} \times \mathcal{N}$ . Aquests enllaços poden ser dirigits o no, poden tenir un pes que reflecti la intensitat de la relació entre els dos nodes o d'altres característiques. El nombre d'enllaços adjacents a un node és el grau del node. Un camí sobre la xarxa és un conjunt d'enllaços de tal manera que es pot anar travessant d'un node a un altre per aquests enllaços. El camí més llarg sobre una xarxa, comptat en nombre d'enllaços, és el seu diàmetre. Una xarxa conté components, que són grups de nodes entre els que es pot trobar un camí a través de la xarxa. Si es pot trobar un camí entre qualsevol parell de nodes de la xarxa direm que només conté una component. Del nombre d'enllaços de la xarxa dividit pel nombre total possible d'enllaços se'n diu la seva densitat. Podem observar alguns d'aquests conceptes a la Fig. 3.

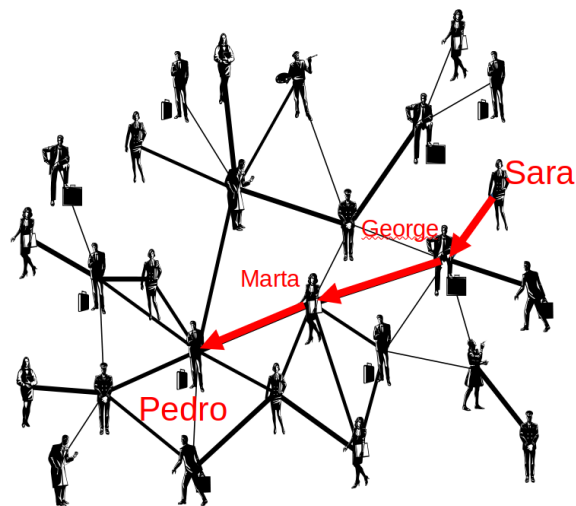


Figura 3: Camí sobre una xarxa. Veiem que en aquesta xarxa només tenim una component (es poden trobar camins sobre la xarxa per a qualsevol parella de nodes). En vermell veiem un camí que connecta Sara i Pedro passant per George i Marta. Podem veure també per exemple la heterogeneïtat en graus amb Sara amb un grau de 1 i amb Pedro amb un grau de 7.

### 2.2.2 Mesures de centralitat

Un cop tenim una xarxa ens pot interessar saber quins són els nodes més importants en aquesta segons la seva topologia. El problema és que, depenent el context en que estem pensant en importància, la mesura que haurem de fer pot ser una o una altra. En el context de xarxes de continguts, les mesures de centralitat ens descriuran la importància dels continguts. Tot seguit descrivim les tres mesures de centralitat que utilitzarem en aquest treball.

**Grau (*degree*):** és el nombre d'enllaços connectats amb un node. es tracta d'una mesura local per a la qual no fa falta conèixer l'estructura global de la xarxa. Aquesta és la més bàsica de les mesures de centralitat. Normalment un node molt connectat es considera molt important o *central* a la xarxa. Als nodes amb els graus desproporcionadament més grans de la xarxa se'ls anomena *hubs*. Per a xarxes de continguts, els que tinguin grau més gran seran continguts que es poden relacionar amb molts altres continguts, o bé per la seva

transversalitat o perquè ténen moltes aplicacions o perquè barregen resultats de diferents continguts.

**Proximitat (*closeness*):** és l'invers de la longitud mitjana dels camins més curts que uneixen un node amb la resta de nodes de la xarxa. D'aquesta manera un node que es troba a prop de la resta de nodes es considerarà central. Per a aquesta mesura necessitem el coneixement global de la xarxa. Per a xarxes de continguts, aquesta mesura de centralitat serà capaç de mostrar els continguts que es poden relacionar més fàcilment amb la resta de continguts globalment.

**Intermediació (*betweenness*):** és el nombre de camins més curts entre tots els parells de nodes de la xarxa que passen per el node d'estudi. Imaginem un node que estigui fent de pont entre dos regions de la xarxa que, cada una per la seva banda, té nodes ben connectats entre sí, però que no connecten entre les diferents regions excepte pel node que fa de pont. Aquest node tindrà una centralitat d'intermediació molt gran. Per a aquesta mesura també és necessari tenir un coneixement global de la xarxa. Aquesta mesura ens pot informar sobre quins continguts fan de pont entre grups de continguts.

A la Fig. 4 podem observar uns exemples de *hubs* i de nodes amb alta centralitat d'intermediació.

### 2.2.3 Estructura de comunitats

Les xarxes es poden descriure no només a nivell microscòpic (node a node) o a nivell macroscòpic amb mesures agregades per a tota la xarxa, sinó que també es poden estudiar a nivells entremitjos d'organització. De fet moltes xarxes revelen la seva riquesa en aquest nivell. Normalment es refereix a aquest nivell com a mesoscòpic i s'estudia mitjançant l'estructura de comunitats. Una comunitat en una xarxa és un

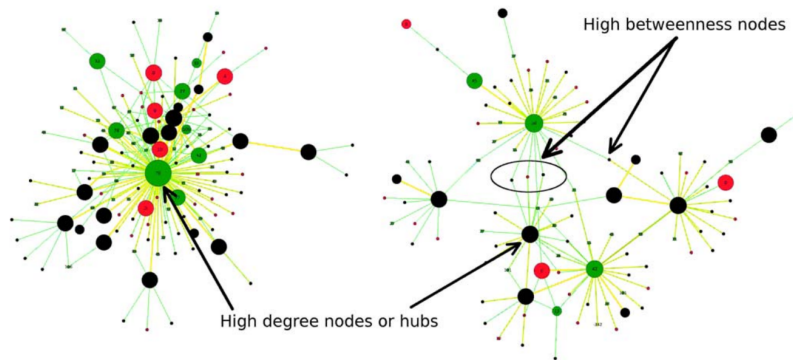


Figura 4: Exemples de nodes amb grau desproporcionadament gran o *hubs* i nodes amb alta centralitat de intermediació (reproduït de [26]).

conjunt de nodes que estan molt més connectats entre ells que amb la resta de la xarxa. Per trobar l'estructura de comunitats s'ha de trobar una partició dels nodes de la xarxa en agrupacions que formen les comunitats. Degut a que aquesta definició és bastant vaga, fa falta una operacionalització d'aquesta i, depenent del procés que es tingui en ment, es poden definir diferents algorismes d'anàlisi de comunitats. De fet existeixen molts d'aquests algorismes [27, 28] i pot ser necessari estudiar quin és el que millor funcionarà, donada la natura de la xarxa que s'estigui considerant [29].

En aquest treball només utilitzarem un, Infomap [30, 31]. Aquest algorisme utilitza caminants aleatoris sobre la xarxa per a inferir la seva estructura de comunitats. Un caminant aleatori és un agent que es pot moure d'un node a un altre seguint els enllaços de la xarxa a l'atzar. Si la xarxa té una marcada estructura de comunitats, el caminant aleatori quedarà atrapat molt temps dins de cada comunitat fins que salti a una altra comunitat. L'algorisme aprofita aquesta característica per a estimar l'estructura de comunitats. A la Fig. 5 podem veure un exemple de xarxa amb estructura de comunitats que és descoberta per l'algorisme Infomap y ens permet analitzar la xarxa a un nivell mesoscòpic d'agregació en comunitats.

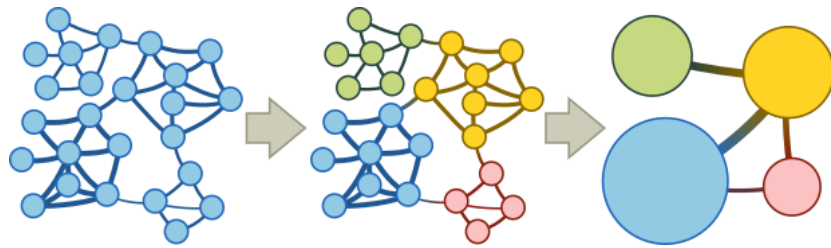


Figura 5: Exemple de xarxa amb estructura de comunitats, amb la qual es pot passar a un altre nivell – mesoscòpic– de descripció de la xarxa en termes de les comunitats que la formen i les seves relacions (reproduït de [32]).

## 2.3 Ciència de xarxes i educació

L'aplicació de ciència de xarxes en educació no és nova, però sí que és sorprenent que no tingui una aplicació més extensa, com ho té en altres disciplines socials [33]. A continuació descrivim els treballs i fòrums de discussió sobre ciència de xarxes aplicada a educació que hem trobat més rellevants en el context d'aquest treball.

Existeixen dos treballs que solapen bastant en el seu estil amb el que aquí presentem. Per una banda la Ref. [34], on l'autor estudia l'estructura de xarxa dels continguts de 30 cursos online sobre ciència de xarxes. En el seu cas també cerca els nodes més importants de la xarxa i utilitza algorismes d'anàlisi de comunitats per trobar unitats coherents de continguts, com farem nosaltres amb continguts curriculars. Samaya [34] va trobar grups coherents de continguts que ténen sentit quan es comproven a posteriori. Per altra banda tenim la Ref. [35] en què s'apliquen també mesures de centralitat i d'anàlisi de comunitats a xarxes de conceptes generades per alumnes durant una unitat didàctica d'electrostàtica en tres moments. Van trobar que les xarxes de conceptes creixen d'una manera no lineal, primer tendint a esmicolar-se per després reorganitzar els enllaços entre conceptes i generant-ne de nous.

Una aplicació interessant la presenten Schwab *et al.* [36], on utilitzen xarxes de continguts, organitzades de forma jeràrquica, per a generar seqüenciacions de

continguts personalitzades que ténen en compte les relacions complexes entre conceptes. Per desgràcia sembla que aquest projecte està aturat.

Aquest any passat 2020 es va publicar un número especial a la revista *Education sciences* de títol “Networks Applied in Science Education Research” [37]. Dins aquesta publicació trobem articles que utilitzen també les xarxes de conceptes en matèries de ciències, amb diferents finalitats. Per exemple a la Ref. [38] els autors argumenten que l’evolució de les xarxes de conceptes personals de cada alumne es poden emprar per avaluar el progrés en l’aprenentatge. Podschuweit i Bernholt avaluan la comprensió de conceptes relacionats amb l’energia mesurant la coherència de les xarxes de conceptes de l’alumnat [39]. De fet, Kubsch *et al.* mostren cóm els alumnes amb una xarxa de conceptes més coherent són capaços de traslladar els coneixements a la pràctica més fàcilment [40].

Per últim voldria apuntar que, des de 2012, se celebra una conferència anomenada Netsci-Ed [41], satèl·lit d’una de les conferències internacionals més grans sobre ciència de xarxes, Netsci [42], que tracta explícitament de xarxes en educació. Per norma general els treballs que s’hi presenten ténen a veure amb la introducció de cursos de ciència de xarxes a nivells de batxillerat, però també amb la introducció d’eines de ciència de xarxes per a la comprensió de processos d’ensenyament-aprenentatge [43].

Aquest treball és innovador, ja que aplica la teoria de xarxes a matèries que en principi es fan per separat, per tractar de fer de guia als docents en un ensenyament integrat de les ciències. A més, cap treball anterior ha tractat els continguts del currículum de les Illes Balears (ni tan sols els de l’estat espanyol). També és un treball amb potencial d’aplicació en el dia a dia de la pràctica docent, doncs ens informa sobre quins continguts són més importants per treballar el mapa conceptual global de la matèria.



## 3 Desenvolupament de la proposta

### 3.1 Mètodes

En aquesta secció descriurem els mètodes emprats en aquest treball fi de màster. Els codis i arxius de dades que hem generat, necessaris per a reproduir aquest treball, es poden trobar al repositori de la Ref. [44].

#### 3.1.1 Obtenció de xarxes de continguts

Atesa l'extensió d'aquest treball ens hem restringit en aquest treball als continguts que apareixen al currículum de les Illes Balears accessibles a través de la intranet de la CAIB [9]. Ens hem centrat en els continguts de física i de matemàtiques de 2n de batxillerat. Hem assignat un codi a cada contingut, que consta d'un identificador de la matèria seguit de dos números que identifiquen el bloc al qual pertany el contingut i l'ordre en què apareix el contingut dins aquell bloc. Els continguts es poden consultar a la taula `xarxa_FIS_MAT_QUI_BAT_inicial.csv` dins l'adreça de GitHub de la Ref. [44]. En el currículum actual la matèria de física consta de 54 continguts distribuïts en 6 blocs, mentre que la de matemàtiques consta de 36 continguts dividits en 5 blocs [9].

Les relacions entre continguts s'han comprovat totes manualment. S'han connectat dos continguts sempre que solapassin o bé en conceptes o en metodologies. Per a  $N$  continguts la quantitat de relacions a comprovar són  $N(N - 1)/2$ . En el nostre cas tenim 90 continguts en total, el que es tradueix en 4005 relacions a comprovar. Per tal de ser sistemàtic en les comprovacions hem creat un programa d'ordinador que ens mostra dos continguts i ens pregunta si un és necessari per a poder treballar l'altre, si estan relacionats entre sí, però es poden treballar en

qualsevol ordre o si no tenen relació. Aquestes dades les va guardant el programa, juntament amb un diari de quines relacions s'han comprovat, de tal manera que es poden anar comprovant relacions entre diferents sessions sense por a oblidar quines s'han comprovat o no. Aquest procés va durar unes 10 hores, emprant uns 10 segons en cada relació. Per a intentar evitar algun esbiaix, el programa no diu de quin bloc són els continguts que es mostren. A la figura 6 podem veure una captura de pantalla del programa. Està preparat per recollir dades sobre relacions entre més matèries de l'àrea de ciències, com ara física i química i matemàtiques de 1r de batxillerat i química de 2n de batxillerat, tot i que només hem recollit les dades per a física i matemàtiques de 2n de batxillerat.

El programa de recollida de dades demana primer entre els continguts de quines 2 assignatures es volen comprovar relacions. Després va demanant la relació entre dos continguts a l'atzar que no s'hagin comprovat abans. El programa ens dona 5 opcions: 1) el 1r contingut és necessari per a poder treballar el 2n, 2) el 2n contingut és necessari per a poder treballar el 1r, 3) els dos continguts estan relacionats, però es poden treballar en qualsevol ordre, 4) els continguts no ténen cap relació i 5) ens deixa l'oportunitat d'avaluar aquesta relació més endavant.

### **3.1.2 Visualització i anàlisi de xarxes**

Tot i que amb el programa hem recollit dades sobre quin contingut és necessari per a un altre i, per tant, s'hauria d'haver treballat abans; en l'anàlisi ens hem centrat en les relacions com a no dirigides<sup>4</sup>. Ho hem fet perquè vàrem trobar moltes més relacions no dirigides durant la fase de recollida de dades, és a dir, relacions entre continguts que indiquen cert grau de connexió (metodològica o de contingut), però

---

<sup>4</sup>En xarxes un enllaç dirigit és aquell que té una direcció definida d'un node cap a un altre. Per al cas que tractem, els continguts que s'han d'explicar abans que un altre es poden connectar amb un enllaç dirigit del que és necessari cap al contingut secundari.

```
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
(base) juanf@cansado:~/Master_formacion_profesorado/TFM/xarxes_complexe_continguts_curriculars/prueba$ python populate_network.py
Hola! Gràcies per voler contribuir a recollir les relacions entre continguts del currículum.
Et demanaré un parell de dades primer per veure quines dades recollim.
Hauràs d'escollir dues matèries (poden ser la mateixa) per a trobar relacions entre la primera i la segona.
Quina vols que sigui la primera?
1-Física 2n BAT
2-Matemàtiques 1r BAT
3-Matemàtiques 2n BAT
4-Física i Química 1r BAT
5-Química 2n BAT

--> 1
Quina vols que sigui la segona?
1-Física 2n BAT
2-Matemàtiques 1r BAT
3-Matemàtiques 2n BAT
4-Física i Química 1r BAT
5-Química 2n BAT

--> 3
Has escollit Física i Matemàtiques II
Estàs d'acord? (S/n)
--> S
Nom del fitxer de dades amb dades prèvies? (deixar en blanc per agafar les darreres dades guardades)
-->
Tenim 1944 relacions per comprobar... Comencem!

Volem comprobar la relació entre els següents continguts:

1-Classificació i magnituds que caracteritzen les ones
2-Determinants. Propietats elementals

Veus alguna relació entre els continguts?
1- 1 és necessari per a 2.
2- 2 és necessari per a 1.
3- Estan relacionats però no son requisits l'un de l'altre.
4- No ténen cap relació.
5- Passo.

--> □
```

Figura 6: Programa per a la recollida de dades. El programa demana primer entre els continguts de quines dues matèries es volen comprovar relacions. Aquestes dues matèries poden ser la mateixa. Després ens avisa de quantes relacions ens queden per comprovar entre les dues matèries seleccionades i ens va preguntant per les relacions entre parelles que va mostrant d'entre les que no s'han comprovat encara.

no de necessitat per a poder treballar un contingut. Les relacions dirigides les hem substituït per relacions no dirigides, és a dir que hem menyspreat l'ordre en que s'haurien de treballar els continguts.

Les visualitzacions de les xarxes s'han fet amb el programa Cytoscape [45]. Per a l'anàlisi s'ha emprat una barreja de codi propi escrit en Python i funcionalitats de Cytoscape.

Hem investigat 3 tipus de centralitat diferents. Una mesura local, que és el grau de cada contingut, és a dir, el nombre de continguts relacionats amb un mateix; i dues globals, que són la centralitat de proximitat, que mesura com de propers són la resta de nodes respecte un mateix, i la centralitat d'intermediació, que mesura per a cada contingut el percentatge de tots els camins més curts entre nodes de la xarxa que passen per un mateix.

L'anàlisi de comunitats s'ha fet també amb codi propi escrit en python, emprant la implementació existent de l'algoritme Infomap [30, 31]. Aquest algoritme empra caminants aleatoris sobre la xarxa i, mitjançant les seves trajectòries troba la millor partició de la xarxa per a poder descriure-les donant el mínim d'informació.

## **3.2 Resultats**

### **3.2.1 Física de 2n de batxillerat**

L'assignatura de física de 2n de batxillerat té 54 continguts dividits en 6 blocs. Hem trobat 409 connexions entre continguts de les 1431 possibles. Això vol dir una densitat de 0.29 i que, de mitjana, cada contingut està connectat amb 15.15 altres continguts. La xarxa està composta per només una sola component connectada, és a dir que es pot trobar un camí sobre la xarxa per anar entre qualsevol dos continguts. Aquestes característiques denoten la no linearitat i complexitat de les relacions en-

tre els continguts. De fet el diàmetre de la xarxa és de longitud 2 i la longitud del camí mitjà és de 1.71. Que el diàmetre sigui 2 vol dir que dos continguts que no estan connectats, ho estan sempre a través d'un tercer. Veurem més tard que aquest tercer és típicament un contingut del primer bloc, molt central per ser més transversal. El coeficient d'agrupació (clustering coefficient) és de 0.65, un valor bastant alt. Això vol dir que en el 65% dels casos dos continguts que estan connectats a un tercer, també estan connectats entre sí. Podem veure una representació de la xarxa a figura 7.

### **3.2.1.1 Mesures de centralitat**

Les tres mesures de centralitat que hem mesurat (grau, proximitat i intermediació) estan molt correlacionades, de manera que en realitat podríem quedar-nos només amb una, ja que els rànquings fets amb aquestes mesures seran molt semblants. Podem veure aquesta correlació a la figura 8. Tot i que no s'aprecia del tot, hi ha una relació estrictament creixent entre grau i centralitat de proximitat. Això vol dir que, com més gran sigui el grau, més a prop es troba aquest contingut de tota la resta de continguts. Respecte a la centralitat de intermediació veiem que la relació no és tan neta, però sí que hi ha una correlació positiva ben marcada.

Per saber quins són els continguts més centrals hem preparat la taula 1. En aquesta taula mostrem els 10 continguts més centrals segons el seu grau. El ranking és el mateix per a la centralitat de proximitat, però varia mínimament per a la centralitat de intermediació. El contingut més central és "Estratègies pròpies de l'activitat científica" del 1r bloc, "L'activitat científica". Els dos continguts següents són del bloc 4 "Ones" i ténen a veure amb ones electromagnètiques. Entre els altres 10 continguts més centrals tenim 3 continguts del bloc 6 "Física del segle XX", dos del bloc 4, "Ones", i dos del bloc 3, "Interacció electromagnètica".

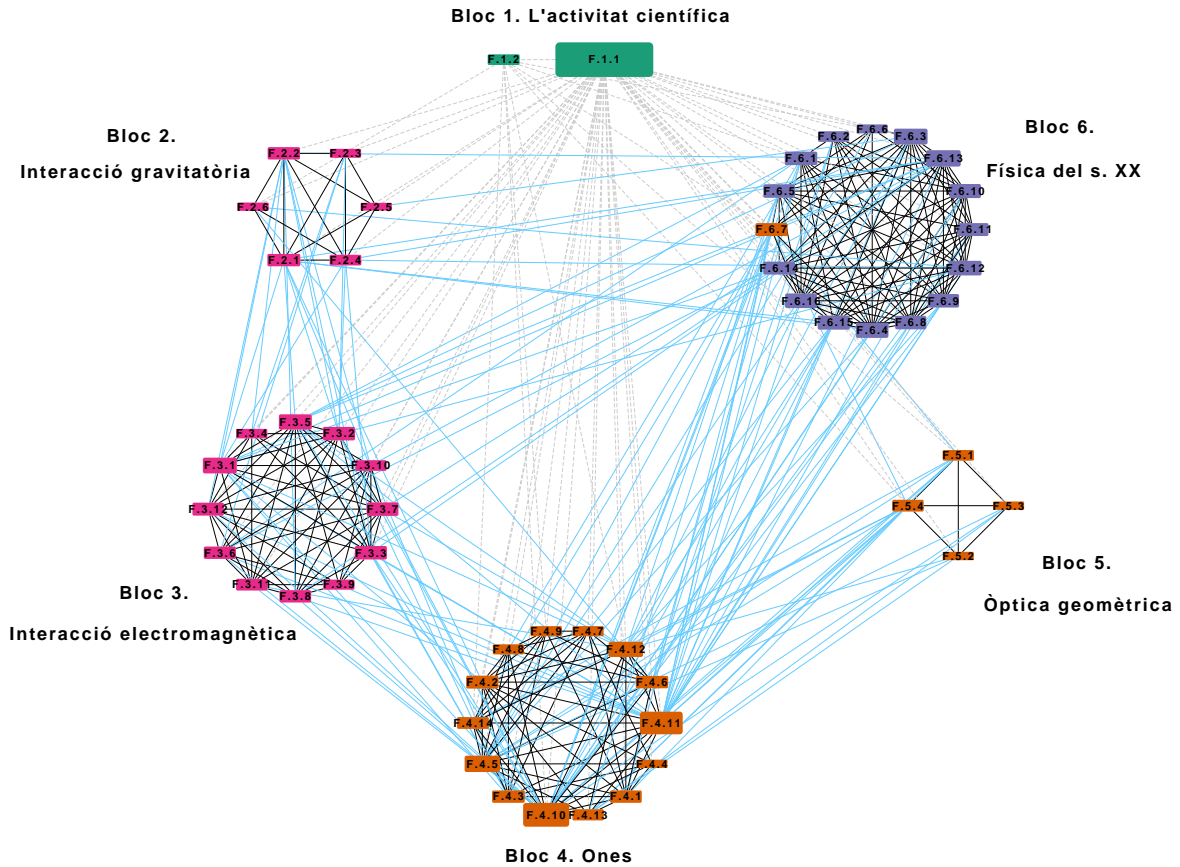


Figura 7: Xarxa de continguts de física de 2n de batxillerat. Els continguts estan agrupats per blocs. Els enllaços amb el bloc 1 s'han fet en gris i amb línia puntejada per ajudar a la visualització de la resta de la xarxa. La resta d'enllaços estan formats per línies sòlides i són de color negre quan connecten continguts del mateix bloc i de color blau quan connecten continguts de diferents blocs. L'altura del símbol de cada contingut és proporcional al seu grau, mentre que l'amplada a la seva centralitat d'intermediació. El color dels nodes representa el mòdul en que cauen segons l'anàlisi de comunitats. Per observar els detalls de la xarxa es pot ampliar en aquest document en format pdf, doncs la imatge és vectorial.

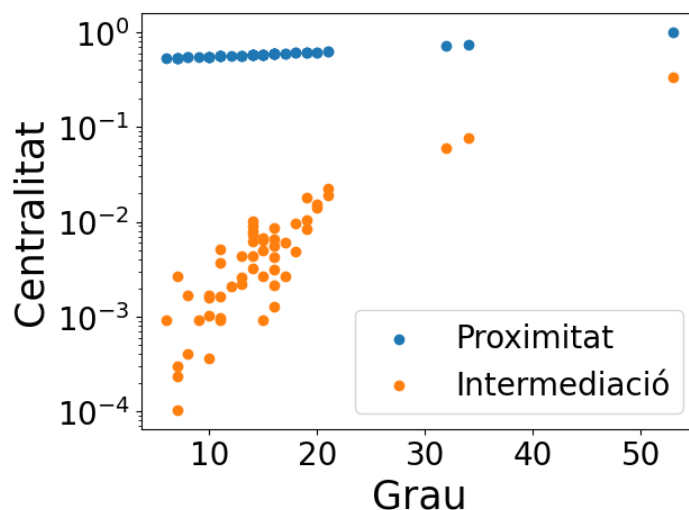


Figura 8: Relació entre les 3 mesures de centralitat per als continguts de física de 2n de batxillerat. A l'eix x tenim el grau de cada contingut i a l'eix y el valor de la centralitat per a cada contingut. En blau podem veure la centralitat de proximitat i en taronja la de intermediació.

Per últim també podem consultar les centralitats de tots els continguts visualment mitjançant la figura 7 (consultar el peu).

### 3.2.1.2 Estructura de comunitats

Per a l'estructura de comunitats hem descartat de la xarxa els continguts del 1r bloc, doncs considerem que són transversals i s'aniran tractant a tots els continguts. L'algoritme Infomap identifica tres mòduls de continguts. El primer mòdul engloba el 2n i 3r blocs, "Interacció gravitatòria" i "Interacció electromagnètica". El segon mòdul engloba els blocs 4t i 5è, "Ones" i "Òptica geomètrica", a més d'un contingut del 6è bloc, "Aplicacions de la física quàntica. El làser". Per últim el 3r mòdul conté la resta de continguts del 6è bloc.

### 3.2.2 Matemàtiques de 2n de batxillerat

L'assignatura de matemàtiques de 2n de batxillerat té 36 continguts dividits en 5 blocs. Hem trobat 249 connexions entre continguts de les 630 possibles. Això vol dir

Identificador	Matèria	Bloc	Contingut	Grau	Proximitat	Intermediació
F.1.1	Física	Bloc 1. L'activitat científica	Estratègies pròpies de l'activitat científica	53	1.0	0.338
F.4.10	Física	Bloc 4. Ones	Ones electromagnètiques	34	0.736	0.077
F.4.11	Física	Bloc 4. Ones	Naturalesa i propietats de les ones electromagnètiques	32	0.716	0.06
F.6.13	Física	Bloc 6. Física del segle XX	Les quatre interaccions fonamentals de la naturalesa: gravitatòria, electromagnètica, nuclear forta i nuclear feble	21	0.624	0.019
F.4.5	Física	Bloc 4. Ones	Fenòmens ondulatoris: interferència i difracció, reflexió i refracció	21	0.624	0.023
F.3.1	Física	Bloc 3. Interacció electromagnètica	Camp elèctric	20	0.616	0.015
F.6.3	Física	Bloc 6. Física del segle XX	Física quàntica	20	0.616	0.014
F.4.12	Física	Bloc 4. Ones	L'espectre electromagnètic	19	0.609	0.018
F.3.5	Física	Bloc 3. Interacció electromagnètica	Camp magnètic	19	0.609	0.01
F.6.4	Física	Bloc 6. Física del segle XX	Insuficiència de la física clàssica	19	0.609	0.008

Taula 1: Els 10 continguts més centrals de l'assignatura de física de 2n de batxillerat segons el seu grau.



una densitat de 0.395 i que, de mitjana, cada contingut està connectat amb 13.83 altres continguts. La xarxa està composta per només una sola component connectada. De nou veiem que els continguts formen una xarxa complexa no lineal, amb moltes connexions entre diferents continguts de diferents blocs. El diàmetre de la xarxa és de longitud 2 i la longitud del camí mitjà és de 1.6. En aquesta assignatura també ens passa com a la de física i veiem que entre dos continguts sempre trobarem una connexió o connexió mitjançant un 3r contingut molt central a la xarxa. El coeficient d'agrupació (clustering coeficient) és de 0.74, un valor molt alt. Això vol dir que en el 74% dels casos dos continguts que estan connectats a un tercer, també estan connectats entre sí. Podem veure una representació de la xarxa a figura 9.

#### **3.2.2.1 Mesures de centralitat**

Tal com hem vist a la xarxa de continguts de física, a la de matemàtiques les tres mesures de centralitat que hem mesurat estan molt correlacionades (Fig. 10). Si ens fixem en els 10 continguts més centrals de la xarxa, veiem que estan dominats per continguts del 1r bloc, "Processos, mètodes i actituds en matemàtiques", que són molt transversals. També trobem dos continguts del 2n bloc, "Nombres i àlgebra", relacionats amb aplicacions de les matrius. Podem consultar aquests 10 continguts a les taules 2 i 3.

#### **3.2.2.2 Estructura de comunitats**

Quant a l'estructura de comunitats o mòduls que trobem en aquesta xarxa, trobem que coincideixen totalment amb els blocs plantejats al currículum. Recordem que aquesta anàlisi s'ha fet excluint el bloc 1r de l'assignatura, per les mateixes raons que s'ha fet amb l'assignatura de física: són continguts transversals que es tractaran al llarg de tots els continguts i tenir-los dins la xarxa pot donar una falsa informació de connectivitat entre continguts a l'algoritme de cerca de comunitats Infomap.

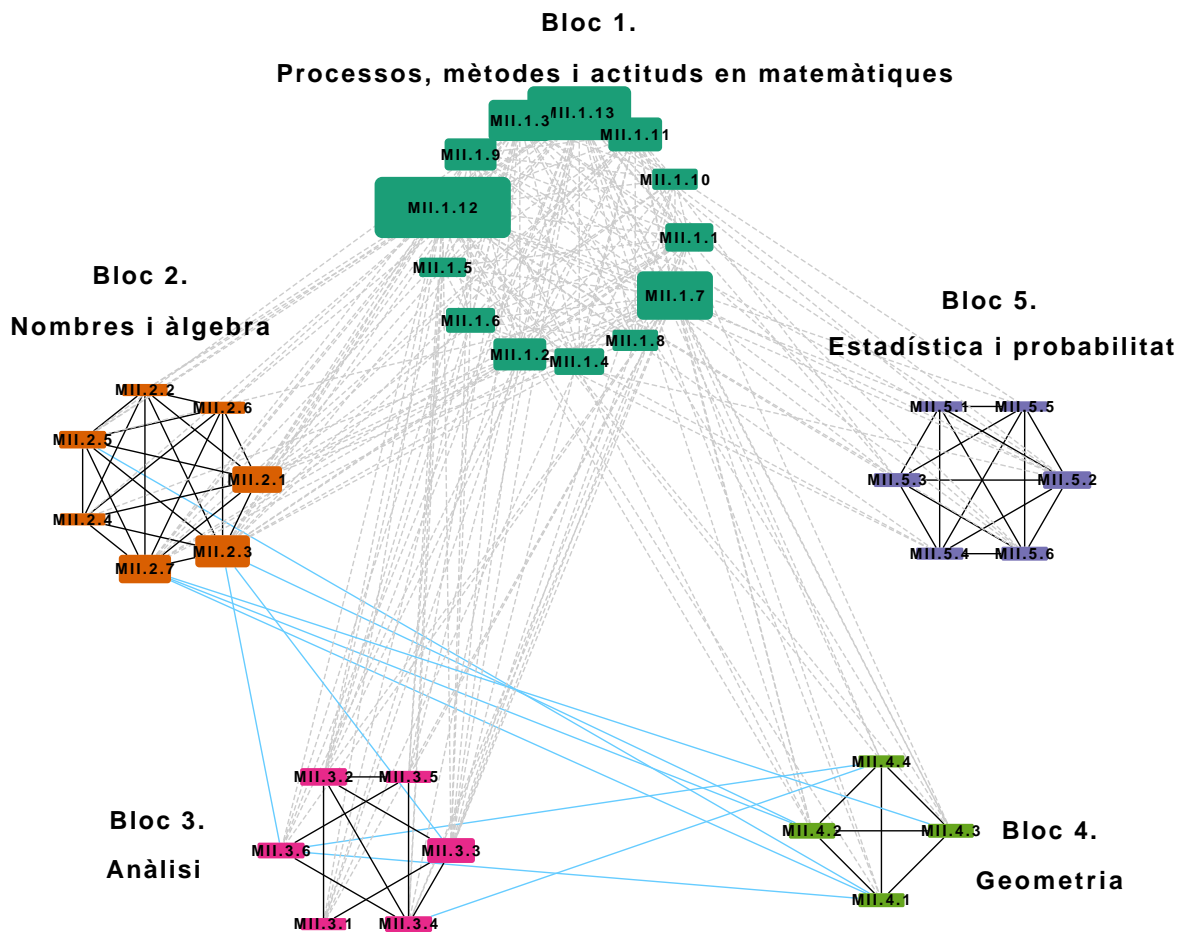


Figura 9: Xarxa de continguts de matemàtiques de 2n de batxillerat. Els continguts estàn agrupats per blocs. Els enllaços amb el bloc 1 s'han fet en gris i amb línia puntejada per ajudar a la visualització de la resta de la xarxa. La resta d'enllaços estan formats per línies sòlides i són de color negre quan connecten continguts del mateix bloc i de color blau quan connecten continguts de diferents blocs. L'altura del símbol de cada contingut és proporcional al seu grau, mentre que l'amplada a la seva centralitat d'intermediació. El color dels nodes representa el mòdul en que cauen segons l'anàlisi de comunitats. Per observar els detalls de la xarxa es pot ampliar en aquest document en format pdf, doncs la imatge és vectorial.

Identificador	Matèria	Bloc	Contingut	Grau	Prox.	Int.
MII.1.12	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	<p>Confiança en les pròpies capacitats per desenvolupar actituds adequades i afrontar les dificultats pròpies del treball científic</p> <p>Utilització de mitjans tecnològics en el procés d'aprenentatge per:</p> <p>a) Recollir dades de forma ordenada i organitzar-les. b) Elaborar i crear representacions gràfiques de dades numèriques, funcionals o estadístiques. c) Facilitar la comprensió de propietats geomètriques o funcionals i la realització de càlculs de tipus numèric, algebraic o estadístic.</p> <p>d) Dissenyar simulacions i elaborar prediccions sobre situacions matemàtiques diverses.</p> <p>e) Elaborar informes i documents sobre els processos duits a terme i els resultats i conclusions obtinguts.</p> <p>f) Comunicar i compartir, en entorns apropiats, la informació i les idees matemàtiques</p>	35	1.0	0.209
MII.1.13	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	<p>d) Dissenyar simulacions i elaborar prediccions sobre situacions matemàtiques diverses.</p> <p>e) Elaborar informes i documents sobre els processos duits a terme i els resultats i conclusions obtinguts.</p> <p>f) Comunicar i compartir, en entorns apropiats, la informació i les idees matemàtiques</p>	31	0.897	0.135
MII.1.7	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	<p>Llenguatge gràfic, algebraic, altres formes de representació d'arguments</p>	28	0.833	0.071

Taula 2: Els 10 continguts més centrals de l'assignatura de matemàtiques de 2n de batxillerat segons el seu grau.

Identificador	Matèria	Bloc	Contingut	Grau	Prox.	Int.
MII.1.3	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Solucions i/o resultats obtinguts: coherència de les solucions amb la situació, revisió sistemàtica del procés, altres formes de resolució, problemes semblants, generalitzacions i particularitzacions interessants	24	0.761	0.04
MII.1.11	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Pràctica dels processos de matematització i modelització, en contextos de la realitat i en contextos matemàtics	20	0.7	0.019
MII.2.3	Matemàtiques II	Bloc 2. Nombres i àlgebra	Aplicació de les operacions amb matrius i de les seves propietats en la resolució de problemes extrems de contextos reals	19	0.686	0.022
MII.1.2	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Estratègies i procediments posats en pràctica: relació amb altres problemes coneguts, modificació de variables, suposar el problema resolt	19	0.686	0.018
MII.1.9	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Realització d'investigacions matemàtiques a partir de contextos de la realitat o contextos del món de les matemàtiques	19	0.686	0.015
MII.2.7	Matemàtiques II	Bloc 2. Nombres i àlgebra	Representació matricial d'un sistema: discussió i resolució de sistemes d'equacions lineals. Mètode de Gauss. Regla de Cramer. Aplicació a la resolució de problemes	17	0.66	0.016
MII.1.1	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Planificació del procés de resolució de problemes	17	0.66	0.007

Taula 3: Continuació de la taula 2. Els 10 continguts més centrals de l'assignatura de matemàtiques de 2n de batxillerat segons el seu grau.

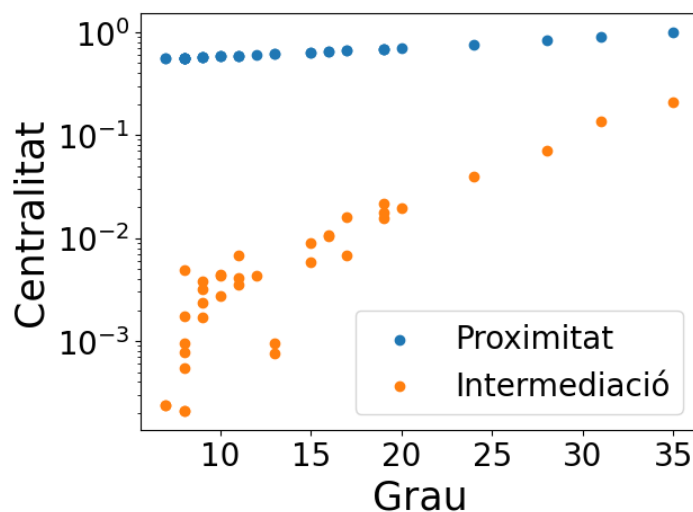


Figura 10: Relació entre les 3 mesures de centralitat per als continguts de matemàtiques de 2n de batxillerat. A l'eix x tenim el grau de cada contingut i a l'eix y el valor de la centralitat per a cada contingut. En blau podem veure la centralitat de proximitat i en taronja la de intermediació.

### 3.2.3 Cap a un ensenyament integrat de ciències: matemàtiques i física de 2n de batxillerat.

La xarxa completa de continguts de física i matemàtiques de 2n de batxillerat consta de 90 continguts, entre els quals hem trobat 1016 connexions de les 4005 possibles. Això es tradueix en un grau mitjà de 22.58, és a dir, que cada contingut està connectat amb altres 22 continguts. La xarxa té una densitat de 0.25. Les connexions són de tal manera que donen lloc a que la xarxa tingui una sola component connectada. Veiem que el número de connexions mitjà augmenta respecte a les dues xarxes per separat, doncs tenim moltes connexions entre continguts de les dues assignatures. De nou veiem una estructura complexa i no lineal. El diàmetre de la xarxa té una longitud de 2 i la longitud mitjana entre dos parells de continguts és de 1.75. De nou tenim el fenomen induït per continguts metodològics molt centrals dels primers blocs que fan que tots els continguts es puguin connectar entre sí, com a màxim utilitzant només un 3r contingut com a pont. Veiem que hi ha una quantitat significativa d'enllaços entre les dues assignatures (enllaços vermell a la figura 11).

És bastant significatiu que el 5è bloc de matemàtiques, “Estadística i probabilitat”, té més connexions amb continguts de física que de matemàtiques. Més concretament està relacionat amb física quàntica i la seva interpretació probabilística.

### 3.2.3.1 Mesures de centralitat

Com hem vist amb les xarxes de continguts de les assignatures per separat, les tres mesures de centralitat que hem mesurat estan molt correlacionades també per la xarxa global de les dues assignatures (veure figura 12). A les taules 4 i 5 podem consultar els 10 continguts més centrals de la xarxa completa, ordenats segons el seu grau. Observem que aquesta llista està dominada per continguts transversals del 1r bloc de les dues assignatures. També observem que els dos continguts sobre ones electromagnètiques de l'assignatura de física continúen sent dels més centrals. En 10è lloc trobem un contingut que no havíem vist abans. Es tracta del contingut “Vectores en l'espai tridimensional. Producte escalar, vectorial i mixt. Significat geomètric” del bloc 4 de l'assignatura de matemàtiques, “Geometria”.

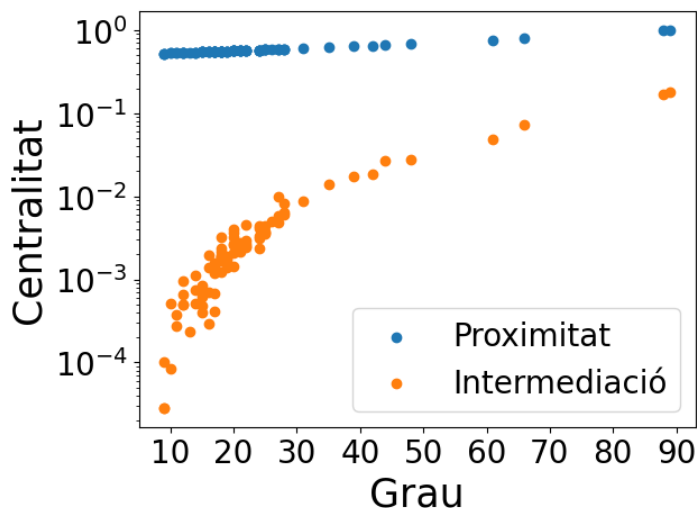


Figura 12: Relació entre les 3 mesures de centralitat per a la xarxa de continguts de física i matemàtiques de 2n de batxillerat. A l'eix x tenim el grau de cada contingut i a l'eix y el valor de la centralitat per a cada contingut. En blau podem veure la centralitat de proximitat i en taronja la de intermediació.

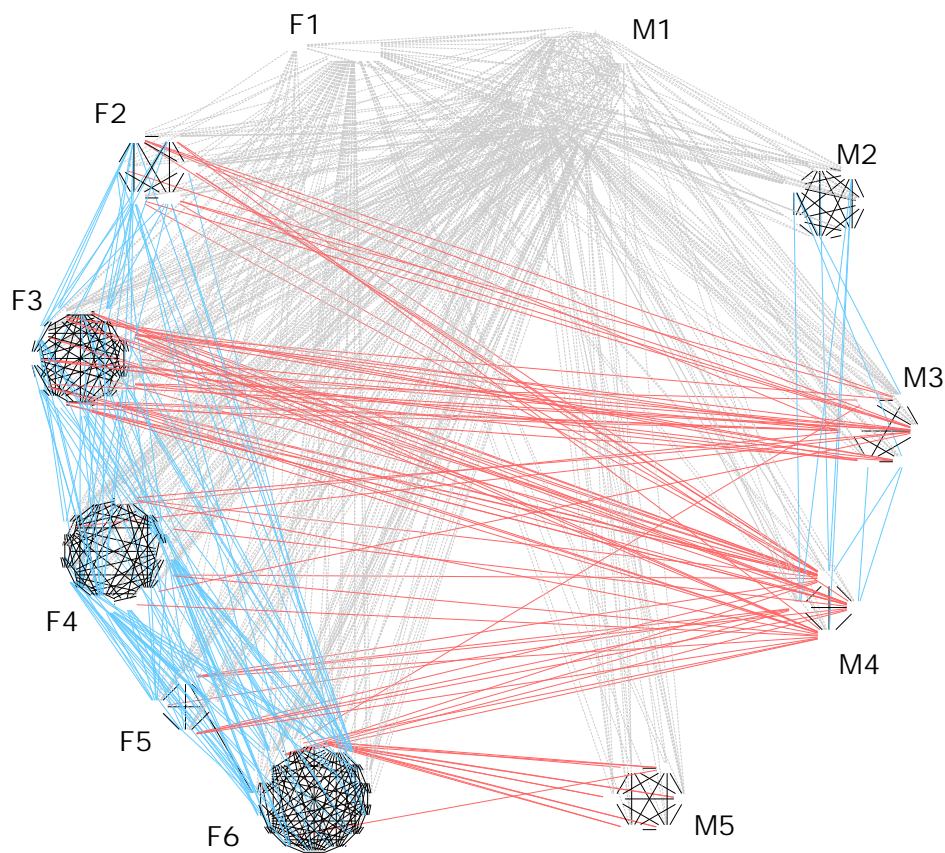


Figura 11: Xarxa de continguts de matemàtiques i física de 2n de batxillerat. A l'esquerra de la figura trobem els continguts de física, mentre que a la dreta els de matemàtiques. Els continguts estan agrupats per blocs. Cada bloc està identificat amb la lletra F o M segons si són de física o de matemàtiques i el seu corresponent número. Els enllaços amb el bloc 1 de cada assignatura s'han fet en gris i amb línia puntejada per ajudar a la visualització de la resta de la xarxa. La resta d'enllaços estan formats per línies sòlides i són de color negre quan connecten continguts del mateix bloc, de color blau quan connecten continguts de diferents blocs de la mateixa assignatura i vermells quan connecten continguts d'assignatures diferents. L'altura del símbol de cada contingut és proporcional al seu grau, mentre que l'amplada a la seva centralitat d'intermediació. El color dels nodes representa el mòdul en que cauen segons l'anàlisi de comunitats. Per observar els detalls de la xarxa es pot ampliar en aquest document en format pdf, doncs la imatge és vectorial.

Identificador	Matèria	Bloc	Contingut	Grau	Prox.	Int.
F.1.1	Física	Bloc 1. L'activitat científica	Estratègies pròpies de l'activitat científica	89	1.0	0.179
MII.1.12	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Confiança en les pròpies capacitats per desenvolupar actituds adequades i afrontar les dificultats pròpies del treball científic	88	0.989	0.17
MII.1.13	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Utilització de mitjans tecnològics en el procés d'aprenentatge per: a) Recollir dades de forma ordenada i organitzar-les. b) Elaborar i crear representacions gràfiques de dades numèriques, funcionals o estadístiques. c) Facilitar la comprensió de propietats geomètriques o funcionals i la realització de càlculs de tipus numèric, algebraic o estadístic. d) Dissenyar simulacions i elaborar prediccions sobre situacions matemàtiques diverses. e) Elaborar informes i documents sobre els processos duits a terme i els resultats i conclusions obtinguts. f) Comunicar i compartir, en entorns apropiats, la informació i les idees matemàtiques	66	0.795	0.073
MII.1.7	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Llenguatge gràfic, algebraic, altres formes de representació d'arguments	61	0.761	0.049

Taula 4: Els 10 continguts més centrals de la xarxa de física i matemàtiques de 2n de batxillerat segons el seu grau.



Identificador	Matèria	Bloc	Contingut	Grau	Prox.	Int.
MII.1.3	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Solucions i/o resultats obtinguts: coherència de les solucions amb la situació, revisió sistemàtica del procés, altres formes de resolució, problemes semblants, generalitzacions i particularitzacions interessants	48	0.685	0.028
MII.1.6	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Raonament deductiu i inductiu	44	0.664	0.027
MII.1.11	Matemàtiques II	Bloc 1. Processos, mètodes i actituds en matemàtiques	Pràctica dels processos de matematització i modelització, en contextos de la realitat i en contextos matemàtics	42	0.654	0.019
F.4.10	Física	Bloc 4. Ones	Ones electromagnètiques	39	0.64	0.017
F.4.11	Física	Bloc 4. Ones	Naturalesa i propietats de les ones electromagnètiques	35	0.622	0.014
MII.4.1	Matemàtiques II	Bloc 4. Geometria	Vectors en l'espai tridimensional. Producte escalar, vectorial i mixt. Significat geomètric	31	0.605	0.009

Taula 5: Continuació de la taula 4. Els 10 continguts més centrals de la xarxa de física i matemàtiques de 2n de batxillerat segons el seu grau.

### 3.2.3.2 Estructura de comunitats

Hem extret l'estructura de comunitats que dóna l'algoritme Infomap, excluint els continguts dels blocs 1rs de cada assignatura, doncs entenem que són continguts transversals que es tractaran a tots els altres continguts. L'algoritme troba 5 mòduls. Aquests respecten en gran mesura l'estructura de blocs dels continguts del currículum, agrupant alguns d'ells. El bloc 2 de matemàtiques, "Nombres i àlgebra", queda com un mòdul ell sol. Els blocs 2 i 3 de física ("Interacció gravitatòria" i "Interacció electromagnètica") juntament amb els blocs 3 i 4 de matemàtiques ("Anàlisi" i "Geometria") formen un altre mòdul, excloent el contingut "Equacions de la recta i el pla en l'espai" del bloc 4 de matemàtiques. Aquest contingut forma un altre mòdul juntament amb els continguts del bloc 5 de física, "Òptica geomètrica" i el contingut "Dispersió. El color" del bloc 4 de física, "Ones". La resta de continguts del bloc 4 de física, "Ones", forma un mòdul amb els continguts del bloc 6, "Física del segle XX", excepte per el contingut "Interpretació probabilística de la física quàntica". Aquest contingut forma un altre mòdul amb els continguts del bloc 5 de matemàtiques, "Estadística i probabilitat".

## 4 Conclusions

En aquesta secció discutirem els resultats trobats a la secció 3.2, estructurant-la segons els quatre objectius d'aquest treball: (1) obtenció de les xarxes, (2) aplicació de mesures de centralitat per a trobar continguts importants, (3) aplicació de l'estructura de comunitats de la xarxa per a proposar agrupacions de continguts coherents i (4) aplicació d'aquestes eines per a la xarxa conjunta de física i matemàtiques per a proposar un ensenyament integrat de ciències. Finalment donarem una conclusió general.

### 4.1 Obtenció de les xarxes

L'obtenció de les xarxes de relacions entre continguts és el punt més crític d'aquest treball, doncs és en el que es fonamenta la resta de l'estudi. El procés, manual però assistit amb eines informàtiques, ha estat una mica tediós i bastant repetitiu. Hem hagut de comprovar 4005 relacions una per una. Un inconvenient ha estat que en aquest procés es produeixen inevitablement errors, tant d'enllaçar continguts que no deurien estar-ho, com de no enllaçar alguns que sí que ho haurien d'estar. Més d'una vegada em va passar que no veia relació entre dos continguts entre els que després sí que en veia. Una limitació en la generació de les xarxes ha estat el meu bagatge personal molt més centrat en la física. Crec que per aquest motiu he estat capaç de veure molts més punts de relació entre continguts de l'assignatura de física que de la de matemàtiques. Tot i això hem generat unes xarxes que, un cop analitzades i tenint en compte tant l'estructura de blocs del currículum com els continguts particulars, donen lloc a resultats interessants i coherents, tal com discutirem més endavant.

Per tal d'intentar evitar biaixos personals en la generació de les xarxes es podrien

utilitzar eines estadístiques de processament del llenguatge natural per comparar i crear associacions entre texts [46]. Així doncs es podrien utilitzar, per exemple, les pàgines de la Viquipèdia de cada contingut del currículum i, mitjançant aquestes eines, trobar una xarxa més *imparcial*. Una alternativa seria utilitzar el text de llibres de text sobre la matèria en qüestió. Sayama [34] va evitar aquest problema prenent l'estructura lineal de 30 cursos online i les va fondre en una sola xarxa que reflectia relacions més complexes entre els continguts. Aquesta opció es pot considerar si es téen diferents programacions independents dels continguts en que docents diferents han pensat la seva seqüenciació.

Una altra ampliació d'aquest treball quant a obtenció de xarxes podria ser emprar una eina semblant al programa amb que hem recollit dades i fer jugar a diferents persones. D'aquesta manera, amb una actitud de ciència ciutadana [47], potser es podria comprendre millor quin és el mapa mental que téen diferents tipus de persones (alumnes, professors, etc) sobre continguts científics i les seves interrelacions.

## **4.2 Aplicació de mesures de centralitat**

Hem emprat tres mesures de centralitat basades en propietats diferents dels nodes de la xarxa, però totes ens han donat un resultat molt semblants en termes d'ordenar els continguts de més centrals a menys. Això vol dir que la xarxa no conté cap estructura topològica que hàgim de tenir en compte per a ordenar els continguts segons diferents criteris de centralitat.

Els 10 continguts més centrals trobats a les xarxes que hem estudiat han estat dominats per continguts dels blocs primers de les dues assignatures. Aquests blocs estan formats per continguts amb un caire molt més transversal que a la resta de blocs, com ara "Estratègies pròpies de l'activitat científica" o "Confiança en les pròpies capacitats per desenvolupar actituds adequades i afrontar les dificul-

tats pròpies del treball científic”. Sembla natural que aquests tipus de continguts estiguin relacionat amb molt d’altres, doncs ténen a veure amb actituds i habilitats genèriques en ciència. Aquest és el primer grup de continguts que trobem amb mesures de centralitat: els més transversals.

També trobem un altre tipus de continguts entre els més centrals. Aquests són continguts que uneixen conceptes més diversos. A la xarxa de física aïllada de la resta trobem 3 continguts del bloc 4, “Ones”, dins els 10 més centrals que tracten temes d’ones electromagnètiques. Aquests continguts es relacionen de forma natural amb altres continguts del seu bloc però també ho fan de manera natural amb continguts del bloc 3, “Interacció electromagnètica”, degut a la natura d’aquestes ones; i amb continguts d’òptica del bloc 5, “Òptica geomètrica” degut a que la llum no és més que ones electromagnètiques; i finalment també ho fa amb continguts del bloc 6, “Física del segle XX”, doncs molts d’aquests continguts parlen de fenòmens relacionats amb ones electromagnètiques, com ara radiació, efecte fotoelèctric o efecte Doppler relativista. Sembla difícil trobar un altre contingut que es pugui relacionar amb tants d’altres. En aquesta mateixa assignatura també trobem el contingut “Insuficiència de la física clàssica”, per al qual també podem trobar moltes relacions, doncs la física va patir per moltes bandes a principis del s.XX. A l’assignatura de matemàtiques aïllada sembla ser que aquest segon tipus de continguts amb connexions diversificades són les operacions amb matrius (continguts “Aplicació de les operacions amb matrius i de les seves propietats en la resolució de problemes extrets de contextos reals” i “Representació matricial d’un sistema: discussió i resolució de sistemes d’equacions lineals. Mètode de Gauss. Regla de Cramer. Aplicació a la resolució de problemes” del bloc 2, “Nombres i àlgebra”).

Quant a la xarxa completa de física i matemàtiques, aquests continguts amb diversificació de connexions tornen a ser dos d’ones electromagnètiques, segurament

degut a que la xarxa de física domina sobre la de matemàtiques quant a connexions i nombre de nodes. Però també trobem un contingut del bloc 4 de matemàtiques, “Geometria”, que no apareixia com a central a la xarxa de matemàtiques aïllada: “Vectors en l’espai tridimensional. Producte escalar, vectorial i mixt. Significat geomètric”. Aquest contingut és central quan afegim els continguts de física a la xarxa, doncs és crucial per a molts continguts dels blocs 2 i 3 de física, “Interacció gravitatòria” i “Interacció electromagnètica”, i en certa mesura per a la comprensió de les ones i la òptica geomètrica.

Així doncs les mesures de centralitat són útils a l’hora de trobar dos tipus de continguts, els que són transversals i els que, per la seva posició dins els fenòmens científics o naturals, es poden relacionar amb molts altres fenòmens. Aquests últims poden ser clau en el procés d’ensenyament-aprenentatge a l’hora de reforçar diferents temes a la vegada i donar una visió més holística de la ciència. Deurien ser doncs tractats amb cura i especial dedicació.

### **4.3 Aplicació de l’estructura de comunitats**

En general l’estructura de comunitats que hem trobat a totes les xarxes respecta l’organització en blocs de continguts.

A física els mòduls de l’estructura de comunitats uneixen els blocs 2 i 3, “Interacció gravitatòria” i “Interacció electromagnètica”. Sembla natural que aquests dos blocs s’agrupin, doncs moltes de les eines que empren per a la descripció de la natura són les mateixes (camps, forces, potencials, etc). Per altra banda agrupa els blocs 4 i 5, “Ones” i “Òptica geomètrica”, i el contingut “Aplicacions de la física quàntica. El làser”. L’òptica geomètrica és un estudi de propietats de la llum, que es una ona electromagnètica. A més el làser és llum i perfecte per a provar experiments d’òptica geomètrica. Així doncs aquest mòdul també té sentit. Finalment queden la

resta de continguts del bloc 6 , “Física del segle XX”, en un altre mòdul.

A l'assignatura de matemàtiques hem trobat exactament la mateixa estructura de mòduls segons l'estructura de comunitats de la xarxa, que segons els blocs de l'assignatura. Aquest resultat, de nou, pot estar relacionat amb el meu bagatge personal, però hem de recordar que durant la recollida de dades no sabia a quin bloc pertanyia cada contingut que estava relacionant.

Un dels inconvenients dels mòduls de continguts que trobem és que alguns són massa grans com per formar una única unitat didàctica. Podríem refinar aquestes agrupacions emprant algoritmes diferents de cerca d'estructura de comunitats. En particular es podria emprar un algoritme que doni particions jeràrquiques que ens informin sobre com podem separar els continguts en grups més petits dins de cada mòdul [48, 49].

#### **4.4 Cap a un ensenyament integrat de les ciències**

Hem construït la xarxa conjunta dels continguts de física i matemàtiques de 2n de batxillerat per provar les possibilitats informatives de l'anàlisi de xarxes per a proposar un ensenyament de les ciències integrades. Hem trobat tres resultats significatius.

El primer resultat és que els blocs 2 i 3 de física, “Interacció gravitatòria” i “Interacció electromagnètica”, s'integren bé amb els blocs 3 i 4 de matemàtiques, “Anàlisi” i “Geometria”. Sembla natural, doncs moltes de les eines matemàtiques necessàries per als blocs de física s'expliquen en els blocs de matemàtiques. Fondre aquests blocs en unitats didàctiques mixtes donaria l'alumnat una visió molt més pràctica de les matemàtiques i segurament també una millor comprensió de la física.

El segon resultat interessant és que la importància dels continguts, mesurada amb una centralitat sobre la xarxa, pot canviar segons si considerem la xarxa aïllada

d'una assignatura o la xarxa més completa amb altres assignatures. Quan hem estudiat la xarxa conjunta de física i matemàtiques hem trobat que el contingut “Vectors en l'espai tridimensional. Producte escalar, vectorial i mixt. Significat geomètric” del bloc 4 de matemàtiques, “Geometria”, ha passat a estar entre els 10 més centrals. Això es deu a què en afegir els continguts de física es revela la real importància d'aquest contingut, sobretot per als blocs 2 i 3 de física, “Interacció gravitatòria” i “Interacció electromagnètica”. Aquest resultat apunta a què, sense una bona comunicació i col·laboració entre professorat de les dues assignatures, un pot no ser conscient de la vertadera importància d'un contingut.

Per últim, el tercer resultat interessant és la integració del bloc 5 de matemàtiques, “Estadística i probabilitat” amb altres continguts a través de la física quàntica. Aquest bloc queda separat de la resta de blocs de matemàtiques<sup>5</sup> quan es considera l'assignatura aïllada. Amb aquest resultat veiem que certs continguts poden trobar més context si considerem les assignatures conjuntament. Aquest context ajuda a que l'alumnat tingui una visió més completa i connectada de la ciència.

En el futur, afegir el contingut de totes les assignatures de l'àrea de ciències de tot el batxillerat seria l'objectiu a assolir. Això ens permetria fer una vertadera proposta completa d'ensenyament integrat de les ciències. Encara més, hom podria afegir la resta d'assignatures per veure punts d'enllaç entre diferents àmbits també.

## **4.5 Conclusió general**

Hem assolit els 4 objectius que ens havíem plantejat amb aquest treball. Tot i que aquest treball té les seves limitacions, sobretot a la recollida de dades, hem demostrat que les eines de xarxes poden donar informació molt útil per a la pràctica de la

---

<sup>5</sup>Excepte pel bloc 1, però no el tenim en compte, doncs està format per continguts transversals difícils de no relacionar amb qualsevol altre contingut.



docència. Hem mostrat cómo podem trobar els continguts més importants (centrals), també quines agrupacions de continguts ténen més sentit segons les relacions entre ells, i que generar xarxes conjuntes de dues assignatures diferents ens pot ajudar a comprendre millor quins continguts són més importants globalment i com combinar-los amb continguts d'altres assignatures.

Per últim també assenyalar que el plantejat en aquest treball es podria transposar al dia a dia de l'activitat docent. L'exercici que hem fet de trobar les connexions entre continguts d'una o més matèries podria fer-se tant dins els departaments, com entre departaments, de manera que es promogui la col·laboració interdepartamental. Els resultats de les xarxes de continguts creades pel professorat els pot ajudar a seqüenciar de forma conjunta les assignatures i a posar cura de treballar els continguts més centrals d'una manera més exhaustiva. A més aquesta forma de veure l'estructura dels continguts, més enllà de la pròpia assignatura, ens ajuda a descobrir continguts que poden no ser tan centrals en les assignatures per separat.

## Referències

- [1] H. J. Arzi, R. Ben-Zvi i U. Ganiel, "Forgetting versus savings: The many facets of long-term retention," *Science Education*, vol. 70, núm. 2, pàg. 171 - 188, 1986. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sce.3730700211>. adr.: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.3730700211>.
- [2] V. Lamanuskas, "Integrated science education in the context of the constructivism theory: Some important issues," *Probl Educ 21st Century.*, vol. 25, pàg. 5 - 9, gen. de 2010.
- [3] R. G. Hacker i M. J. Rowe, "A study of teaching and learning processes in integrated science classrooms," *European Journal of Science Education*, vol. 7, núm. 2, pàg. 173 - 180, 1985. eprint: <https://doi.org/10.1080/0140528850070208>. adr.: <https://doi.org/10.1080/0140528850070208>.
- [4] P. Harrell, "Teaching an Integrated Science Curriculum: Linking Teacher Knowledge and Teaching Assignments.," *Issues in Teacher Education*, vol. 19, pàg. 145 - 165, 2010.
- [5] J. Parker, V. Osei-Himah, I. Asare i J. Ackah, "Challenges Faced by Teachers in Teaching Integrated Science in Junior High Schools in Aowin Municipality-Ghana," *Journal of Education and Practice*, vol. 9, pàg. 65 - 68, 2018.
- [6] M. Lang i J. Olson, "Integrated science teaching as a challenge for teachers to develop new conceptual structures," *Research in Science Education*, vol. 30, núm. 2, pàg. 213 - 224, 2000.
- [7] *Integrated Science - Teacher Education - Miami University*, <https://www.miamioh.edu/ehs/academics/departments/edt/academics/majors/adolescent-young-adult/science/index.html>, (Accedit el 01/07/2021).
- [8] *Integrated Science for Teachers — Ohio Wesleyan University*, <https://www.owu.edu/academics/departments-programs/department-of-education/>

education - majors / integrated - science - for - teachers/, (Accessed on 01/07/2021).

- [9] *Currículums educació CAIB-Batxillerat*, <https://intranet.caib.es/sites/curriculums/ca/batxillerat/>, (Accedit el 30/06/2021).
- [10] *Estadísticas de Educación. EDUCAbase*, <http://estadisticas.mecd.gob.es/EducaDynPx/educabase/index.htm?type=pcaxis&path=/Universitaria/PAU/PAU20/&file=pcaxis>, (Accedit el 13/07/2021).
- [11] S. Flores García, J. Chávez Pierce, J. Luna-González, M. González-Quezada i M. González Demoss, "El aprendizaje de l física y las matemáticas en el contexto," *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, núm. 24, pàg. 19 - 24, 2008.
- [12] *Network Literacy: Essential Concepts and Core Ideas - NetSciEd*, <https://sites.google.com/a/binghamton.edu/netscied/teaching-learning/network-concepts>, (Accedit on 01/07/2021).
- [13] M. E. J. Newman, *Networks: an introduction*. Oxford; New York: Oxford University Press, 2010, ISBN: 9780199206650 0199206651. adr.: [http://www.amazon.com/Networks-An-Introduction-Mark-Newman/dp/0199206651/ref=sr\\_1\\_5?ie=UTF8&qid=1352896678&sr=8-5&keywords=complex+networks](http://www.amazon.com/Networks-An-Introduction-Mark-Newman/dp/0199206651/ref=sr_1_5?ie=UTF8&qid=1352896678&sr=8-5&keywords=complex+networks).
- [14] *Problema de los puentes de Königsberg - Wikipedia, la enciclopedia libre*, [https://es.wikipedia.org/wiki/Problema\\_de\\_los\\_puentes\\_de\\_Konigsberg](https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_los_puentes_de_Konigsberg), (Accedit el 30/06/2021).
- [15] P. Erdős i A Rényi, "On Random Graphs I," *Publ. Math. Debrecen*, vol. 6, pàg. 290 - 297, 1959.
- [16] D. J. Watts i S. H. Strogatz, "Collective dynamics of 'small-world' networks," *Nature*, vol. 393, núm. 6684, pàg. 440 - 442, juny de 1998.
- [17] A.-L. Barabási i R. Albert, "Emergence of Scaling in Random Networks," *Science*, vol. 286, núm. 5439, pàg. 509 - 512, oct. de 1999. arXiv: cond-mat/9910332 [cond-mat.dis-nn].
- [18] M. Kivelä, A. Arenas, M. Barthelemy, J. P. Gleeson, Y. Moreno i M. A. Porter, "Multilayer networks," *Journal of Complex Networks*, vol. 2, núm. 3, pàg. 203 - 271, jul. de 2014. eprint: <https://academic.oup.com/net/article-pdf/2/3/203/9130906/cnu016.pdf>. adr.: <https://doi.org/10.1093/comnet/cnu016>.

- [19] *Higher-order interaction networks*, <https://www.nature.com/collections/bbahggjjga/>, (Accedit el 01/07/2021).
- [20] A. Garas, ed., *Interconnected Networks, Understanding Complex Systems*. Springer International Publishing, 2016, pàg. 229, ISBN: 978-3-319-23947-7.
- [21] S. L. LaDeau, B. A. Han, E. J. Rosi-Marshall i K. C. Weathers, "The Next Decade of Big Data in Ecosystem Science," *Ecosystems*, vol. 20, núm. 2, pàg. 274 - 283, 2017.
- [22] J. Gómez-Gardeñes, "Network Epidemiology in the time of COVID-19," *Indian Academy of Sciences Conference Series*, vol. 3, núm. 1, pàg. 10 - 11, 2020. adr.: <https://10.0.114.11/iascs.03.01.0021>.
- [23] J.-P. Onnela, J. Saramäki, J. Hyvönen, G. Szabó, D. Lazer, K. Kaski, J. Kertész i A.-L. Barabási, "Structure and tie strengths in mobile communication networks," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, núm. 18, pàg. 7332 - 7336, 2007. eprint: <https://www.pnas.org/content/104/18/7332.full.pdf>. adr.: <https://www.pnas.org/content/104/18/7332>.
- [24] G. Orwell, *1984*, Centennial. Tandem Library, 1950, ISBN: 0881030368. adr.: <http://www.amazon.de/1984-Signet-Classics-George-Orwell/dp/0881030368>.
- [25] M. P. van den Heuvel i O. Sporns, "Rich-Club Organization of the Human Connectome," *Journal of Neuroscience*, vol. 31, núm. 44, pàg. 15775 - 15786, 2011. eprint: <https://www.jneurosci.org/content/31/44/15775.full.pdf>. adr.: <https://www.jneurosci.org/content/31/44/15775>.
- [26] T. Chomutare, A. Xu i M. S. Iyengar, "Social network analysis to delineate interaction patterns that predict weight loss performance," *Proceedings - IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*, núm. May, pàg. 271 - 276, 2014.
- [27] B. S. Khan i M. A. Niazi, "Network Community Detection: A Review and Visual Survey," 2017. arXiv: 1708.00977. adr.: <http://arxiv.org/abs/1708.00977>.
- [28] M. A. Javed, M. S. Younis, S. Latif, J. Qadir i A. Baig, "Community detection in networks: A multidisciplinary review," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 108, pàg. 87 - 111, 2018. adr.: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.02.011>.

- [29] S. Fortunato i D. Hric, *Community detection in networks: A user guide*, 2016. arXiv: 1608.00163.
- [30] M. Rosvall, D. Axelsson i C. T. Bergstrom, "The map equation," *European Physical Journal: Special Topics*, vol. 178, núm. 1, pàg. 13 - 23, 2009. arXiv: 0906.1405.
- [31] *infomap module — Infomap 1.5.1 documentation*, <https://mapequation.github.io/infomap/python/infomap.html>, (Accedit el 29/06/2021).
- [32] *mapequation.org - applications*, <https://www.mapequation.org/apps.html>, (Accedit el 01/07/2021).
- [33] I. T. Koponen i T. Mäntylä, "Editorial: Networks Applied in Science Education Research," *Education Sciences*, vol. 10, núm. 5, 2020. adr.: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/5/142>.
- [34] H. Sayama, "Mapping the Curricular Structure and Contents of Network Science Courses," *Network Science In Education*, núm. July, pàg. 101 - 116, 2018. arXiv: 1707.09570.
- [35] C. M. Thurn, B. Hänger i T. Kokkonen, "Concept Mapping in Magnetism and Electrostatics: Core Concepts and Development over Time," *Education Sciences*, vol. 10, núm. 5, 2020. adr.: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/5/129>.
- [36] M. Schwab, H. Strobelt, J. Tompkin, C. Fredericks, C. Huff, D. Higgins, A. Strezhnev, M. Komisarchik, G. King i H. Pfister, "booc.io: An Education System with Hierarchical Concept Maps and Dynamic Non-linear Learning Plans," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 23, núm. 1, pàg. 571 - 580, 2017.
- [37] *Education Sciences — Special Issue : Networks Applied in Science Education Research*, [https://www.mdpi.com/journal/education/special\\_issues/Networks\\_Applied](https://www.mdpi.com/journal/education/special_issues/Networks_Applied), (Accedit el 01/07/2021).
- [38] C. S. Q. Siew, "Applications of Network Science to Education Research: Quantifying Knowledge and the Development of Expertise through Network Analysis," *Education Sciences*, vol. 10, núm. 4, 2020. adr.: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/4/101>.
- [39] S. Podschuweit i S. Bernholt, "Investigating Network Coherence to Assess Students' Conceptual Understanding of Energy," *Education Sciences*, vol. 10, núm. 4, 2020. adr.: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/4/103>.

- [40] M. Kubsch, I. Touitou, J. Nordine, D. Fortus, K. Neumann i J. Krajcik, "Transferring Knowledge in a Knowledge-in-Use Task—Investigating the Role of Knowledge Organization," *Education Sciences*, vol. 10, núm. 1, 2020. adr.: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/1/20>.
- [41] *NetSciEd 2021*, <https://sites.google.com/view/netsci-ed-2021/home>, (Accedit el 30/06/2021).
- [42] *NetSci – The Network Science Society*, <https://netscisociety.net/home>, (Accedit el 30/06/2021).
- [43] L. S. Catherine B. Cramer, Mason A. Porter, Hiroki Sayama, *Network Science In Education: Transformational Approaches in Teaching and Learning*. 2018, pàg. 205, ISBN: 978-3319772363.
- [44] *juanfernandezgracia/TFM\_MFPR\_Xarxes\_continguts: Repositori amb el codi i les dades usades i generades en el TFM de Juan Fernández Gracia sobre xarxes de continguts curriculars de l'àrea de ciències*. [https://github.com/juanfernandezgracia/TFM\\_MFPR\\_Xarxes\\_continguts](https://github.com/juanfernandezgracia/TFM_MFPR_Xarxes_continguts), (Accedit el 30/06/2021).
- [45] *Cytoscape: An Open Source Platform for Complex Network Analysis and Visualization*, <https://cytoscape.org/>, (Accedit el 30/06/2021).
- [46] *Natural language processing - Wikipedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Natural\\_language\\_processing](https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_language_processing), (Accedit el 30/06/2021).
- [47] *EU-Citizen.Science*, <https://eu-citizen.science/>, (Accedit el 30/06/2021).
- [48] M. T. Schaub i L. Peel, "Hierarchical community structure in networks," pàg. 1-22, 2020. arXiv: 2009.07196. adr.: <http://arxiv.org/abs/2009.07196>.
- [49] A. Lancichinetti, F. Radicchi, J. J. Ramasco i S. Fortunato, "Finding statistically significant communities in networks," *PLoS ONE*, vol. 6, núm. 4, 2011. arXiv: 1012.2363.