



Universitat Autònoma de Barcelona

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Tesi doctoral

LA COMPETÈNCIA D'INDAGACIÓ I LA SEVA AVALUACIÓ EN ELS ESTUDIANTS DE BATXILLERAT

Autora

Concepció Ferrés Gurt

Directora

Anna Marbà Tallada

**Departament de Didàctica de la Matemàtica i
de les Ciències Experimentals
Universitat Autònoma de Barcelona**

Bellaterra, setembre 2017

UAB



DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES

Doctorat en EDUCACIÓ

Títol de la Tesi:

**LA COMPETÈNCIA D'INDAGACIÓ
I LA SEVA AVALUACIÓ EN ELS ESTUDIANTS DE BATXILLERAT**

Nom i signatura de la Doctoranda

Sra. Concepció Ferrés Gurt

Nom i signatura de la Directora

Dra. Anna Marbà Tallada

BELLATERRA, setembre del 2017

Dra **Anna Marbà Tallada**, professora del Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals, amb seu a la Facultat de Ciències de l'Educació de la Universitat Autònoma de Barcelona

FAIG CONSTAR QUE

La investigació realitzada sota la direcció de la signant per la Llicenciada **Concepció Ferrés Gurt**, amb el títol **LA COMPETÈNCIA D'INDAGACIÓ I LA SEVA AVALUACIÓ EN ELS ESTUDIANTS DE BATXILLERAT**, reuneix tots els requeriments científics, metodològics i formals exigits per la legislació vigent per a la seva Lectura i Defensa pública davant la corresponent Comissió, per a l'obtenció del Grau de Doctor en Educació per la Universitat Autònoma de Barcelona, per tant considero procedent autoritzar la seva presentació.

Bellaterra, setembre de 2017

Signat:

A en Lluís i en Ferran

Presentació

Aquest document recull el treball de tesi doctoral de Concepció Ferrés Gurt, matriculada al programa de doctorat de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències (Reial Decret de Doctorat 99/2011) de la Universitat Autònoma de Barcelona i membre del grup de recerca LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències).

La tesi que es presenta va ser inscrita a l'Escola de Doctorat de la Universitat Autònoma de Barcelona el novembre de 2013 i la investigació ha estat realitzada en el marc del Grup LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències) finançat pel Ministerio de Economía y Competitividad (EDU2015-66643-C2-1-P). El Grup LIEC forma part del grup d'investigació consolidat LICEC (2014SGR1492)

Durant el temps d'elaboració de la recerca d'aquesta tesi, s'ha assistit a tres congressos, dos a nivell nacional (APICE, Congreso Enseñanza de las Ciencias) i el tercer a nivell internacional (ESERA), i s'hi han presentat les següents comunicacions:

- > Ferrés, C., Marbà, A. i Sanmartí, N. Evaluación de la competencia de indagación científica de los bachilleres. *26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. APICE 2014, Huelva
- > Ferrés C., Marbà A. i Sanmartí, N. Student's scientific inquiry ability: rubric validity and reliability to evaluate it. *International Conference ESERA 2015*, Helsinki
- > Ferrés, C. i Marbà, A. Evaluación de habilidades de indagación. *Congreso Enseñanza de las Ciencias*. Sevilla 2017

També s'han elaborat les següents publicacions, derivades dels resultats de la recerca que es presenten en aquest document:

- > Ferrés, C., Marbà, A. i Sanmartí, N. (2015). ¿Cómo evaluar los trabajos de indagación del alumnado? *Alambique*, 80, 1001-1011. ISSN 1133-9837

L'article descriu el procés inicial de desenvolupament d'una rúbrica jerarquizada, inspirada en el PTAI proposat per Tamir, Nussinovitz i Friedler (1982), per avaluar els treballs de recerca dels batxillers catalans, que són treballs d'indagació oberta i autònoma. La rúbrica rep el nom de Nou-PTAI o NPTAI.

- > Ferrés, C., Marbà, A. i Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias, 12(1), 22-37. ISSN-e 1697-011X

Una primera versió d'aquest article va rebre el primer premi a investigadors novells d'APICE 2014. Descriu el disseny de l'instrument d'avaluació dels treballs d'indagació oberta i autònoma que s'ha anomenat NPTAI i la seva aplicació a l'avaluació de memòries de treballs de recerca d'un grup de 23 batxillers, per examinar les seves capacitats i dificultats i per descriure el seu nivell de competència d'indagació. Parteix de la idea que l'avaluació d'aquests treballs s'ha d'abordar posant el focus en les habilitats pròpies de la indagació.

- > Ferrés, C. i Marbà, A. (2017) Problems students experience with inquiry processes in the study of enzyme kinetics Journal of Biological Education. Publicació on line març 2017. <http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2017.1285801>

L'article descriu l'experiència d'utilització d'un qüestionari, proposat a partir de la descripció d'una investigació, per identificar les capacitats i dificultats dels batxillers en la competència d'indagació en activitats d'aula i codificant les respostes dels estudiants amb una variant de l'eina NPTAI adaptada per al cas. Es suggereix l'interès de la utilització de qüestionaris similars com a eina d'avaluació formativa per promocionar la competència d'indagació. Parteix de la idea que l'avaluació ha de contemplar alhora la comprensió dels estudiants en relació als processos i als continguts de la ciència (Osborne i Dillon, 2008). Té en compte la combinació d'estratègies metodològiques i estratègies cognitives pròpies de la indagació científica (Nowak, Nehring, Tiemann i Upmeyer zu Belzen, 2013), com el disseny d'experiments o l'habilitat de controlar variables pròpia de l'experimentació i la seva utilització, considerant els conceptes teòrics subjacents, la identificació de preguntes científiques i la formulació d'hipòtesis fent referència a models, o l'anàlisi de dades considerant l'experimentació i els fonaments teòrics.

- > Ferrés, C. El reto de plantear preguntas científicas investigables (2017). Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias, 14(2), 410-426. DOI: 10498/19226 <http://hdl.handle.net/10498/19226>

L'article presenta el seguiment fet a diversos estudiants de batxillerat en el procés d'identificar preguntes investigables, tant a l'inici del seu treball de recerca com en activitats d'aula que parteixen de la descripció d'investigacions científiques.

- > Ferrés, C. i Marbà, A. Inquiry Assessment: Conceptual and Procedural Knowledge (manuscrit en revisió i pendent d'acceptació per a la seva publicació)

El manuscrit recull el procés de recerca realitzat en relació als exàmens de biologia de les Proves d'Accés a la Universitat de Catalunya, amb l'objectiu d'analitzar quina consideració atorguen a les habilitats d'indagació, i la relació que s'hi evidencia entre coneixement procedimental i coneixement conceptual. Descriu les característiques de les qüestions en termes de la seva obertura i de les demandes que plantegen, prenent com a referent la descripció de la competència d'indagació de recents documents de l'OECD (2013). També analitza els resultats que obtenen els estudiants, comparant les seves qualificacions en les qüestions centrades en coneixement conceptual i en les qüestions sobre habilitats d'indagació.

Agraïments

A la doctora Neus Sanmartí, perquè sense el seu mestratge ni tan sols hauria imaginat aquesta tesi. Ella em va obrir la porta al món de la innovació i la recerca didàctica quan, a finals dels vuitanta del segle XX, vaig cursar el primer màster que va programar la UAB sobre Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals. Una colla d'anys més tard, la doctora Neus Sanmartí em va dirigir el Treball Final de Màster en el meu procés de complement de formació per al doctorat, quan calia tenir la titulació d'un Màster EEES per iniciar la tesi. Saviesa i paciència infinites com les seves fan les coses més interessants i més fàcils.

Al nois i noies a qui he tingut com a alumnes de batxillerat i, de manera especial, al centenar d'ells a qui vaig assessorar el treball de recerca. Aquests treballs i els seus autors i autores em van donar una mirada diferent de la meva feina com a professora i em van fer replantejar la meva pràctica docent.

Als professors d'institut que m'han facilitat l'obtenció de dades de recerca, especialment a la professora Roser Melià Llopis, de l'Institut la Garrotxa d'Olot, la meva amiga, amb qui sé que sempre puc comptar. Tant ella com la professora Rosa Pons han intervingut en els processos de triangulació durant la codificació dels treballs dels estudiants.

A l'estudiant Hardip Kaur, que em va permetre seguir durant sis mesos els seus raonaments i dubtes en presentar-li exemples d'investigacions, i va estar sempre disposada a intercanviar correus per explicar les seves respostes a les qüestions plantejades. Ara, des de Vancouver, continua interessant-se per mi. Ella m'ha permès entendre millor el que els passa als estudiants quan se'ls demana que entenguin i apliquin les habilitats pròpies dels processos d'investigació que fan els científics, m'ha ajudat a respondre la pregunta de *per què els passa*, i m'ha suggerit camins per mirar com se'ls podria orientar per superar les seves dificultats.

Al Doctor David Bueno i a l'equip de professors responsables dels exàmens de biologia de PAU de Catalunya, que m'han facilitat l'accés als resultats de les proves que ells corregeixen. La seva confecció de preguntes partint del paradigma de la biologia en context i la consideració de la indagació són admirables, i una autèntica raresa en el panorama de les preguntes habituals en

els exàmens de selectivitat de les altres comunitats i nacions de l'estat espanyol, encara que en aquesta recerca de tesi es qüestioni la manera de plantejar l'avaluació de la indagació i es suggereixi modificar-la. Tant la contextualització com la indagació són pràcticament inexistentes en les proves d'accés a la universitat de les altres comunitats.

A Ester Boixadera i Anna Espinal, del Servei d'Estadística Aplicada de la Universitat Autònoma. La seva intervenció en l'anàlisi estadística dels resultats de les PAU m'ha ajudat a mirar les dades sense prejudicis i amb la ment oberta.

A la doctora Digna Couso, que amb els seus comentaris en l'avaluació del Treball Final de Màster, en els tribunals de seguiment del doctorat i en les diverses conferències que li he escoltat, m'ha ajudat a esmenar errors, a clarificar conceptes i a desbrossar el camí en la recerca bibliogràfica, tot i que sé molt bé que encara em queda molt per aprendre.

A la doctora Conxita Márquez, per la revisió de la memòria i pels suggeriments que han ajudat a millorar-la, i per la seva alegria encomanadissa quan te la trobes pels despatxos i en els viatges a congressos.

Al meu germà petit Pere, magnífic traductor dels articles, revisor pacient i bon coneixedor de les eines informàtiques, a qui sovint he demanat ajuda.

A tants amics -en Quim, la Maria Gràcia, la Mita, en Joan, en Toni, la Nuri, l'Elena, en Carles, la Dolors, en Miquel, la Maria Mercè, l'Anna....- i al meu germà Lluís, que han seguit amb interès tant els meus entrebancs com els meus èxits i m'han fet sentir que valia la pena continuar.

A la Maria Mercè i en Miquel, amics entranyables i admirats professors amb qui he compartit anys de feina i il·lusions, convençuts com jo mateixa que tot estava per fer i tot era possible, i que ara han dedicat hores a la revisió ortogràfica i lingüística d'aquesta memòria amb la delicadesa amb la qual fan totes les coses.

Al meu fill Ferran, que sovint m'ha acollit a casa seva a Sant Cugat, prop de la UAB, on he fet incomptables viatges aquests últims anys, i que ha seguit amb curiositat i amb certa incredulitat la realització d'aquesta tesi.

A Lluís Sacrest, el meu estimat marit, company incansable en els meus viatges d'Olot a Bellaterra i en les llargues hores en què la feina sembla que no s'acabarà mai més, sempre disposat a ajudar-me, present en els moments de dubtes i dificultats, i que ha compartit els meus avenços i alegries. La recerca de la tesi ha condicionat la nostra vida els últims anys i ha robat hores a la tranquil·litat familiar. Sense el seu suport no hauria pogut abordar aquest projecte llarg i complex.

A la doctora Anna Marbà Tallada. Ella m'ha acompanyat sempre en aquest camí llarg i difícil, fins i tot quan el naixement de l'Arnau i l'Aniol va fer més feixuga la seva vida familiar, i altres incidents la van fer patir. El seu mestratge ha estat fonamental en tot el procés de recerca de la tesi i també en la fase prèvia, en la redacció del Treball Final de Màster. M'ha animat a seguir endavant quan, més d'una vegada, m'he plantejat abandonar. I ha estat una revisora implacable, incansable i magnífica dels articles sorgits de la recerca. Sense ella aquesta tesi no existiria. Voldria que aquesta tesi fos per a ella una alegria.

La indagació es una activitat polifacètica que implica fer observacions; plantejar preguntes; examinar llibres i altres fonts d'informació per veure què és el que ja es coneix; planificar investigacions; revisar el que ja és conegut a la llum de les proves experimentals; utilitzar instruments per reunir, analitzar i interpretar dades; proposar respostes, explicacions i prediccions; i comunicar els resultats. (National Research Council, 1996)

...worry about and work right from the beginning to develop the assessments to be used during and after the course. They will determine what teachers and students understand you as 'really wanting'. In the end, the forms of assessment that you use will be decisive, and you need to be in control of them. Don't forget to provide a lot of formative assessments for teachers to use while teaching, to tell students and teachers how well they are doing and where they need to improve. There's lots of evidence that good formative assessment really helps learning. (Black, Harrison, Lee, Marshall i William, 2003)

In the future, science assessments will not assess students' understandings of core ideas separately from their abilities to use the practices of science. These two dimensions of learning will be assessed together showing students not only "know" science concepts, but also that students can use their understanding to investigate the natural world through the practices of scientific inquiry.(National Research Council, 2012)

What is needed are science courses that engage students in higher-order thinking which includes constructing arguments, asking questions, making comparisons, establishing causal relationships, identifying hidden assumptions, evaluating and interpreting data, formulating hypotheses and identifying and controlling variables. Assessment that is dominated by low-level cognitive demands risks too much emphasis being placed on the recall of factual information which often leads teachers into a pedagogy which emphasizes rote learning. This approach undermines student interest in science. Improving the range and quality of assessment items used both to diagnose and assess student understanding of processes, practices and content of science should, therefore, be a priority for research and development. (Osborne i Dillon, 2008)

Resum (català)

Aquesta tesi analitza les dificultats dels estudiants quan realitzen activitats d'indagació científica. L'àmbit de la recerca està situat en la indagació com a contingut i s'emmarca en la perspectiva que considera la competència d'indagació com a essencial per aconseguir la competència científica.

Els referents considerats se centren en l'avaluació de la competència d'indagació, tant per descriure'n les habilitats que la caracteritzen, com per posicionar-se en la línia que aposta per avaluar conjuntament les dues dimensions de l'ensenyament de la ciència, els continguts científics i les pràctiques científiques.

El primer objectiu de recerca es proposava identificar les dificultats dels batxillers en la realització del treball de recerca oberta i autònoma, prescriptiu a Catalunya, una activitat paradigmàtica per a l'assoliment de la competència d'indagació. Per fer-ho es van analitzar les memòries dels treballs d'un grup d'estudiants d'un institut públic de Girona i es va recollir informació assistint a les presentacions orals. També es van recollir les propostes de preguntes investigables fetes per un altre grup d'estudiants a l'inici del treball. Per codificar aquestes produccions dels estudiants es va desenvolupar una rúbrica jerarquizada que permetia estandarditzar l'avaluació i fer-la més objectiva. Els resultats mostren que les dificultats comencen amb la identificació de preguntes investigables; és igualment freqüent la tendència a formular les hipòtesis com a simples prediccions; també són remarcables les dificultats en la proposta de dissenys metodològics coherents amb les preguntes i les hipòtesis formulades, així com les dificultats en la identificació de les variables implicades en la investigació realitzada.

El segon objectiu volia identificar les dificultats de l'alumnat en activitats d'aula d'indagació simulada. Amb aquesta finalitat es van preparar deu qüestionaris que, prenent com a context la descripció d'una investigació, plantegen preguntes relacionades amb habilitats d'indagació com ara la identificació de preguntes investigables, la formulació d'hipòtesis o el disseny de metodologia, i que impliquen la mobilització de coneixement conceptual. Un dels qüestionaris, que descriu una investigació relacionada amb la cinètica enzimàtica, es va passar a un grup d'estudiants de segon. I utilitzant el conjunt dels deu qüestionaris, es va dur a terme un procés d'avaluació formativa amb la col·laboració d'estudiants voluntàries que els van respondre per

escrit i van mantenir posteriorment un diàleg amb la investigadora per comentar i revisar les seves respostes. Els resultats mostren que les dificultats identificades en la realització d'activitats d'indagació simulada no són menors que les mostrades pels estudiants en la realització del seu treball de recerca i sembla que evidencien la poca presència de la indagació en les activitats habituals d'ensenyament.

El tercer objectiu pretenia analitzar de quina manera és considerada la competència d'indagació en els exàmens de biologia de les PAU, ja que si un procés condiciona l'ensenyament i l'aprenentatge en el batxillerat aquest és l'examen de selectivitat de la matèria. Per això es van examinar les característiques de les qüestions dels exàmens de biologia del 2011 al 2015, per identificar com aborden l'avaluació de la indagació i quina relació evidencien entre coneixement conceptual i coneixement procedimental; i també es van examinar els resultats d'una mostra estudiants de les convocatòries de juny de 2013, 2014 i 2015. Es va constatar que aquests exàmens, tot i que contextualitzats i competencials, avaluen de manera separada els conceptes de la ciència i les habilitats d'indagació i es va evidenciar la significativitat reduïda de la informació que els seus resultats aporten en relació a la competència d'indagació científica dels preuniversitaris, perquè tenen poca capacitat de discriminació.

Resumen (castellano)

Esta tesis analiza las dificultades de los estudiantes cuando realizan actividades de indagación científica. El ámbito de la investigación está situado en la indagación como contenido y se enmarca en la perspectiva que considera la competencia de indagación como esencial para conseguir la competencia científica.

Los referentes considerados se centran en la evaluación de la competencia de indagación, tanto para describir las habilidades que la caracterizan, como para posicionarse en la línea que apuesta por evaluar conjuntamente las dos dimensiones de la enseñanza de la ciencia, los contenidos científicos y las prácticas científicas.

El primer objetivo de investigación se proponía identificar las dificultades de los bachilleres en la realización del trabajo de investigación abierta y autónoma, prescriptivo en Catalunya, una actividad paradigmática per promocionar la competencia de indagación. Para ello se analizaron las memorias de los trabajos de un grupo de estudiantes de un instituto público de Gerona y se obtuvo información a partir de la asistencia a sus presentaciones orales. También se recogieron las preguntas investigables propuestas por un grupo de estudiantes al inicio del trabajo. Para codificar estas producciones de los estudiantes se desarrolló una rúbrica jerarquizada que permitía estandarizar la evaluación y conseguir que fuera más objetiva. Los resultados muestran que las dificultades empiezan con la identificación de preguntas investigables; es igualmente frecuente la tendencia a formular las hipótesis como simples predicciones; también son remarcables las dificultades en la propuesta de diseños metodológicos coherentes con las preguntas y las hipótesis formuladas, así como las dificultades en la identificación de las variables implicadas en la investigación realizada.

El segundo objetivo quería identificar las dificultades del alumnado en actividades de aula de indagación simulada. Con esta finalidad se prepararon diez cuestionarios que, utilizando como contexto la descripción de una investigación, plantean preguntas relacionadas con habilidades de indagación como la identificación de preguntas investigables, la formulación de hipótesis, o el diseño de metodología, y que implican la movilización de conocimiento conceptual. Uno de

los cuestionarios, que describe una investigación relacionada con la cinética enzimática, se pasó a un grupo de estudiantes de segundo. Y utilizando el conjunto de los diez cuestionarios, se realizó un proceso de evaluación formativa con la colaboración de estudiantes voluntarias que los respondieron por escrito i posteriormente mantuvieron un diálogo con la investigadora para comentar y revisar sus respuestas. Los resultados muestran que las dificultades identificadas en la realización de actividades de indagación simulada no son menores que las mostradas por los estudiantes en la realización de su trabajo de investigación y parece que evidencian la poca presencia de la indagación en les actividades habituales de enseñanza.

El tercer objetivo pretendía analizar de qué manera es considerada la competencia de indagación en los exámenes de biología de las PAU, puesto que si un proceso condiciona la enseñanza y el aprendizaje en el bachillerato éste es el examen de selectividad de la materia. Para ello se examinaron las características de las cuestiones de los exámenes de biología del 2011 al 2015, para identificar cómo abordan la evaluación de la indagación y qué relación evidencian entre conocimiento conceptual y conocimiento procedimental; y también se examinaron los resultados de una muestra de estudiantes de las convocatorias de junio de 2013, 2014 i 2015. Se constató que estos exámenes, a pesar de ser contextualizados y competenciales, evalúan de manera separada los conceptos de la ciencia y las habilidades de indagación y se evidenció la significatividad reducida de la información que aportan sus resultados en relación a la competencia de indagación científica de los preuniversitarios, porque tienen poca capacidad de discriminación.

Summary (English)

This doctoral thesis analyses the difficulties students face when carrying out scientific inquiry. The research looks at scientific inquiry as content and is based on the idea that inquiry skills are essential to achieve scientific competence..

The core literature that was considered focuses on assessing competence in scientific inquiry. It describes the skills that fall under this competence and argues that both aspects of science teaching – content and practices – ought to be assessed together.

Regarding the first of these three objectives, the research specifically sought to identify the difficulties encountered by high-school students in Catalonia during their compulsory research project, an open, student-driven activity that provides an indication of students' competence in scientific inquiry. The difficulties were identified by analysing the project reports written by a group of students in their final year of high school in the province of Girona, and by attending their oral presentations to record information. Student proposals for researchable questions were also recorded when another group of students, in their penultimate year of high school, made their proposals during their initial tutorial sessions at the start of their project. A hierarchical assessment sheet was created so that students' work could be assessed in a standardised, objective way. The most significant results show that difficulties begin when students have to identify researchable questions. Students also frequently formulate hypotheses as mere predictions. They also have difficulties with proposing methods that are coherent with their questions and hypotheses, and with identifying the variables involved in the research they are conducting.

Regarding the second objective – to identify the difficulties encountered in simulated classroom inquiry activities – ten questionnaires were created on the subject of describing a research project or its results. The questions posed fulfilled two criteria: they were related to inquiry skills, such as identifying researchable questions, formulating hypotheses and designing a methodology, and they required the use of conceptual knowledge. One of the questionnaires, regarding a research project related to the kinetics of the penicillinase associated with bacterial resistance to antibiotics, was given to a group of students in their final year of high school. Using all ten questionnaires,

three volunteer students participated in a formative assessment process by providing written responses to the questions then exchanging e-mails with the researcher to discuss and review their responses. A hierarchical assessment sheet was drawn up to standardise the responses to each questionnaire. The results show that when students participate in simulated inquiry activities, they encounter just as many difficulties as when doing their open, student-driven research projects. The results also seem to indicate that inquiry-based learning is not a prominent part of their normal learning programmes.

For the third objective, the research specifically sought to analyse the weight given to competence in scientific inquiry in the biology papers of the Catalan university entrance examinations, since those biology papers are the main factor that influences the teaching and learning of biology in the final years of high school. To achieve this, the biology exam questions set every year between 2011 and 2015 were examined to see how they assessed scientific inquiry and what relationship they reveal between conceptual and procedural knowledge. In addition, a sample of results was examined from students who sat the June entrance exams in 2013, 2014 and 2015. Although the exams contextualised concepts and tested competences, they were found to evaluate scientific concepts and inquiry skills separately, and the information that the results provide regarding the competence of pre-university students in scientific inquiry was found not to be very significant, since the results have only a limited capacity to indicate student performance levels.

Índex

SECCIÓ I. INTRODUCCIÓ	27
1.1. Focus de la recerca i justificació de la unitat temàtica	29
1.2. Objectius	32
1.2.1. Identificar dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma	32
1.2.2. Identificar dificultats dels batxillers en habilitats d'indagació en les activitats d'aula	32
1.2.3. Analitzar característiques i resultats de l'avaluació de la indagació científica en les proves d'accés a la universitat (PAU)	32
SECCIÓ II. INTERÈS DE LA RECERCA I CONSIDERACIONS TEÒRIQUES	35
2.1. A què es fa referència quan es parla d'indagació?	40
2.2. Quins processos caracteritzen els treballs d'indagació?	48
2.3. Quines dificultats poden presentar els estudiants en les activitats d'indagació?	56
2.4. Quan i com dur a terme l'avaluació de la competència d'indagació?	60
2.5. Què són les rúbriques i quin interès té el seu ús?	65
2.6. Quines característiques ha de tenir l'avaluació de la indagació?	69
SECCIÓ III. METODOLOGIES	71
3.1. Metodologia per identificar dificultats en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma	74
3.2. Metodologia per identificar dificultats en habilitats d'indagació en les activitats d'aula	92
3.3. Metodologia d'anàlisi de característiques i resultats de l'avaluació científica en les PAU	101
SECCIÓ IV. RESULTATS	113
4.1. Identificació de dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma	115
4.2. Identificació de dificultats dels batxillers en habilitats d'indagació en les activitats d'aula	127
4.3. Anàlisi de característiques i resultats de l'avaluació d'habilitats d'indagació científica en les PAU	150

SECCIÓ V. RESUM I DISCUSSIÓ DE RESULTATS	169
5.1. Dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma	172
5.2. Dificultats dels batxillers en activitats d'indagació a l'aula	177
5.3. Característiques i resultats de l'avaluació de la indagació en les proves d'accés a la universitat	181
SECCIÓ VI. CONCLUSIONS I IMPLICACIONS DIDÀCTIQUES	187
SECCIÓ VII. BIBLIOGRAFIA	209
SECCIÓ VIII. ANNEXOS (en suport digital)	
Annex 1. QIS dissenyats per a les activitats d'aula	
Annex 2. Rúbriques QNPTAI per codificar els qüestionaris QIS	
Annex 3. Transcripció de l'estudi de cas del seguiment d'una estudiant en la realització de 10 QIS	
Annex 4. Estructura i contingut de les proves de biologia de les PAU	
Annex 5. Qüestions de les proves de biologia PAU de Disseny Experimental	
Annex 6. Anàlisi de les demandes de les qüestions de biologia de PAU	
Annex 7. Anàlisi de les demandes de les qüestions de Disseny Experimental de biologia de PAU	
Annex 8. Estudi estadístic del SEA (Servei d'Estadística Aplicada de l'Autònoma)	

Llista de taules

- Taula 1.** Aspectes de la competència d'indagació en documents NRC i OECD i en els estàndards de batxillerat
- Taula 2.** Processos característics de les activitats d'indagació proposats per diversos autors
- Taula 3.** Comparació de categories de les eines PTAI i NPTAI
- Taula 4.** Canvis de categories de l'eina NPTAI, indicant les categories permanents
- Taula 5.** Comparació de categories del NPTAI, amb les del PTAI (Tamir, Nussinovitz i Friedler, 1982) i amb les de l'eina d'anàlisi de Möller i Mayer (2010) i dels descriptors d'una d'elles
- Taula 6.** Comparació dels descriptors d'una categoria entre l'eina NPTAI inicial i la refinada
- Taula 7.** Resultats de l'anàlisi de fiabilitat de l'instrument NPTAI
- Taula 8.** Versió definitiva de l'eina NPTAI
- Taula 9.** Nivells de competència d'indagació
- Taula 10.** Tres criteris d'anàlisi de les preguntes proposades pels estudiants
- Taula 11.** Qüestionaris QIS dissenyats i habilitats d'indagació que avaluen
- Taula 12.** Rúbrica específica d'anàlisi dels processos parcials i els errors en el disseny metodològic
- Taula 13.** Rúbrica d'anàlisi dels diàlegs estudiants-investigadora per descriure les dificultats identificades
- Taula 14.** Categories per analitzar les característiques de les qüestions
- Taula 15.** Progrés en el plantejament de preguntes investigables a l'inici del treball de recerca
- Taula 16.** Preguntes proposades per 5 estudiants (E1-E5) i el seu nivell NPTAI
- Taula 17.** QNPTAI per avaluar el QIS clavulànic de la Figura 6
- Taula 18.** Rúbrica d'anàlisi dels processos parcials i errors en el disseny metodològic i resultats
- Taula 19.** QNPTAI per avaluar el QIS de genètica mendeliana de la Figura 8
- Taula 20.** Descripció dels 10 QIS de la pregunta plantejada pels investigadors, i relació de les preguntes proposades per una de les estudiants i de la seva codificació utilitzant eines QNPTAI
- Taula 21.** Resultats d'anàlisi dels diàlegs estudiants-investigadora per descriure les dificultats identificades
- Taula 22.** Comparació de demandes en totes les qüestions, en "content domain" i en "inquiry domain"

Taula 23. Odds Ratio Test

Taula 24. Notes de qüestions d'indagació versus notes de "content domain" d'un mateix ítem

Taula 25. Comparació d'estadístics descriptius de nota global i nota d'indagació

Taula 26. Comparació de nota >9 i <9 en les notes d'indagació i en les notes globals

Llista de Figures

- Figura 1.** Components de la competència científica i ubicació del focus de la tesi
- Figura 2.** Les tres esferes de l'activitat científica, segons figuren a NRC (2012)
- Figura 3.** Relació entre les pràctiques científiques i les competències científiques, segons Crujeiras (2014)
- Figura 4.** Estructura de l'examen de biologia de PAU i exemple de continguts d'un examen
- Figura 5.** Exemple d'ítem d'un examen de PAU de biologia
- Figura 6.** Exemple d'ítem d'un examen de PAU de biologia
- Figura 7.** Resultats de codificació dels Treballs de Recerca amb l'eina NPTAI
- Figura 8.** NCI derivats de l'avaluació de memòries de treballs de recerca amb el NPTAI
- Figura 9.** QIS 1 relacionat amb cinètica enzimàtica i resistència bacteriana als antibiòtics
- Figura 10.** Resultats de l'avaluació d'habilitats d'indagació (QIS 1 clavulànic, cinètica enzimàtica)
- Figura 11.** QIS de genètica mendeliana 'AR o XR?'
- Figura 12.** QIS 3 'Osmosi i protozoos'
- Figura 13.** Evolució en la identificació de VI al llarg de les respostes als deu QIS
- Figura 14.** Evolució en la identificació de VD al llarg de les respostes als deu QIS
- Figura 15.** Evolució en la identificació de la pregunta investigable al llarg de les respostes als deu QIS
- Figura 16.** Característiques de demanda de les qüestions de biologia PAU del període 2011-2015
- Figura 17.** Comparació de les demandes en les qüestions d'indagació i en les de coneixement conceptual
- Figura 18.** Probabilitat d'obtenir nota d'indagació (ED) 10
- Figura 19.** Distribució de notes globals i de qualificacions per blocs en les proves de biologia PAU
- Figura 20.** Comparació de qualificacions en els set blocs de continguts
- Figura 21.** Comparació de qualificacions en les qüestions d'un mateix ítem
- Figura 22.** Comparació de percentils de Nota d'Indagació i de Nota Global
- Figura 23.** Associació entre nota global i nota d'indagació categoritzada

SECCIÓ I: INTRODUCCIÓ

27

- 1.1.** Focus de la recerca i justificació de la unitat temàtica
- 1.2.** Objectius

1.1. Focus de la recerca i justificació de la unitat temàtica

La recerca d'aquesta tesi parteix del reconeixement de la indagació com a objecte d'aprenentatge (Barrow, 2006), de la seva inclusió en el currículum de batxillerat de Catalunya com a competència que els estudiants haurien de desenvolupar (*Decret de Batxillerat LOE*, 2008), i de la constatació que no sembla que la indagació tingui a les aules el lloc que li correspondria (Cañal, 2007; Menoyo, 2013). La inclusió d'un treball autònom de recerca, prescriptiu per als batxillers, és coherent amb aquesta consideració de la indagació com a tema central en la didàctica de les ciències. Així doncs, es pot pensar que la majoria d'instituts ja han inclòs, amb més o menys idoneïtat, activitats relacionades amb la indagació –val a dir que aquest terme, com ja es discuteix en el marc teòric, pot tenir múltiples significats- que han promocionat la seva competència en els batxillers. Però hi ha poca recerca feta sobre com s'avalua aquesta competència; i, si es revisa la literatura, es troben poques referències relacionades amb l'avaluació de la indagació.

Per què una avaluació de la indagació? Perquè, per una banda, la indagació és ja reconeguda com a objecte d'aprenentatge (Abd-El-Khalick et al., 2004; Bybee, 2002; Driver, Leach, Millar i Scott, 1996; Lederman, Antink i Bartos, 2014; Millar, 2006; OECD, 2013) però, per altra banda, hi ha la constatació, per experiència docent, que en el nostre entorn els instruments i criteris d'avaluació sovint no tenen en compte les característiques pròpies de la indagació científica. És per això que es va considerar l'interès de posar el focus de la recerca didàctica d'aquesta tesi en l'avaluació de la indagació, ja que l'avaluació pot jugar un paper transcendent per assegurar la presència de la indagació a les aules, perquè indica i determina allò que professors i estudiants entenen que és desitjable i esperat (Black, Harrison, Lee, Marshall i William, 2003).

En relació a la inclusió de la indagació com a objecte d'aprenentatge i com a competència que els batxillers haurien de desenvolupar, no sembla que aquesta tingui en el nostre context el lloc que li correspondria des que, ja fa més de cent anys, Dewey va recomanar la seva inclusió en el currículum, tot remarcant que es posava massa èmfasi en els fets, conceptes i teories i, en canvi, se'n posava poc en el pensament científic i en la manera com la ciència obté nous coneixements. Com afirma Garrido (2016), l'enfocament didàctic dels docents està molt centrat en la transmissió de coneixements finalitzats i, quan es fan activitats pràctiques, sovint es limiten a processos

manipulatiu i rutinari, que no ajuden els estudiants a construir coneixement conceptual. En canvi, molt poques vegades es proposen pràctiques realment indagatives, que relacionin coneixement conceptual i coneixement procedimental, i que demanin la planificació d'investigacions i l'anàlisi i interpretació de resultats (Chinn i Malhotra, 2002; Couso, 2014; Crujeiras i Jiménez Aleixandre, 2015)

En el primer dels casos, aquestes activitats clàssiques de pràctiques, habitualment deslligades de les classes teòriques en les quals es posa l'èmfasi, es proposen quasi sempre com si fossin una recepta de cuina, en què l'estudiant ni es planteja preguntes, ni formula hipòtesis, ni dissenya metodologia, sinó que se li donen instruccions sobre quines dades ha d'obtenir i com ha d'obtenir-les, i sobre com ha de fer l'anàlisi per argumentar conclusions; i l'estudiant es limita a seguir el procés indicat i a comprovar els resultats, sempre esperats i preestablerts (Chinn i Malhotra, 2002; Lederman, 2004; i García, 1992; i Lunetta, 1981). Tiberghien, Veillard, Le Maréchal, Buty i Millar (2001) van comprovar que, en els estudis preuniversitaris i universitaris de diversos països europeus (Dinamarca, Regne Unit, França, Alemanya i Espanya), entre el 80 i el 95% (depenent de la matèria de ciències experimentals en qüestió) dels textos i manuals de pràctiques presentaven els experiments absolutament pautats. D'acord amb la rúbrica proposada per Fay, Grove, Towns i Bretz (2007), aquestes pràctiques correspondrien al nivell més baix d'indagació. I la seva avaluació sol consistir en la valoració de si s'han obtingut o no els resultats esperats i en la redacció d'un informe descriptiu.

En el segon dels casos, i en l'extrem oposat, hi ha els treballs de recerca autònoma, com el que s'ha inclòs aquests últims anys a diverses comunitats autònomes i a Catalunya per als batxillers, en què el procés està totalment en mans de l'alumnat, des de l'elecció del tema objecte d'estudi, amb la identificació de preguntes investigables i el disseny metodològic per mirar de respondre-les. Però l'experiència docent apunta que sovint els treballs de recerca realitzats pels batxillers no tenen les característiques pròpies dels treballs d'indagació. De fet, l'avaluació d'aquests treballs de recerca, que són una de les activitats paradigmàtiques per a l'assoliment de la competència d'indagació dels batxillers, pot posar el focus en aspectes diversos i ben diferents de les habilitats característiques de la indagació. En els llistats de criteris a considerar en aquesta avaluació és habitual trobar-hi qüestions com l'originalitat i l'interès del tema, el caràcter interdisciplinari del

treball i la qualitat lingüística i la presentació general de la memòria, que tenen més pes a la puntuació que no pas l'atorgat a la correcció metodològica i al rigor científic. Tot i que, en altres casos, també s'apunten com a criteris a considerar en l'avaluació el rigor en el tractament científic, la coherència entre la metodologia utilitzada i els objectius plantejats, i l'adequació i el bon ús de les fonts d'informació.

Per això, aquesta recerca de tesi es va proposar identificar les capacitats i dificultats dels estudiants en relació a la indagació en diversos processos d'avaluació. Es tracta d'analitzar si els estudiants, en contextos de realització de treballs d'indagació, o en contextos de descripció d'investigacions o dels seus resultats, és a dir, en activitats d'indagació tant real com simulada, són capaços d'identificar les preguntes investigables (Domènech, 2014; Furman, Barreto i Sanmartí, 2006; Kelsey i Steel, 2001), de formular una hipòtesi coherent amb la pregunta, en forma de deducció (Friedler i , 1986) i, fent referència a conceptes científics (Windschitl, Thompson i Braaten, 2008), de descriure el disseny metodològic emprat, d'identificar les variables, etc. L'èmfasi posat sovint en els coneixements conceptuals, que l'experiència docent mostra que és especialment accentuat al batxillerat, va fer pensar que els estudiants mostrarien dificultats, perquè les activitats habituals a l'aula no solen abordar les habilitats d'indagació, mentre que el més desitjable seria la consideració conjunta de coneixement conceptual i coneixement procedimental. I en relació als exàmens de biologia de les PAU, atès que l'avaluació pot jugar un paper transcendent perquè indica i determina allò que professors i estudiants entenen que és desitjable i esperat (Black, Harrison, Lee, Marshall i William, 2003), la recerca de la tesi es va proposar analitzar com avaluen aquestes proves la competència d'indagació, mirant d'identificar quina relació evidencien entre coneixement conceptual i coneixement procedimental (National Research Council, 2012; Osborne i Dillon, 2008); i un altre objectiu va ser analitzar els resultats que obtenen els estudiants en les preguntes que aborden la indagació.

Així doncs, el focus de la recerca d'aquesta tesi és l'avaluació de la competència d'indagació científica des de tres mirades diferents: als treballs d'indagació científica oberta i autònoma, a les activitats d'indagació d'aula i a l'avaluació de la competència d'indagació en les proves d'accés a la universitat.

1.2. Objectius

Com s'ha plantejat a l'apartat anterior, la intenció de la recerca d'aquesta tesi és identificar i descriure dificultats dels estudiants de batxillerat en relació a la competència d'indagació, i analitzar la seva avaluació en les proves d'accés a la universitat. Aquestes intencions es concreten en tres objectius:

1.2.1. OBJECTIU 1

Identificar dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma

El desenvolupament i utilització d'un instrument estandarditzat d'avaluació de treballs d'indagació oberta i autònoma per avaluar memòries de treballs de recerca dels batxillers permet identificar les dificultats d'aquests estudiants en la realització d'aquests processos oberts. Es plantegen les preguntes:

- > Quines dificultats mostren els estudiants en la realització de treballs d'indagació?
- > Quines dificultats mostren els estudiants en la formulació de preguntes investigables?

1.2.2. OBJECTIU 2

Identificar dificultats dels batxillers en habilitats d'indagació en activitats d'aula

La utilització d'instruments adaptats per a la codificació de les respostes dels estudiants en activitats d'aula proposades a partir de la descripció d'investigacions, possibilita la identificació i descripció de les seves dificultats en relació a les habilitats pròpies de la competència d'indagació. Es pretén respondre la següent pregunta:

- > En quines habilitats d'indagació mostren dificultats els estudiants?

1.2.3. OBJECTIU 3

Analitzar les característiques i resultats d'avaluació de la indagació científica en les proves d'accés a la universitat

Les proves d'accés a la universitat ofereixen una oportunitat per examinar quin tipus de coneixement científic es considera que cal avaluar, és a dir, si es limita només als coneixements de ciències, o si es tenen també en compte les pràctiques utilitzades per obtenir-los; i permeten

igualmente observar com s'avalua aquest coneixement, és a dir, si les proves proposen una avaluació conjunta o bé una dissociació entre el coneixement conceptual i les pràctiques pròpies de la indagació, i quina informació donen dels coneixements dels estudiants. Per això es van analitzar les proves d'accés a la universitat de Catalunya, per tal d'identificar la relació que mostren entre coneixement conceptual i coneixement procedimental, i per examinar si els estudiants responen de la mateixa manera les qüestions que aborden coneixement conceptual i aquelles que plantejen pràctiques científiques. Es van plantejar les següents preguntes:

- > Quines característiques tenen les qüestions? S'hi relacionen coneixement conceptual i coneixement procedimental?
- > Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació segons les característiques de la demanda?
- > Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació i de contingut, plantejades en un mateix ítem a partir del mateix context o estímul?
- > Són diferents les qualificacions d'indagació i les notes globals, comparant les diverses proves?
- > Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?

SECCIÓ II.

INTERÈS DE LA RECERCA I CONSIDERACIONS TEÒRIQUES

35

- 2.1.** A què es fa referència quan es parla d'indagació?
- 2.2.** Quins processos caracteritzen els treballs d'indagació?
- 2.3.** Quines dificultats poden presentar els estudiants en les activitats d'indagació?
- 2.4.** Quan i com dur a terme l'avaluació de la competència d'indagació?
- 2.5.** Què són les rúbriques i quin interès té el seu ús?
- 2.6.** Quines característiques ha de tenir l'avaluació de la indagació?

Com s'explica en un document del National Research Council (NRC, 1996), *la indagació es una activitat polifacètica que implica fer observacions; plantejar preguntes; examinar llibres i altres fonts d'informació per veure què es el que ja es coneix; planificar investigacions; revisar el que ja és conegut a la llum de les proves experimentals; utilitzar instruments per reunir, analitzar i interpretar dades; proposar respostes, explicacions i prediccions; i comunicar els resultats.*(p. 23). I un document posterior del mateix organisme especifica que formular preguntes, dissenyar experiments, recollir dades, analitzar aquestes dades per establir patrons i conclusions, i desenvolupar explicacions que les justifiquin són dimensions del pensament científic que representen el que habitualment es denomina indagació científica. (National Research Council, 2000)

En la recerca didàctica hi ha consens en relació a la consideració de la indagació com a objecte d'aprenentatge en l'ensenyament de les ciències. Es considera que, per aprendre ciència i per entendre-la, no n'hi ha prou amb conèixer els seus conceptes, lleis i teories, sinó que és igualment important conèixer els seus mètodes i entendre que la ciència no és un conjunt de coneixement estàtic, sinó que està en un procés constant i dinàmic de qüestionament que utilitza com a eina la indagació.

En la descripció de la indagació és habitual fer referència a la competència científica. El concepte de competència és una de les novetats dels paradigmes actuals de l'ensenyament. L'enfocament competencial va fer la seva entrada en els currículums per l'impuls de la Comissió Europea i del Programa PISA. En l'última dècada del segle XX, l'informe Delors va inspirar les propostes de l'OECD que aconsellaven un nou enfocament de l'aprenentatge, centrat en les competències que són necessàries al llarg de la vida. El programa DeSeCo (OCDE, 2002) defineix i selecciona les competències bàsiques, una de les quals és la competència científica. La introducció de l'enfocament competencial implica una nova manera de definir les intencions educatives i incorpora la importància de la funcionalitat, és a dir, de la capacitat d'utilitzar el coneixement per actuar sobre la realitat, la integració dels diferents continguts i la utilització del saber en contextos reals i diversos.

Des d'aquesta perspectiva de l'ensenyament competencial, es pot dir que la indagació és una de les capacitats de la competència científica, o una de les seves subcompetències o dimensions.

Segons la nomenclatura proposada per Cañal (2012), la competència científica té quatre dimensions: conceptual, metodològica, actitudinal i integrada. D'acord amb aquesta nomenclatura, la indagació correspon a la dimensió metodològica de la competència científica. Aquesta dimensió metodològica inclou la capacitat de diferenciar la ciència del coneixement vulgar, la capacitat d'identificar problemes científics i de dissenyar estratègies per investigar-los, la capacitat d'obtenir informació rellevant per a la investigació i la capacitat per processar les dades i la informació obtingudes i formular conclusions argumentades.

El document de l'OECD (2013) on es concretava el marc per a les proves PISA de 2015 (PISA 2015 Framework) es refereix a la indagació com a una subcompetència. Defineix la competència d'indagació com a conjunt de tres subcompetències: explicar fenòmens científicament, avaluar i dissenyar indagació científica, i interpretar dades i evidències científicament. La denominada per Cañal (2012) "dimensió metodològica de la competència científica" correspon a la subcompetència d'avaluar i dissenyar indagació científica, però inclou també aspectes de la subcompetència d'interpretar dades i evidències.

Aquest enfocament competencial de l'ensenyament i la consideració de la indagació com a objecte d'aprenentatge haurien d'anar lligats amb canvis en l'avaluació de les ciències i, sigui quina sigui la terminologia utilitzada, es fa palesa la necessitat de considerar no només coneixement conceptual, sinó també coneixement procedimental, que inclogui els mètodes que utilitza la ciència per obtenir coneixement. Les propostes actuals sobre avaluació insisteixen en la conveniència d'abordar-la considerant conjuntament el coneixement conceptual i el coneixement procedimental ja que, com s'apunta al Framework for K-12 Science Education (National Research Council, 2012), les avaluacions de ciències no han d'avaluar la comprensió de les idees de la ciència separades de les habilitats pròpies de la indagació, sinó que *'These two dimensions of learning will be assessed together showing students not only "know" science concepts, but also that students can use their understanding to investigate the natural world through the practices of scientific inquiry.'* En la mateixa línia, Osborne i Dillon (2008) proposen una avaluació que demani tant la comprensió dels continguts com la comprensió procedimental, perquè consideren que una avaluació centrada en demandes que es poden respondre amb informació memoritzada comporta el risc que l'enfocament didàctic posi l'èmfasi en l'aprenentatge mecànic, i apunten l'interès de fer recerca sobre el tema.

Partint d'aquestes idees, aquesta tesi doctoral explora diversos processos d'avaluació de la competència d'indagació, amb l'objectiu d'identificar les dificultats dels batxillers en habilitats pròpies de la competència. La recerca ofereix mirades diverses d'aquests processos: sobre treballs d'indagació autònoma, sobre activitats d'aula i sobre proves d'avaluació sumativa. I és convenient concretar algunes consideracions teòriques que assenten les bases del conjunt de la recerca i que s'enumeren tot seguit:

- > Donada la polisèmia del terme, convé explicar quins aspectes de la indagació s'han considerat en la recerca, i per això s'exposa **a què es fa referència quan es parla d'indagació?**
- > L'ambigüitat de termes com ara *treballs de recerca*, o la seva simplificació com a procés estereotipat d'una seqüència de passos preestablerts i obligats de l'anomenat 'Mètode Científic', han aconsellat explicitar com es descriuen aquests treballs en la recerca didàctica de la tesi, referenciant **quins processos caracteritzen els treballs d'indagació?**
- > La literatura ha aportat referents en relació a **quines dificultats poden tenir els estudiants en les activitats d'indagació?**
- > També s'ha considerat necessari explicitar algunes qüestions en relació a les eines per a l'avaluació de la competència d'indagació i als diversos moments ens què es proposa dur a terme aquesta avaluació, concretant **quan i com cal dur a terme l'avaluació de la competència d'indagació?**
- > El fet d'utilitzar rúbriques com a eines d'avaluació ha suggerit la conveniència d'explicar **què són les rúbriques i quin interès té el seu ús?**
- > A més, s'ha considerat important descriure i referenciar el que la recerca de la tesi té en compte en relació a **quines característiques ha de tenir l'avaluació de la indagació.**

2.1. A què es fa referència quan es parla d'indagació?

El terme indagació es pot considerar sinònim d'investigació i fa referència a la manera com la ciència obté nou coneixement. Quan en didàctica de les ciències es parla d'indagació, es fa lligant-la de manera indestriable a la conveniència d'evitar un ensenyament memorístic dels conceptes científics i a la necessitat d'incloure la comprensió dels mètodes per obtenir-los. Així, Martin-Hansen (2002) explica que la indagació es refereix a activitats com proposar preguntes, planificar investigacions i revisar allò conegut a la llum de les evidències, a la manera dels científics, i afirma que la característica que la defineix està en el fet que els estudiants formulin preguntes que siguin investigables.

La literatura mostra un ampli consens en la consideració de la indagació com a essencial per al desenvolupament d'una població científicament competent, i la contempla com un dels pocs temes que apareixen en els currículums de la majoria de països (Abd-El-Khalick et al., 2004; Bybee, 2002; Driver, Leach, Millar i Scott, 1996; Lederman, Antink i Bartos, 2014; Millar, 2006; OECD, 2013). I en conseqüència, la indagació és també, des de fa una colla d'anys, un tema central en la recerca en didàctica de les ciències; però diversos autors han insistit en la constatació dels diferents significats associats al concepte (Martin-Hansen, 2002; Ministrell, 2000; Barrow, 2006; Millar, 1998). Barrow (2006) fa una revisió històrica de l'evolució del concepte d'indagació des que Dewey, el 1910, va recomanar la seva inclusió en el currículum, remarcant que es posava massa èmfasi en els fets, conceptes i teories i se'n posava poc en el pensament científic i en la manera com la ciència obté nous coneixements. L'autor cita el Project Synthesis (Harms i Yager, 1981), una compilació de projectes de la National Science Foundation (NSF), que considerava la indagació des de dues dimensions: un contingut per als estudiants i els seus professors, i una estratègia didàctica utilitzada pels professors de ciències, com també apuntaven Olson i Loucks-Horsley (2000).

Per la seva banda, Barrow (2006) diferencia tres dimensions de la indagació, perquè la dimensió de la indagació com a contingut la divideix en la dimensió procedimental -referida a les capacitats que els estudiants haurien de desenvolupar- i en la dimensió epistemològica -referida a la seva comprensió sobre els processos de la ciència-. La recerca d'aquesta tesi fa referència a la indagació

científica com a contingut a ensenyar i aprendre, com a objecte d'aprenentatge i en la dimensió procedimental, d'habilitats, és a dir, als continguts per fer ciències que s'espera que l'alumnat aprengui..

Aquesta diferenciació entre la dimensió procedimental i la dimensió epistemològica de la indagació també apareix sovint en la descripció dels components de la competència científica. Així, Bell, Maeng and Peters (2010) expliquen que el desenvolupament de la competència científica inclou tres components: els coneixements de la ciència, els mètodes de la ciència (coneixement procedimental) i la naturalesa de la ciència o NOS (coneixement epistemològic) (Figura 1). La comprensió procedimental i l'epistemològica estan molt relacionades, però el NRC en proposa una descripció separada (NRC, 1996). La comprensió procedimental es refereix al coneixement dels processos per fer ciència i és equiparable a la indagació científica (SI o Scientific Inquiry), però inclou també aspectes epistemològics als quals la literatura es refereix com a naturalesa de la indagació científica o NOSI (Figura 1). En aquesta tesi , quan es parla d'indagació, es posa el focus en el coneixement dels processos per fer ciència (Strippel and Sommer, 2015) però des d'una visió no estrictament empiricista, sinó basada en teories i coneixement científic.

	CONEIXEMENT DELS MÈTODES DE LA CIÈNCIA		
CONEIXEMENTS DE CIÈNCIA (Scientific Knowledge SK)	CONEIXEMENT DELS PROCESSOS PER FER CIÈNCIA ○ CONEIXEMENT DE LA INDAGACIÓ CIENTÍFICA (Scientific Inquiry SI)	CONEIXEMENT SOBRE LA NATURESA DE LA INDAGACIÓ CIENTÍFICA (Nature of Scientific Inquiry NOSI)	CONEIXEMENT DE LA NATURESA DE LA CIÈNCIA (Nature of Science NOS)

Figura 1. Components de la competència científica i ubicació del **focus de la tesi**

Ara bé, un cop concretat que, quan es parla d'indagació, es fa referència a la indagació com a objecte d'aprenentatge centrat en els processos per fer ciència, cal especificar quins són aquests processos que caracteritzen la indagació científica, és a dir, quines són les activitats relacionades amb la indagació i les habilitats que les caracteritzen.

Si es consulten els estàndards de Catalunya, el currículum reconeix la indagació com a competència que els estudiants han de desenvolupar, i especifica les habilitats necessàries per assolir la competència: *“Identificar problemes; generar qüestions susceptibles de ser investigades; dissenyar i realitzar investigacions; enregistrar i analitzar dades; treure conclusions; elaborar, comunicar i defensar hipòtesis, models i explicacions; fer prediccions a partir dels models; examinar les limitacions de les explicacions científiques; i argumentar la validesa d’explicacions alternatives en relació amb les evidències experimentals.”* (DOGC, 2008 p. 59225), i també enumera les estratègies de la investigació científica: *‘plantejament de problemes, formulació d’hipòtesis, cerca d’informació, elaboració d’estratègies de resolució, disseny i muntatges experimentals, anàlisi i comunicació de resultats amb capacitat explicativa i predictiva dels fenòmens que s’estudien.’* (DOGC, 2008 p. 59229).

Aquests objectius curriculars poden ser relacionats amb les habilitats de la competència científica tal i com són descrites en el PISA 2015 Framework (OECD, 2013) i també amb les Pràctiques de la Ciència del Framework for K-12 Science Education (NRC, 2012). El solapament entre aquests referents i els estàndards de batxillerat a Catalunya es mostra a la Taula 1, i s’hi evidencien les diferències entre ells. Es comparen tot seguit, amb l’objectiu d’analitzar les diferències i de concretar a què es fa referència en aquesta tesi quan es parla d’indagació.

Es comparen en primer lloc les habilitats i estratègies citades en el currículum de batxillerat, amb les habilitats de la competència científica descrites en el PISA 2015 Framework (OECD, 2013). Segons aquest document, la competència científica és descrita per tres subcompetències: *explicar fenòmens científicament, avaluar i dissenyar indagació científica, i interpretar dades i evidències científicament*. Les habilitats necessàries per assolir la competència d’indagació especificades en el currículum de batxillerat inclouen habilitats d’aquestes tres subcompetències. Així, en aquest document de l’OECD, les habilitats de recordar i aplicar coneixement científic i de formular hipòtesis no estan incloses en la competència de dissenyar indagació, sinó en la competència *d’explicar fenòmens científicament*. I també en aquest document de l’OECD, l’habilitat d’analitzar i interpretar dades i proposar conclusions està inclosa en la competència *d’interpretar dades i evidències científicament* i no pas en l’habilitat de dissenyar indagació.

Per tant, si es volen relacionar les habilitats d'indagació del currículum de batxillerat amb les habilitats de la competència científica segons les descriu l'OECD, a més d'incloure habilitats que aquest document esmenta en la competència *avaluar i dissenyar indagació científica* (identificar preguntes investigables, proposar maneres d'explorar aquestes preguntes, descriure les maneres utilitzades pels científics per assegurar la fiabilitat de les dades i l'objectivitat de les explicacions, i comunicar les troballes i els mètodes utilitzats per obtenir-les) també s'hi han d'incloure habilitats de les altres dues subcompetències d' *explicar fenòmens científicament* i d'*interpretar dades i evidències científicament*, tal com s'indica a la Taula 1 amb fons ombrejat.

Aquesta comparació entre les habilitats d'indagació citades en el currículum de batxillerat i les habilitats de la competència d'indagació esmentades en el PISA 2015 Framework pot fer pensar que en el document de l'OECD (2013) es dona una visió empiricista de la indagació; però no és així perquè, quan descriu la competència d'avaluar i dissenyar indagació científica, explica que aquesta competència necessita tant coneixement conceptual com coneixement procedimental i epistemològic: *'Facility with this competency draws on content knowledge, a knowledge of the common procedures uses in science (procedural knowledge) and the function of these procedures in justifying any claims advanced by science (epistemic knowledge)'* p. 8. Per exemple, explica que el coneixement conceptual és necessari per identificar preguntes investigables; que fa falta coneixement procedimental per entendre i aplicar l'estratègia de control de variables; i que la capacitat d'explicar per què cal aquest ús de variables controlades o la realització de rèpliques exigeix coneixement epistemològic.

Taula 1. Aspectes de la Competència d'Indagació en documents de NRC i OECD i en els estàndards de batxiller

PRÀCTIQUES PER A LES CLASSES DE CIÈNCIES K-12 The National Academies Press, (NRC 2012)	HABILITATS DE LA COMPETÈNCIA D'INDAGACIÓ CIENTÍFICA PISA 2015 Framework (OECD, 2013)	HABILITATS DE LA COMPETÈNCIA D'INDAGACIÓ CIENTÍFICA en els estàndards de biologia de Catalunya currículum 16-18 (DOGC, 5183/2008)
1 Plantejar preguntes	Identificar la pregunta explorada en un estudi científic donat Distingir preguntes que es poden investigar científicament	Identificar problemes Generar qüestions susceptibles de ser investigades
2 Desenvolupar i utilitzar models	Recordar i aplicar coneixement científic apropiat Proposar hipòtesis explicatives <i>Nota- aquestes habilitats estan incloses dins de la competència d'explicar fenòmens científicament i no dins la competència d'avaluar i dissenyar indagació científica</i>	Cercar informació Fer prediccions a partir de models Formular hipòtesis
3 Planificar i portar a terme investigacions	Proposar i avaluar maneres d'explorar científicament una pregunta científica donada Obtenir dades per mitjà d'observació i experimentació Descriure i avaluar les maneres que utilitzen els científics per assegurar la fiabilitat de les dades i l'objectivitat i generalibilitat de les explicacions. Proposar rèpliques i utilitzar controls.	Dissenyar i realitzar investigacions Elaboració d'estratègies de resolució, disseny i muntatges experimentals
4 Analitzar i interpretar dades	Analitzar i interpretar dades i proposar conclusions apropiades <i>Nota- aquesta habilitat és inclosa dins de la competència d'interpretar dades i evidències científicament i no dins la competència d'avaluar i dissenyar indagació científica</i>	Enregistrar i analitzar dades Treure conclusions Elaborar, comunicar i defensar hipòtesis, models i explicacions Examinar les limitacions de les explicacions científiques Argumentar la validesa d'explicacions alternatives en relació amb les evidències experimentals
5 Utilitzar matemàtiques i pensament computacional		
6 Construir explicacions		
7 Argumentar a partir de proves		
8 Obtenir, avaluar, i comunicar informació	Comunicar les troballes i els mètodes utilitzats per obtenir-les	

Si es comparen les 8 pràctiques científiques proposades pel NRC (2012) amb les subcompetències científiques descrites en el PISA 2015 Framework, només la 1 (platejar preguntes) i la 3 (planificar i portar a terme investigacions) es corresponen amb les habilitats incloses en la competència *d'avaluar i dissenyar indagació* del document de l'OECD. Les altres 6 pràctiques científiques es relacionen o amb la competència del Framework 2015 PISA 2015 *d'explicar fenòmens científicament* (2 desenvolupar i utilitzar models, 6 construir explicacions), o amb la competència del Framework 2015 PISA *d'interpretar dades i evidències científicament* (4 analitzar i interpretar dades, 5 utilitzar matemàtiques i pensament computacional, 7 argumentar a partir de proves, 8 obtenir, avaluar i comunicar informació).

De manera gràfica, el document del NRC (2012) conté la Figura 2, amb les tres esferes de l'activitat dels científics, i es pot observar que la indagació o investigació queda circumscrita a l'esfera del *món real* i a habilitats com plantejar preguntes, o a activitats com observar, experimentar o mesurar per recollir dades, mentre que la formulació d'hipòtesis forma part de l'esfera del *món de les idees*, i l'*anàlisi i l'argumentació* s'inclouen en una tercera esfera que lliga les dues anteriors i relaciona el món real amb el món de les idees.

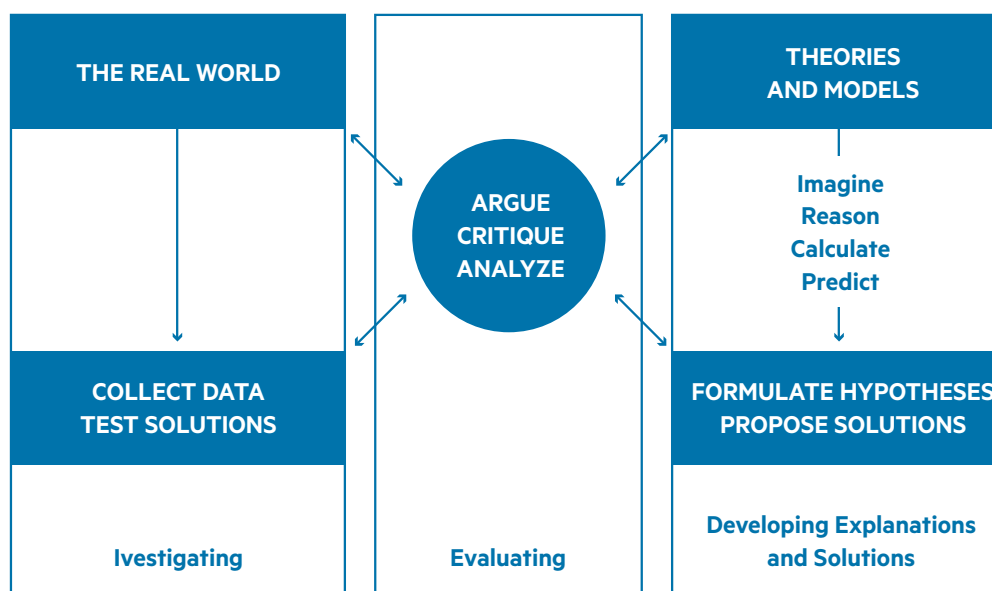


Figura 2. Les tres esferes de l'activitat científica segons figuren a NRC (2012)

Autors com Crujeiras (2014) relacionen les vuit pràctiques científiques proposades pel NRC (NRC, 2012) amb les tres competències científiques proposades pel Framework 2015 PISA (OECD, 2013)

tal i com mostra la Figura 3, que fa evident que la competència *avaluar i dissenyar indagació* només inclou dues de les pràctiques científiques enumerades pel NRC (2012): 1 formulació de preguntes científiques i .3 planificar i portar a terme investigacions.

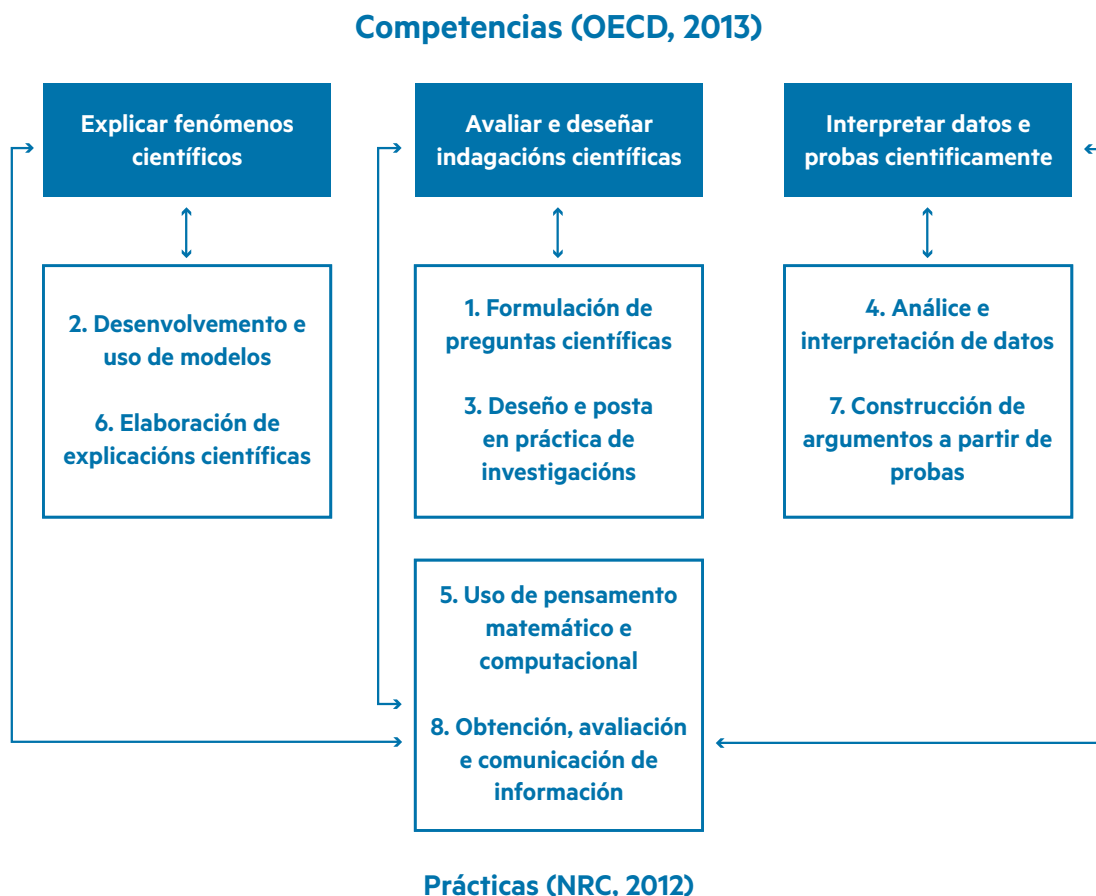


Figura 3. Relació entre les pràctiques científiques i les competències científiques segons Crujeiras (2014)

Si es fa la comparació entre les 8 pràctiques científiques proposades pel NRC (2012) i les habilitats de la competència d'indagació especificades en el currículum de batxillerat, es pot identificar un major grau de solapament. Aquestes coincidències posen de manifest que, de fet, quan en el currículum de batxillerat es parla d'indagació, es fa referència a les pràctiques de la ciència. Per això, des d'aquesta perspectiva i prenent com a referent la descripció d'habilitats de la competència científica del PISA 2015 Framework OECD, (2013), en la recerca d'aquesta tesi centrada en l'avaluació de la competència d'indagació dels batxillers s'ha considerat que la competència d'indagació es refereix fonamentalment, i no exclusivament, a les habilitats incloses en la competència *avaluar i dissenyar indagació científica* (*identificar la pregunta explorada en*

un estudi científic donat, proposar i avaluar maneres per explorar científicament una pregunta, descriure i avaluar les maneres que utilitzen els científics per assegurar la fiabilitat de les dades i l'objectivitat i generalibilitat de les explicacions), però que inclou també habilitats en la competència interpretar dades i evidències científicament (com ara analitzar i interpretar dades i proposar conclusions apropiades), i també algunes altres habilitats en la competència explicar fenòmens científicament com ara proposar hipòtesis explicatives.

El coneixement procedimental necessari per abordar aquesta competència d'indagació s'entén que, tal i com es descriu en el document de l'OECD (2013), es refereix per exemple, al concepte de variables, incloent la variable dependent, la variable independent i les variables controlades; o a les formes habituals d'organitzar i representar dades utilitzant taules, gràfics i altres visualitzacions apropiades en cada cas; o a l'estratègia del control de variables i el seu paper en el disseny experimental.

Així doncs, s'entén que, per referir-se a la indagació des de la visió dels processos per fer ciència, i per evitar una visió empiricista, cal incloure en les habilitats que la caracteritzen la utilització de coneixement científic que ha d'orientar la identificació de preguntes investigables, la formulació d'hipòtesis i la metodologia, i també d'altres habilitats com l'anàlisi de dades i l'argumentació, apostant per *'una indagació creativa influenciada per la teoria i al servei de l'avaluació de teories i models'* (Couso, 2014). Coincidim amb l'autora que la indagació com a objecte d'aprenentatge no hauria de contemplar només les 'destreses indagatives' necessàries per indagar, com ara el disseny metodològic, sinó també continguts conceptuals de ciències.

2.2. Quins processos caracteritzen els treballs d'indagació científica?

Després d'establir que el focus de la recerca didàctica d'aquesta tesi és la indagació com a contingut i apostant per una indagació creativa influenciada per la teoria, convé fer referència a què s'entén que és un treball d'indagació científica. El batxillerat LOGSE (1997) i, posteriorment, el batxillerat LOE (2008) estableixen que els estudiants d'aquest nivell educatiu a Catalunya han de fer un treball d'investigació que també és preceptiu a algunes altres comunitats autònomes. Aquest treball es planteja com una activitat per afavorir la competència d'indagació, perquè la normativa estableix que ha de consistir en un conjunt d'activitats estructurades i orientades a la recerca i no a la simple consulta bibliogràfica (Decret de Batxillerat LOE, 2008).

En els inicis de la inclusió de la indagació en els currículums de ciències (Dewey, 1910) i durant molts anys i encara avui, s'han identificat els treballs d'indagació fent referència al *mètode científic* com una seqüència rígida de passos: fer observacions, identificar problemes o preguntes, formular hipòtesis, dissenyar experiments per testar aquestes hipòtesis, revisar els resultats i proposar unes conclusions. Aquesta inclusió de la indagació en els currículums de ciències, recomanada per Dewey fa un segle, el qual argumentava que es posava massa èmfasi en l'acumulació d'informació sobre els fets i no tant en el pensament científic, va suposar una gran aportació; però la visió simplificada i estereotipada dels processos de la ciència que va comportar hauria de ser substituïda per una de més àmplia i no operacional perquè, com afirmen Binns i Bell (2015), "*There is no single set and sequence of steps followed in all investigations*"; és a dir, no convé dir *El Mètode Científic* perquè els científics utilitzen una gran varietat de mètodes quan investiguen. En aquesta línia, Binns (2013) identifica dues visions de la metodologia científica i les anomena *tradicional* i *àmplia*. En la visió tradicional es descriu la metodologia científica com una sèrie de processos estereotipats de l'anomenat *mètode científic*, es remarca que els científics sempre testen hipòtesis i que sempre fan recerca experimental. En la visió àmplia, la metodologia científica és descrita especificant que no hi ha un únic mètode científic, sinó que els científics utilitzen gran varietat de mètodes, i es fa palès que hi ha investigacions no experimentals, com per exemple moltes dels camps de l'ecologia, l'epidemiologia o l'evolució. També Windschitl et al. (2008) es refereixen a aquesta visió simplificada dels mètodes de la ciència i asseguren

que, cent anys després de la seva concepció, el *mètode científic* segueix marcant una mena de tradició cultural en relació a què significa fer indagació, emfasitzant que es testin prediccions més que no pas idees o conceptes, i posant el focus en les activitats manipulatives a expenses del coneixement profund de la matèria.

Així doncs, per evitar simplificacions i visions estereotipades, cal preguntar-se quines característiques es considera que defineixen un treball d'indagació. En la literatura, diversos autors (Martin-Hansen, 2002; Bell, Smetana, i Binns, 2005; Bell, Maeng i Peters, 2010; Binns i Bell, 2015) afirmen que, per considerar que una activitat és un treball d'indagació científica, n'hi ha prou que els estudiants responguin una pregunta investigable a partir de l'anàlisi de dades. Altres autors, per caracteritzar aquest treballs, en descriuen els processos o suggereixen processos didàctics per orientar-los, com es mostra a la Taula 2 (Ben David i Zohar, 2009; Bogner, Boudalis i Sotiriou, 2012; Caamaño 2012; Möller i Mayer, 2010; National Research Council, 2012; Nowak et al., 2013; Windschitl, Thompson, i Braaten, 2008). Tots ells coincideixen en la identificació de preguntes investigables com a primer pas. Per tant, es pot afirmar que un dels processos que caracteritza els treballs d'indagació científica és la identificació de qüestions que poden ser respostes per mitjà d'investigacions (Llewellynd, 2005; NRC, 1996; OECD-PISA, 2006).

Ara bé, convé precisar que cal que la pregunta faci referència a conceptes científics i, per tant, la comprensió conceptual dels fenòmens observats és un requisit indispensable en el desenvolupament de la capacitat de formular preguntes investigables (Furman, Barreto i Sanmartí, 2006). Quan es plantegen preguntes investigables per abordar un treball d'indagació científica cal remarcar que no es tracta, com explica Couso (2014), d'indagar 'en general', sinó de fer indagació científica i, per tant, el context de la indagació no és trivial sinó que s'han de proposar preguntes que permetin relacionar proves amb idees científiques. Com diu l'autora, *'En general, en la literatura sobre indagación pareciera que a veces se ha confundido investigable por científico, y se destaca la importancia de la "investigabilidad" de las preguntas que los alumnos proponen (el hecho de que se puedan obtener pruebas para responderlas), frente a su "cientificidad" (que se puedan relacionar esas pruebas con una idea científica clave)'* p. 7. L'OECD també remarca la referència necessària als conceptes científics i explica que *"la capacitat d'identificar qüestions científiques implica reconèixer interrogants que poden ser investigats científicament en una*

situació donada i identificar conceptes clau para buscar informació científica sobre un determinat tema.” (OECD-PISA, 2006 p 31).

En la mateixa línia, en la proposta d'indagació basada en models (MBI, Windschitl et al., 2008) es descriuen quatre converses per encarar el cicle d'indagació: Conversa 1: organitzar què sabem i què volem saber; Conversa 2: generar hipòtesis testables utilitzant l'heurístic que les estructura en forma de deducció i fent referència al model; Conversa 3: buscar proves; i Conversa 4: construir un argument. Per tant, en el MBI es considera que cal començar per establir què coneixem del fenomen i què en volem saber.

Així doncs, a la llum d'aquests referents, en aquesta recerca es parteix de la idea que, per considerar que un treball és d'indagació científica, els estudiants han de plantejar preguntes investigables relacionades amb conceptes científics i partint de la reflexió de què saben i què es proposen saber.

A més, en relació a què s'entén per *pregunta científica investigable*, també és important remarcar que no qualsevol pregunta científica és investigable: per ser-ho, ha de fer referència a la relació que s'estableix entre diferents factors o fenòmens, una relació que ha de poder ser investigada; i, a més, aquesta pregunta científica s'ha de poder respondre recollint dades i analitzant-les.

Per elaborar a la classe de ciències una proposta d'anàlisi de les preguntes que permeti observar els nivells de comprensió dels estudiants que les plantegen, Roca, Marquez i Sanmartí (2013) van utilitzar la proposta de Graesser, Mc Mahen i Johnson (1994). En ella expliquen que tota pregunta es pot descompondre, d'una banda, en uns pressupòsits o fets relacionats amb un contingut sobre els qual es pregunta (cosa que possibilita identificar els coneixements o idees que es pressuposen i que s'han activat en plantejar la pregunta) i, d'altra banda, en un interrogant o objectiu o demanda (que permet reconèixer les expectatives que s'activen en plantejar la pregunta). Les autores remarquen que la capacitat d'identificar preguntes científiques és un dels components de la competència científica (OECD, 2013) i valoren la importància d'ensenyar a formular-les i a reflexionar sobre la seva qualitat. La identificació dels pressupòsits i les demandes de les preguntes formulades a l'inici d'un treball d'indagació pot ser una bona eina per analitzar-les, per examinar-ne el contingut, per aclarir les idees o conceptes que impliquen i per refinar-les.

Per exemple, en la pregunta *Per què apareixen larves de mosca a la carn en descomposició?*, el pressupòsit el constitueixen la formació de larves i la teoria de la generació espontània, vigent en aquell moment; i l'interrogant que es planteja té relació amb per què succeeix això, d'on provenen les larves i si aquests éssers vius es formen o no a partir de les molècules del medi. En el procés d'elaboració d'aquesta pregunta, per una banda es mobilitzen la capacitat d'observar i pensar sobre fets i fenòmens concrets i, per altra banda, es mobilitzen les idees dominants, els conceptes i teories del model establert, i també les idees alternatives que hom pretenia demostrar. És a dir, l'anàlisi de la pregunta mostra que, tal i com és pertinent en ciència, la pregunta es correspon a una situació en la qual *el procés d'observació i d'explicació d'una nova situació es fa sempre des d'una teoria* (Roca, Marquez i Sanmartí, 2013 p. 96). Quan Redi, en el segle XVII, es va plantejar aquesta pregunta, la demanda es formulava partint de l'observació d'un fet - l'aparició de mosques a la carn-, i posant en dubte si es produïa o no generació espontània, mentre que el pressupòsit era la negació de la teoria de la generació espontània i la defensa de la teoria de la biogènesi. El procés d'elaboració d'aquesta pregunta evidencia la mobilització d'idees científiques.

Però la pregunta, formulada així, *Per què apareixen larves de mosca a la carn en descomposició?*, no és investigable. En general, les preguntes que comencen per *Per què...?* o per *Com...?* són no investigables, ja que a partir d'elles no es pot dissenyar metodologia d'obtenció de dades, mentre que les preguntes que comencen per *Què succeeix si...?* o per *S'observa alguna diferència si...?* són investigables (Domènech, 2014) perquè suggereixen metodologia. La pregunta anterior, reformulada per tal que sigui una pregunta investigable, es podria plantejar dient: *D'on provenen les larves de mosca que apareixen a la carn?*, o bé: *S'observa alguna diferència si no es deixa que les mosques s'acostin a la carn?*

De manera similar, Kelsey i Steel (2001) distingeixen entre preguntes d'informació i preguntes investigables i suggereixen que les respostes a preguntes investigables són com els blocs de construcció d'una teoria científica, mentre que les respostes a preguntes d'informació es construeixen amb les respostes a moltes preguntes investigables posades juntes. Afirmen que un treball d'investigació no pot respondre preguntes d'informació, perquè per fer-ho calen una gran quantitat d'estudis. En canvi, les preguntes investigables plantegen una comparació específica que pot ser testada. Si la pregunta plantejada és investigable, és fàcil imaginar quines dades cal obtenir per respondre-la.

La formulació de preguntes investigables és un procés complex, que es relaciona amb habilitats d'ordre cognitiu elevat o HOCS (Higher Order Cognitive Skills) d'acord amb la terminologia proposada per Zoller i Tsapalis (1997), perquè no es pot abordar recordant informació o aplicant coneixement, sinó per mitjà de processos complexos, com ho són els que cal mobilitzar per identificar problemes oberts, prendre decisions, analitzar dades i avaluar-les.

Per altra banda, i un cop assentat què es defineix com a pregunta investigable, quan s'estableix quins processos caracteritzen un treball d'indagació també és important tenir en compte que no es pot confondre investigació amb experimentació. En aquesta línia, Binns i Bell (2015) insisteixen en la necessitat de diferenciar entre investigacions experimentals i no experimentals: només en les experimentals es reproduceix de manera artificial i controlada un fenomen i, per tant, cal establir variables independents i variables controlades. I Bell, Maeng, i Peters (2010) remarquen un altre aspecte que sovint origina confusió quan es fa referència als treballs d'indagació: no totes les investigacions impliquen recollir dades, perquè també es poden analitzar dades ja existents.

Hi ha encara un altre aspecte que cal considerar en relació als processos propis dels treballs d'indagació: tot i que la majoria de referents recollits (Taula 2) consideren que és habitual contemplar la formulació d'hipòtesis, Lederman, Antink i Bartos (2014) expliquen que les investigacions científiques comencen amb una pregunta però no forçosament testen una hipòtesi. En les investigacions experimentals sí que cal formular hipòtesis i, com s'ha comentat, impliquen la manipulació de variables, però no així en les investigacions no experimentals, habituals en camps com l'epidemiologia, l'evolució o l'ecologia. I si cal formular hipòtesis, és important remarcar la idea que aquestes no han de ser una simple predicció, sinó que cal formular-les en forma de deducció, com un enunciat en dues parts (Friedler i , 1990): la primera, que descriu les accions que s'emprenen per verificar la hipòtesi (de les que es desprèn la VI), i la segona, que descriu el resultat possible d'aquestes accions (de la que es desprèn la VD). A més, també cal remarcar que convé formular les hipòtesis fent referència a conceptes científics: Windschitl et al. (2008) proposen fer-ho utilitzant l'esquema o heurístic: "*Si penso que... llavors quan... observarem que...*" perquè aquest procediment orienta tant en relació a la identificació del model de referència que cal tenir en compte, com en relació a les variables a considerar.

D'acord amb aquestes propostes, en el tema esmentat prèviament de les investigacions de Redi per descartar la teoria de la generació espontània, la hipòtesi es podria formular *“Si pensem que no es produeix generació espontània (model o base teòrica) i, per tant, que els cucs trobats a la carn en descomposició són descendents de les mosques (hipòtesi), llavors (deducció) quan mantindrem les mosques allunyades de la carn (operació o VI) observarem que no hi apareixen cucs (resultat o VD).* D'aquesta manera el lligam entre coneixement conceptual i coneixement procedimental es fa evident. Aquesta necessària referència a models i conceptes científics quan es formulen hipòtesis explica que l'habilitat de formular hipòtesis sigui inclosa actualment en la competència d'explicar fenòmens científicament (National Research Council, 2012; OECD, 2013), tot i que molts autors la considerin una habilitat de la competència de dissenyar indagació científica (Ben David i Zohar, 2009; Duschl i Bybee, 2014; Möller, Grube, Hartmann i Mayer, 2009; Nowak et al., 2013; Wilke i Straits, 2005; Windschitl et al., 2008).

Així doncs, partint de totes aquestes precisions, en aquesta recerca de tesi es considera que identificar preguntes científiques investigables, esbrinar què sabem i quina informació científica cal obtenir sobre el tema objecte de les preguntes formulades, i obtenir dades i analitzar-les per respondre les preguntes plantejades, constitueixen els passos ineludibles que han de caracteritzar els treballs d'indagació.

Taula 2. Processos característics de les activitats d'indagació proposats per diversos autors

Möller i Mayer, 2010 Quatre habilitats centrals de la Indagació Científica	Duschl i Bybee, 2014 Planificar i Realitzar Investigacions (PCOI).	Ben-David i Zohar, 2009 Patró d'un Cicle d'Indagació	NRCI, 2012 Pràctiques Científiques
FORMULAR PREGUNTES	FORMULAR UNA PREGUNTA QUE PUGUI SER INVESTIGADA	DEFINIR PREGUNTES DE RECERCA	PROPOSAR PREGUNTES
GENERAR HIPÒTESIS	Quan sigui apropiat, FORMULAR UNA HIPÒTESI (és a dir, una possible explicació que predir resultats) basada en un model o teoria	FORMULAR HIPÒTESIS DE RECERCA	DESENVOLUPAR I UTILITZAR MODELS
PLANIFICAR INVESTIGACIONS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Decidir què i com mesurar, observar i mostrejar 2. Desenvolupar o seleccionar procediments per mesurar i recollir dades: PLANIFICAR PROCEDIMENTS DE RECERCA EXPERIMENTAL O DE CAMP, identificant variables independent i depenent i, quan sigui apropiat, la necessitat de controls. 3. Documentar i recollir sistemàticament resultats inobservacions 4. Realitzar representacions per estructurar les dades i patrons d'observacions 	PLANIFICAR EXPERIMENTS OBSERVAR RESULTATS I RECOLLIR DADES	PLANIFICAR I REALITZAR INVESTIGACIONS
INTERPRETAR DADES	<ol style="list-style-type: none"> 5. DETERMINAR SI (1) LES DADES SÓN BONES (VÀLIDES I FIABLES) I SI PODEN SER UTILITZADES COM A EVIDÈNCIES, (2) si es necessiten dades addicionals, o (3) si calen un nou disseny d'investigació o un nou conjunt de mesuraments 	ANALITZAR DADES	ANALITZAR I INTERPRETAR DADES

<p>Windschitl et al., 2008 Model Based Inquiry (MBI) = Indagació Basada en Models Quatre converses</p>	<p>Bogner, Boudalis i Satiriou,2012 Seqüències didàctiques ECBI</p>	<p>Nowak et al., 2013 Els tres grans Processos del Raonament Científic i habilitats relacionades</p>
<p>Conversa 1 ORGANITZAR QUÈ SABEM I QUÈ VOLEM SABER</p>	<p>FORMULAR PREGUNTES INVESTIGABLES</p>	<p>PLANTEJAR PREGUNTES I FORMULAR HIPÒTESIS Habilitats per plantejar preguntes que poden ser contestades per la ciència i formular hipòtesis que poden ser confirmades o refutades per mitjà d'una investigació (Mayer 2007).</p>
<p>Conversa 2 GENERAR HIPÒTESIS TESTABLES: proposar relacions potencials entre variables a partir del model, no simples prediccions, utilitzant un HEURISTIC PER ESTRUCTURAR HIPÒTESIS CIENTÍFIQUES ESCOLARS: Si pensem que aquestes relacions en el nostre model són acurades, llavors quan nosaltres observem aquestes condicions, observarem aquests resultats.</p>		
<p>Conversa 3 BUSCANT PROVES: de quina manera les dades podrien ser obtingudes per testar el model i utilitzades per identificar patrons o relacions en el món dels observables</p>	<p>DONAR PRIORITAT A LES PROVES</p>	<p>PLANIFICAR I REALITZAR UNA INVESTIGACIÓ Habilitats per planificar i realitzar una investigació científica (Gott and Duggan 1995).</p>
<p>Conversa 4 CONSTRUINT UN ARGUMENT Les dades poden convertir-se en evidències quan són utilitzades per suportar un argument o explicació Cal posar l'èmfasi a proposar relacions articulades entre idees, proves o evidències i explicacions</p>	<p>ANALITZAR LES OBSERVACIONS I FORMULAR UNA EXPLICACIÓ basada en les observacions i connectar l'explicació amb el coneixement científic</p>	<p>ANALITZAR DADES I REFLEXIONAR SOBRE LA INVESTIGACIÓ Habilitats per analitzar les dades i per reflexionar sobre la investigació (Zimmerman, 2005) incloent la reflexió sobre el procés d'investigació i sobre la teoria utilitzada</p>

2.3. Quines dificultats és d'esperar que presentin els estudiants en les activitats d'indagació?

Un cop assentats, en l'apartat anterior, com a passos ineludibles de qualsevol treball d'indagació, la identificació de preguntes científiques investigables, la concreció d'allò ja sabut i del que es vol saber, i l'obtenció i anàlisi de dades per respondre les preguntes plantejades, es fa palesa la problemàtica que pot suposar per a l'alumnat la realització d'aquests treballs d'indagació oberta i autònoma si falta un procés d'aprenentatge previ apropiat (Fernández-López, 2011; Grau, 1994; Menoyo, 2013; Schwab, 1966). La recerca didàctica mostra que els llibres de text i publicacions didàctiques habitualment no reflecteixen habilitats fonamentals d'indagació com ara la formulació d'hipòtesis o el disseny de metodologia per contrastar-les, o que proposen tasques d'indagació simplistes que tenen poc a veure amb l'autèntic raonament científic (Chinn i Malhotra, 2002; i García, 1992). Per tant, sembla evident que les activitats d'ensenyament i aprenentatge, molt recolzades en els llibres de text (Chiappetta, Ganesh, Lee i Phillips, 2006; Stern i Roseman, 2004), arrossegaran les mateixes mancances i això fa suposar que l'alumnat mostrarà dificultats en les habilitats pròpies de la indagació científica, i més si es tracta d'activitats d'indagació oberta i autònoma.

La literatura aporta referents que demostren que les activitats obertes comporten més dificultats als estudiants que les activitats pautades (Crujeiras i Jiménez Aleixandre, 2015) i que les dificultats dels estudiants quan se'ls proposen activitats d'indagació s'incrementen a mesura que augmenta el seu grau d'autonomia i, per tant, són màximes en cas d'abordar treballs d'indagació oberta i autònoma (Grau, 1994; Menoyo, 2013). També s'ha assenyalat que, quan els estudiants participen en activitats d'indagació oberta, se'ls fa difícil relacionar els continguts científics amb els experiments que realitzen (Crujeiras i Jiménez Aleixandre, 2015; Girault, D'Ham, Ney, Sánchez i Wajeman, 2012). Propostes com la Indagació Basada en Models (o MBI), en base a aquestes dificultats, aposten per seguir processos en què la formulació de preguntes investigables per iniciar un treball d'indagació es faci, precisament, a partir de la reflexió a l'entorn de què se sap i què es pretén saber, perquè d'aquesta forma es relacionen les investigacions amb conceptes científics.

Concretant aquestes dificultats en habilitats d'indagació, Oliveras, Márquez i Sanmartí (2013) afirmen que els estudiants tenen més dificultats en la formulació d'una pregunta investigable que

en el disseny d'un experiment per respondre-la, tot i que Zimmerman (2000) va comprovar que els estudiants tendeixen a elaborar dissenys experimentals que proporcionen poca informació i a ser poc sistemàtics en la planificació d'experiments i en la recollida de dades. De fet, són nombrosos els estudis que evidencien que la identificació de preguntes investigables és un procés complex per a l'alumnat, el qual, quan proposa un disseny, no sempre especifica la pregunta que s'ha d'investigar (Krajcik, Blumenfeld, Marx, Bass i Fredricks, 1998), i que mostren que els estudiants tendeixen a confondre preguntes d'investigació amb preguntes d'informació (Domènech, 2014; Kelsey i Steel, 2001), és a dir, preguntes que es poden respondre amb l'obtenció de dades de recerca d'una investigació, i preguntes que es responen consultant fonts bibliogràfiques, coneixement ja establert per múltiples recerques prèvies, i que no permeten iniciar una investigació. Lombard i Schneider (2013) van demostrar que l'elaboració de preguntes investigables és un procés llarg i iteratiu, que va de la vaguetat a la complexitat i l'adequació, i que en aquest procés hi juguen un paper transcendent el diàleg amb el professor i la discussió amb els companys.

En relació a la formulació d'hipòtesis, l'alumnat tendeix a proposar simples prediccions, en lloc de formular les hipòtesis en forma de deducció que orientarien la metodologia d'investigació (Friedler i , 1990) . Aquestes prediccions, a més, no incorporen la necessària referència als models o conceptes científics implicats, com sí que s'aconseguiria si la hipòtesi es formulés utilitzant l'heurístic proposat per Windschitl et al. (2008) *“Si pensem que... llavors quan... observarem que...”*. I aquesta formulació obligaria a relacionar conceptes científics amb la investigació que es pretén realitzar.

En allò que fa referència a les dificultats de l'alumnat respecte al disseny metodològic d'una investigació, els estudiants solen recollir dades insuficients o inadequades i acostumen a proposar conclusions no recolzades en dades (Kanari i Millar; 2004); a més, s'ha comprovat que els estudiants tendeixen a ser poc sistemàtics en la planificació d'experiments i en la recollida de dades (Zimmerman, 2000). Diversos autors han descrit dificultats relacionades amb la identificació de variables i el disseny d'experiments (Brownell, Wenderoth, Theobald, Okoroafor, Koval, Freeman i Crowe, 2014; D'Costa i Schlueter, 2013; Khun i Dean, 2005; Khun, 2007) i dificultats en la falta de comprensió de l'impacte de les variables experimentals en els resultats d'un experiment (Grunwald i Hartman, 2010; Khun i Dean, 2005). En relació a l'estratègia de control de variables

i a possibles intervencions per promocionar aquesta habilitat, hi ha nombrosos referents a la literatura, recollits per Schwichow, Croker, Zimmerman, Höffler i Härtig (2015), que fan evident que la majoria d'estudiants no tenen una bona comprensió d'aquest procediments.

En un estudi recent per identificar estratègies d'ensenyament per promocionar el desenvolupament d'habilitats de disseny experimental, Di Mauro i Furman (2016) van fer un revisió de la literatura per descriure les dificultats en aquest tipus d'investigacions, en els quals una o més hipòtesis són contrastades manipulant una o més variables (Zimmerman, 2007). El recull ofereix dades preocupants, com per exemple els resultats d'un estudi de Chen i Klahr (1999) que demostraven que només el 35% dels estudiants de 4t grau eren capaços de reconèixer errors en dissenys experimentals per abordar qüestions senzilles relacionades amb força i moviment. O la demostració, per part de Kuhn i Dean (2005), que només l'11% dels estudiants de 6è grau d'una mostra eren capaços d'identificar les variables implicades en desastres naturals com un terratrèmol utilitzant programes informàtics que presentaven els efectes de diferents factors en el nivell de risc, malgrat haver dut a terme prèviament activitats d'aprenentatge per desenvolupar aquesta habilitat. I els referents de la literatura consultats per les autores (Di Mauro i Furman, 2016) indicaven que aquestes dificultats persistien en estudiants universitaris de primer curs, que deien considerar difícil el disseny d'experiments, i que entre el 62 i el 80 % d'aquests estudiants mostraven idees poc acurades en relació a la mida de la mostra i a les repliques (Brownell, Wenderoth, Theobald, Okoroafor, Koval, Freeman i Crowe, 2014).

Una altra dificultat descrita a la literatura és la falta d'assumpció que una característica fonamental del pensament científic és que les afirmacions es basen tant en proves que es dedueixen de les dades i que han de ser idònies per argumentar, com en idees o conceptes que són la base dels models teòrics que la ciència va generant (Sanmartí i Oliveras, 2011). En relació a l'argumentació, s'ha comprovat que als estudiants els costa relacionar els resultats amb les conclusions que proposen (Girault, D'Ham, Ney, Sánchez i Wajeman, 2012), o que argumenten en base a dades però sense considerar conceptes i idees de la ciència.

Així doncs, en la realització del treball de recerca de batxillerat, una activitat d'indagació oberta i autònoma amb el grau màxim d'autonomia de l'alumnat i la mínima intervenció del professorat, és d'esperar que els estudiants tinguin dificultats per proposar preguntes investigables i que, al seu

lloc, proposin preguntes d'informació; també ho és que, quan formulin hipòtesis, proposin simples prediccions sense relació amb conceptes científics, i que no orientin la metodologia d'investigació; que els seus dissenys metodològics siguin poc coherents amb les preguntes formulades i els costi identificar-ne les variables; i que en les conclusions no relacionin preguntes, dades i conceptes científics. I possiblement aquestes dificultats siguin menors en les activitats d'indagació d'aula, menys complexes i d'indagació simulada, proposades a partir de la descripció, com a context, d'investigacions ben estructurades i coherents o de resultats d'investigacions.

2.4. Quan i com dur a terme l'avaluació de la competència d'indagació?

Una vegada establert el focus de la recerca d'aquesta tesi en la indagació com a contingut, i definit què s'entén que és un treball d'indagació científica, i també descrites les dificultats en habilitats d'indagació identificades en d'altres estudis, convé ara explicitar quines referències es tenen en compte en relació a les eines per a l'avaluació de la competència d'indagació i als diversos moments ens que cal proposar-la.

El consens que s'evidencia a la literatura en relació a la consideració de la indagació científica com a objecte d'aprenentatge no va acompanyat d'un mateix consens en relació a l'enfocament que convé donar a l'avaluació de la indagació. Per exemple, diversos autors suggereixen que el coneixement procedimental ha de ser avaluat en contextos on el coneixement conceptual no sigui especialment necessari (Friedler i , 1990; Gott, Duggan, Roberts i Hussain, 2015), per tal de focalitzar l'atenció dels estudiants en les habilitats d'indagació, mentre que d'altres autors sostenen que aquests dos coneixements no poden ser avaluats per separat (National Research Council, 2012; OECD, 2013; Zion, Michalsky i Mevarech, 2005) perquè les habilitats d'indagació en combinació amb el coneixement científic han de ser mobilitzats per realitzar indagació científica (Bell, Maeng i Peters, 2010; Kuo, Wu, Jen i Hsu, 2015).

La majoria de propostes d'avaluació d'indagació tenen el seu origen o referent en les propostes presentades en els vuitanta per diversos autors (e.g., Eglén i Kempa, 1974; Ganiel i Hofstein, 1982; Giddings, Hofstein i Lunetta, 1991; Hofstein, 1988; Hofstein, Levi-Nahum i Shore, 2001; Lunetta i , 1979; , 1972), que avaluaven el treball pràctic dels estudiants amb les següents fases d'activitats: (1) planificació i disseny, (2) realització, (3) anàlisi i interpretació, i (4) aplicació. Malgrat que la majoria d'aquestes propostes tenen l'objectiu de desenvolupar maneres alternatives per avaluar els resultats previstos dels programes acadèmics de ciències, incloent la indagació i les activitats pràctiques, el tipus de preguntes que utilitzen poden sovint respondre's sense comprensió de conceptes, lleis o teories associades amb la recerca utilitzada com a context. Així, per exemple, la identificació de la variable independent i de la variable dependent en l'experiment '*Com afecta el creixement de les plantes la concentració de fertilitzant?*' (proposada a Gott i Roberts, 2008),

es pot respondre sense haver d'entendre com actua el fertilitzat i de quina manera afecta el creixement de les plantes. Aquesta pregunta és un exemple del que Schwichow, Zimmerman, Croker i Härtig (2016) denominen '*domain-general*' instruments, que utilitzen contextos de la vida diària per minimitzar l'impacte del coneixement conceptual dels estudiants. Aquests instruments d'avaluació, utilitzats també per autors com Friedler i (1990) o Gott et al. (2015), es basen en la idea d'un ensenyament dels conceptes bàsics de recerca científica sense connexió amb el domini de coneixement conceptual. De fet, Gott i Roberts (2008) remarquen que, quan l'objectiu d'aprenentatge és el component procedimental, el coneixement substantiu no s'hi ha d'incloure, i que els exemples i contextos han de ser molt simples, de manera que '*the substantive ideas required to solve problems are kept to a minimum*'. En canvi, Millar i Driver (1987) han criticat aquesta aproximació separada en l'avaluació i conclouen que el nivell demostrat pels estudiants en les tasques '*domain-general*' no és predictiu de les seves habilitats d'indagació científica, perquè qualsevol tasca amb contingut conceptual està influïda pels coneixements dels estudiants. En un estudi recent, Di Mauro i Furman (2016) mencionen el paper del nivell del pes conceptual quan s'ensenyen habilitats d'indagació com a un dels punts centrals persistents de discussió.

L'origen d'aquesta avaluació de les habilitats d'indagació en contextos de poc pes del coneixement conceptual, utilitzant *domain-general* instruments també es pot atribuir a certs enfocaments de la recerca didàctica sobre el raonament científic que, per definició, implica tant comprensió conceptual com comprensió d'habilitats d'indagació (Zimmerman, 2007). Zimmerman descriu dues aproximacions diferents a l'estudi del raonament científic: una focalitzada en el desenvolupament del coneixement conceptual (*Knowledge about Scientific Concepts*) i l'altra focalitzada en estratègies de raonament i resolució de problemes implicades en activitats com ara la formulació d'hipòtesis i el disseny experimental (*Knowledge and Skills of Scientific Investigation*). En els primers estudis dels anys 70 focalitzats en coneixement procedimental, els investigadors proposaven tasques d'elevat contingut conceptual, però aquesta mena de tasques comportava dificultats per interpretar les habilitats procedimentals dels estudiants. I aquestes dificultats van fer que "*Researchers started using knowledge-lean tasks in an attempt to isolate general skills involved in reasoning ...The goal was to reduce or eliminate the role of domain-specific knowledge in order to focus on domain-general strategies*" (Zimmerman, 2007 p. 8). Encara avui en dia hi

ha una línia de recerca que explora el desenvolupament d'habilitats d'indagació en un domini conceptual específic, per promocionar tant habilitats de pensament científic com coneixement conceptual (p.e. Roesch, Nerb i Riess, 2015), mentre que una altra línia de recerca posa el focus en el desenvolupament de processos i habilitats d'indagació complexos, deixant el contingut conceptual en un pla secundari i rebaixant el pes i la complexitat del nivell cognitiu/conceptual (p.e. Klahr i Nigam, 2004).

Les propostes actuals d'avaluació com les de PISA (OECD, 2013) o del TODIS, segons les descriuen Zion et al. (2005), poden ser classificades com a instruments 'domain specific' perquè utilitzen ítems amb contingut científic, i els dos tipus de coneixement, conceptual i procedimental, hi són necessaris per resoldre les tasques proposades (Schwichow et al., 2016). Per tant, sembla que actualment hi ha consens en la visió que l'avaluació de la indagació ha de tenir en compte tant el coneixement procedimental com el coneixement conceptual. També en el camp de la recerca didàctica s'han proposat marcs de referència per analitzar el raonament científic de manera integrada, considerant tant conceptes científics com estratègies procedimentals (Klahr, 2000). El National Research Council (2012) argumenta que la competència d'indagació requereix habilitats que integren habilitats d'indagació i coneixement científic i, en publicacions més recents, insisteix en el fet que la comprensió de conceptes i les habilitats dels estudiants s'han d'abordar conjuntament:

In the future, science assessments will not assess students' understandings of core ideas separately from their abilities to use the practices of science. These two dimensions of learning will be assessed together showing students not only "know" science concepts, but also that students can use their understanding to investigate the natural world through the practices of scientific inquiry. (NRC , 2012, p.48)

Per tant, si es considera que cal avaluar conjuntament coneixement conceptual i coneixement procedimental, l'avaluació de la indagació s'hauria d'abordar en moments diferents, en tots els diversos processos d'avaluació: no només en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma, com el treball de recerca de batxillerat, sinó de manera habitual en les activitats d'aula, i també en processos d'avaluació sumativa com les proves d'accés a la universitat; i no només s'ha d'avaluar la indagació en un tema o unitat didàctica dedicat als mètodes de la ciència, sinó en

tots els temes o unitats didàctiques, perquè en tots ells els estudiants han de mostrar no només coneixement dels conceptes de la ciència, sinó també de les pràctiques de la indagació científica per obtenir aquest coneixement. Ministrell (2000) remarca aquest enfocament i insisteix que l'avaluació de les habilitats d'indagació ha de ser tan explícita com l'avaluació dels conceptes de la ciència, i per això, en aquesta recerca de tesi, partint d'aquesta la idea, es considera que és d'esperar que els estudiants, en tots els blocs de contingut curricular, i de manera habitual en les activitats d'aula, utilitzin habilitats d'indagació i coneixement conceptual per formular preguntes i proposar explicacions en relació a les dades i evidències.

Ara bé, a més de considerar que cal avaluar conjuntament coneixement conceptual i coneixement procedimental, i que per fer-ho l'avaluació de la indagació ha de ser present en els diferents moments en els que es s'aborda l'avaluació, cal preguntar-se quines eines poden ser útils per abordar l'avaluació de la indagació i poden ser, a més, adequades per a la recerca didàctica amb l'objectiu d'identificar les dificultats dels estudiants en relació a la competència. Hi ha tota una varietat de mètodes i eines per obtenir dades per avaluar les habilitats dels estudiants, com ara entrevistes, tasques obertes, qüestionaris de resposta oberta, tests d'opció múltiple, enregistraments amb vídeo, anàlisi de portafolis, etc. De fet, per capturar de manera autèntica les habilitats d'indagació dels estudiants, sembla que allò més indicat seria utilitzar treballs pràctics i per això els investigadors han dissenyat avaluacions d'execució (Crujeiras i Jiménez Aleixandre, 2015; Pine, Aschbacher, Roth, Jones, McPhee, Martin, Phelps, Kyle i Foley, 2006; Zachos, Hick, Doane i Sargent, 2000) en què s'ofereix equipament als estudiants, i s'estimen diverses habilitats d'indagació basant-se en les investigacions que realitzen amb aquest equipament. Però la recerca ha mostrat que la fiabilitat i la validesa d'aquesta mena d'avaluacions tendeix a ser baixa (Ruiz-Primo i Shavelson, 1996; Ofqual, 2014) i, a més, suposen complicacions derivades de les instal·lacions necessàries i del temps que requereixen. Per aquest motiu, quan es vol avaluar la competència d'indagació de grups nombrosos d'estudiants, allò més habitual és la utilització de les proves tradicionals de paper i llapis, en què els típics ítems d'indagació parteixen de la descripció d'un escenari o context d'investigació, seguit de diverses qüestions relacionades amb certs aspectes de les habilitats d'indagació (D'Costa, A. i Schlueter, 2013; Lorch, Lorch, Calderhead, Dunlap, Hodell i Freer, 2010; Nowak et al., 2013; Songer, Lee i McDonald, 2003) que han demostrat una fiabilitat i objectivitat elevades (Wenning, 2007), tot i les limitacions derivades

de les respostes tancades i del fet que només permeten demostrar el domini d'algunes habilitats. Això ha conduït la recerca didàctica a fer propostes que utilitzen tecnologies avançades per desenvolupar un tipus d'avaluació basada en simulacions (Kuo, Wu, Jen i Hsu, 2015; Wu, Wu i Hsu, 2014) les quals ofereixen una visió més autèntica de la indagació, similar a la que impliquen les avaluacions que utilitzen treballs pràctics, sense les complicacions que aquests suposen, però que demanen disposar de tecnologia informàtica.

2.5. Què són les rúbriques i quin interès té el seu ús?

La utilització, com a eines de recollida de dades, de produccions dels estudiants com qüestionaris de resposta oberta o memòries de treballs d'indagació autònoma, va implicar la necessitat de buscar eines adients per a l'anàlisi d'aquestes dades.

Un dels referents que es van considerar, i que s'ha pres com a referent per a aquest tesi, va ser el PTAI o Practical Test Assessment Inventory, proposat fa anys per , Nussinovitz i Friedler (1982) amb la finalitat de valorar la capacitat dels alumnes en la comprensió i aplicació d'activitats pràctiques. El PTAI és una rúbrica jerarquitzada que consta de vint-i-una categories, les quals aborden tant aspectes de comprensió dels processos d'indagació -com ara la identificació de problemes investigables i la capacitat de formular hipòtesis o d'identificar variables d'un disseny experimental-, com aspectes més procedimentals de determinació d'habilitats molt específiques, com per exemple la preparació de dissolucions o l'ús del microscopi. És en aquells aspectes relacionats amb l'avaluació d'habilitats d'indagació que s'ha considerat aquesta eina com a referent per a la recerca d'aquesta tesi, per l'ús que fa de les anomenades rúbriques jerarquitzades.

Estudis recents per avaluar habilitats d'indagació utilitzen també rúbriques jerarquitzades en relació a diverses habilitats d'indagació, com ara el realitzat en el marc dels *German and Swiss studies on models of Competence Development*. En aquest estudi, Möller i Mayer (2010) descriuen progressions d'aprenentatge en habilitats d'indagació en biologia i es refereixen al problema identificat per recerques recents, que suggereixen que una proporció significativa dels estudiants preuniversitaris no mostren un bon domini de les habilitats d'indagació; per fer-hi front, aposten per la utilització de rúbriques per identificar els problemes dels estudiants.

Així doncs, què és una rúbrica i quin interès té el seu ús? Una rúbrica és un instrument d'avaluació formativa o de codificació que sovint es presenta en forma de taula de doble entrada. Té com a principal finalitat compartir els criteris de realització de les tasques d'aprenentatge i d'avaluació perquè, com a guia o full de ruta de les tasques, mostra les expectatives en relació a una activitat organitzades en diversos nivells d'acompliment, des del menys acceptable fins a la resolució excel·lent (Alsina Masmitjà, 2013). Cano (2015) descriu una rúbrica com una matriu de valoració que incorpora en un eix els criteris d'execució d'una tasca o categories i, en l'altre eix, una escala

de codificació o avaluació dels resultats. En ella, les caselles interiors estan plenes de text per descriure quin tipus d'execució seria mereixedor d'aquest grau de l'escala. Es presenti o no en forma de matriu, una rúbrica és un registre avaluatiu amb diversos criteris o dimensions per avaluar, seguint uns nivells o gradacions de qualitat i tipificant els estàndards d'assoliment.

Per tant, allò que caracteritza una rúbrica és el fet que conté com a element definidor la concreció dels diversos nivells de qualitat o descriptors, i per això es parla de rúbriques jerarquitzaes. L'aplicació de la rúbrica permet millorar els descriptors i refinar-los de manera inductiva. Aquesta característica de concreció de nivells de qualitat en la rúbrica és la que ajuda a superar la imprecisió i subjectivitat en l'anàlisi de les produccions i tasques de l'alumnat, perquè el fet d'especificar un conjunt de criteris concrets i graduats possibilita una considerable precisió i objectivitat. (Blanco, Morales i Torre, 2008). Reeves i Stanford (2009) expliquen que les rúbriques jerarquitzaes són considerades instruments d'avaluació refinats, perquè una rúbrica *"is a set of criteria that illustrate the varying degrees of levels of development in any activity"* (p.24). I, en la mateixa línia, Möller i Mayer remarquen que és la definició d'una jerarquia de nivells d'habilitats la que fa que una rúbrica sigui una eina d'anàlisi acurada quan es proposen, en el seu cas, analitzar la competència d'indagació dels estudiants.

Malgrat que avui dia s'associen les rúbriques amb el món de l'educació, cal tenir present que van ser creades els anys setanta del segle passat, als Estats Units, per unificar criteris d'actuació dels jutges, i no va ser fins als noranta que van entrar en el camp de l'educació. Un dels primers autors a utilitzar el terme *rúbrica* en el camp de l'educació va ser Goodrich (2000), tot i que ja se'n troben referències en treballs anteriors, com els de , Nussinovitz i Friedler (1982). I, posteriorment, l'eina i el seu nom de rúbrica s'ha generalitzat per a l'avaluació de competències. Cano (2015) explica que probablement l'ús d'aquest terme, que identifiquem inicialment com a signar o subscriure, deriva d'una de les seves accepcions en anglès que, per exemple, el Collins Dictionary defineix com a *"instructions to a candidate at the head of the examination paper"*. L'autora revisa referents de la literatura, sospesa avantatges i inconvenients de l'ús de les rúbriques, i comenta que no es pot esperar que resolguin totes les dificultats associades al processos d'avaluació, ni que assegurin l'objectivitat i el rigor de l'avaluació d'aprenentatges que, per la seva naturalesa, són més qualitatius i, per tant, menys objectivables. Per exemple, Moskal i Leydens (2000) es refereixen a

les dificultats que comporta fer una rúbrica i apunten que els descriptors han de ser, com indica el seu nom, descriptius i no pas valoratius, perquè només així es redueix el marge de subjectivitat dels avaluadors, que és un dels avantatges que s'espera de l'ús de les rúbriques. I d'aquest procés d'elaboració d'una rúbrica se'n deriva que els descriptors de rúbriques desenvolupades per diversos autors puguin ser considerablement diferents: aquestes diferències deriven de la naturalesa de les rúbriques i evidencien el seu interès de cara a fer explícits els criteris quan s'avalua o quan, en recerca didàctica, es codifiquen les produccions de l'alumnat. I les diferències també mostren que la concreció dels nivells de qualitat o descriptors és convenient que es dugui a terme seguint un procés inductiu, a partir de l'anàlisi de les produccions de l'alumnat, i no només de forma deductiva, partint d'allò que s'espera que hagin après.

En el capítol d'avantatges de l'ús de les rúbriques, Torres y Perera (2010) remarquen que les rúbriques són eines útils en l'avaluació formativa com a elements de reflexió, perquè fan que l'alumnat les utilitzi com a guia per identificar les parts en què s'estructura una activitat i perquè li permeten de prendre consciència de quines són les seves dificultats. D'aquí el seu interès com a eines, no només per avaluar productes, sinó també per guiar processos (Pickett i Dodge, 2007; Quintana i Higuera, 2009). A grans trets, les rúbriques en l'ensenyament s'han utilitzat amb diferents finalitats, com ara compartir criteris d'avaluació entre el professorat, i també del professorat amb l'alumnat o els pares; també s'han emprat com a eines d'autoavaluació i d'avaluació formativa, i també en processos de coavaluació (Panadero, 2012; Reddy i Andrade, 2010), i són considerades una bona eina per diversos motius (Blanco, Morales i Torre, 2008; Goodrich, 2000; Panadero, 2012; Pozo, 2012; Sanmartí, 2007):

- > Ajuden a establir de manera específica i concreta els criteris d'avaluació
- > Promouen l'objectivitat de l'avaluació
- > Permeten descriure qualitativament els diferents nivells d'assoliment dels estudiants
- > Ajuden a focalitzar l'aprenentatge per aconseguir uns determinats objectius
- > Fomenten l'autoregulació dels estudiants perquè els ajuden a desenvolupar estratègies de revisió de les seves tasques sobre la base d'uns criteris clars

Convencionalment es diferencien dos tipus de rúbriques, les holístiques i les analítiques. Les denominades rúbriques holístiques pretenen fer una valoració general, de conjunt, d'un treball o

tasca, però sense especificar els diversos aspectes o components d'aquest treball o tasca. En canvi les rúbriques analítiques identifiquen els processos o components del treball o tasca per avaluar-los de manera específica, per separat (Blanco, Morales i Torre, 2008; Mertler, 2001; Pozo, 2012). Per tant, aquestes rúbriques analítiques donen d'entrada diverses qualificacions o notes parcials, la suma de les quals aporta una qualificació o nota global a nivell multidimensional en relació amb la tasca avaluada o analitzada (Mertler, 2001). La seva confecció és laboriosa, però tenen l'avantatge que donen informació en relació a cada un dels processos parcials o habilitats de la tasca. En aquesta tesi s'ha optat per les rúbriques analítiques perquè es pretén analitzar els diferents processos o habilitats de les activitats d'indagació, avaluant específicament aspectes com ara la identificació de preguntes investigables, la formulació d'hipòtesis coherents amb aquestes preguntes, el disseny de metodologia per abordar la confirmació o refutació d'aquestes hipòtesis, etc., i perquè es volen establir perfils diagnòstics, punts forts i dèbils, capacitats i dificultats en relació amb aquestes diverses habilitats.

Ara bé, en la línia apuntada per Moskal i Leydens (2000), convé tenir presents les dificultats que comporta desenvolupar una rúbrica. Jonsson i Svingby (2007) van dur a terme l'anàlisi de 75 estudis publicats en articles i relatius a totes les etapes educatives, i van establir que la fiabilitat intra-qualificadors (*intracoder reliability*) i la fiabilitat entre qualificadors (*inter-rater reliability*) són elevades, tot i que depenen del nivell de descripció de la rúbrica. També van analitzar la validesa del contingut o *content validity*, és a dir, el grau en què la rúbrica és representativa i rellevant del coneixement i/o de les habilitats que es desitja avaluar. Ho van fer així perquè és justament la despreocupació per aquests dos paràmetres, validesa i fiabilitat, una de les crítiques que s'han plantejar a l'ús de les rúbriques (Reddy i Andrade, 2010). Per això, aquests autors suggereixen la conveniència de realitzar investigacions amb metodologies rigoroses de determinació de la fiabilitat i la validesa quan es desenvolupen rúbriques.

Així doncs, en aquesta tesi s'ha optat per l'ús de rúbriques jerarquitzaes analítiques per abordar l'avaluació de la competència d'indagació dels estudiants, considerant com a categories de la rúbrica les diverses habilitats que caracteritzen aquesta competència, i s'ha tingut en compte la importància de determinar-ne la validesa i la fiabilitat.

2.6. Quines característiques ha de tenir l'avaluació de la indagació?

Partint de la perspectiva que l'avaluació de la indagació ha de considerar tant el coneixement procedimental com el coneixement conceptual, passem a descriure tot seguit les habilitats relacionades amb la indagació que entenem que haurien de ser avaluades, i les altres característiques que convé tenir en compte en l'avaluació.

Per una banda, considerem que els qüestionaris utilitzats per obtenir dades per avaluar la competència d'indagació dels estudiants haurien de ser dissenyats de manera que contemplin les diverses habilitats per dissenyar indagació científica (OECD, 2013), com ara identificar preguntes investigables, proposar maneres d'explorar aquestes preguntes, identificar variables, considerar la importància de rèpliques i controls, gestionar i tractar informació, interpretar dades, formular hipòtesis etc. (NRC, 2012; Osborne i Dillon, 2008). El PISA 2015 Framework considera habilitats d'indagació tals com identificar les preguntes explorades en una investigació, distingir qüestions investigables de qüestions no investigables, proposar metodologies per explorar una qüestió donada, avaluar maneres d'explorar qüestions científicament, i descriure maneres utilitzades pels científics per assegurar la fiabilitat, l'objectivitat i la generalibilitat de les explicacions. La major part d'aquestes habilitats també han estat descrites per altres autors (Ben David i Zohar, 2009; Di Mauro i Furman, 2016; Duschl i Bybee, 2014; Jürgen, Lederman i Groß, 2016; Minner, Levy i Century, 2010; Möller et al., 2009; Nowak et al., 2013; Wilke i Straits, 2005) i són les que s'han tingut en compte en l'aproximació deductiva per desenvolupar una eina d'anàlisi de dades, en relació amb les característiques de les qüestions dels exàmens de PAU.

Per altra banda, una de les característiques formals de l'avaluació més estudiades es refereix als efectes derivats de si les preguntes plantejades en una prova són obertes o tancades (Bybee, McCrae i Laurie, 2009). Mentre que les preguntes obertes demanen respostes escrites relativament llargues, i demanen sovint explicacions i justificacions, les preguntes tancades poden ser contestades amb una única paraula o amb una frase curta. Aquesta és una de les característiques que és important tenir en compte perquè, com expliquen aquests autors, les preguntes obertes impliquen una codificació més laboriosa i lenta, i implícitament comporten el conflicte de la fia-

bilitat de l'avaluador. En contrast, les preguntes de resposta tancada redueixen les dificultats de codificació. Però, de totes maneres, les preguntes obertes proporcionen una avaluació més acurada de les habilitats cognitives dels estudiants i incrementen la validesa dels resultats, mentre que les preguntes tancades redueixen la validesa i l'autenticitat de l'avaluació.

I encara una altra consideració en relació amb les característiques de l'avaluació: per a les avaluacions que tenen l'objectiu de seleccionar en relació a unes normes de referència (*selection-based norm-referenced assessments*) com són les proves d'accés a la universitat, també s'ha de considerar el criteri de discriminació. És a dir, els seus resultats haurien de proporcionar informació que permeti discriminar els rendiments dels estudiants, amb la finalitat d'oferir una indicació fiable dels seus coneixements, habilitats i comprensió (Ofqual, 2014). Per analitzar aquesta capacitat de discriminar, s'ha de tenir en compte el nivell de dificultat de les preguntes, que s'estima sobre la base de la proporció d'estudiants que les responen correctament (OECD, 2013). Per exemple, una revisió d' Ofqual (2014) conclou que una avaluació *'does not discriminate effectively between students' performances'* because *'a significant proportion of students have achieved marks in a fairly compressed section of the upper end of the mark range'* (p. 22). La mateixa idea de la capacitat de discriminació que les preguntes d'aquests exàmens haurien de tenir és expressada per Bybee et al.(2009): *'It is important, however, to analyse the performance of each sub-question separately when the item is pilot-tested to check that each sub-question exhibits sound psychometric properties, including good discrimination'*. (p. 87).

SECCIÓ III. METODOLOGIES

71

- 3.1.** Metodologia per identificar dificultats en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma
- 3.2.** Metodologia per identificar dificultats en habilitats d'indagació en les activitats d'aula
- 3.3.** Metodologia d'anàlisi de característiques i resultats de l'avaluació científica en les PAU

Una vegada concretats els objectius i remarcades les consideracions teòriques que assenten les bases del conjunt de la recerca, tot seguit es passa a explicitar els mètodes utilitzats. La recerca d'aquesta tesi ha utilitzat metodologies diferents per a cada un dels objectius.

- > En la identificació de les dificultats dels batxillers en relació a la indagació, tant en la realització de treballs de recerca oberta i autònoma, com en activitats d'aula, es van recollir dades de mostres d'alumnat reduïdes, habitualment corresponents a un grup classe, i es van analitzar amb les eines dissenyades durant la recerca de la tesi. En el disseny d'eines d'avaluació es va partir de referents bibliogràfics i de l'aproximació inductiva, considerant les produccions dels estudiants.
- > En l'anàlisi de les característiques de les proves de selectivitat, la mostra va estar constituïda per les qüestions proposades en els exàmens de biologia de Catalunya durant cinc anys, i per dur a terme l'anàlisi es va emprar una taula de codificació pròpia, derivada fonamentalment de les orientacions del Framework 2015 PISA. I en l'anàlisi dels resultats dels estudiants en aquestes proves, es van recollir les qualificacions obtingudes per una mostra àmplia d'estudiants i es va emprar metodologia estadística proposada pel SEA (Servei d'Estadística Aplicada) de la UAB.

3.1. Metodologia per identificar dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma (Objectiu 1)

En relació amb aquest primer objectiu, es pretenia respondre dues preguntes, una més genèrica, en relació amb la diversitat d'habilitats que els estudiants haurien de mobilitzar per realitzar un treball d'indagació oberta i autònoma, i l'altra més concreta, relativa a l'habilitat que cal aplicar en primera instància, el plantejament de preguntes investigables:

Quines dificultats mostren els estudiants en la realització de treballs d'indagació?

Quines dificultats mostren els estudiants en la formulació de preguntes investigables?

Per respondre aquestes preguntes es va considerar la necessitat de disposar d'un instrument de codificació per fer possible l'anàlisi qualitativa i interpretativa però estandarditzada de les produccions dels estudiants. Per aquest motiu, es va desenvolupar l'eina d'avaluació que es va denominar Nou PTAI (NPTAI) (Taula 8) en reconeixement de la que es va prendre com a referent, el PTAI proposat els anys vuitanta per Nussinovitz i Friedler (1982). El procés de desenvolupament de l'eina NPTAI i la determinació de la seva validesa i fiabilitat s'expliquen tot seguit.

L'eina NPTAI és una rúbrica que conté nou categories¹ que corresponen als processos que cal abordar per dur a terme treballs d'indagació. Per desenvolupar-la, es va partir de referents bibliogràfics diversos que descriuen els processos característics d'aquests treballs (Ben David i Zohar, 2009; Bogner, Boudalis i Sotiriou, 2012; Caamaño, 2012; Duschl i Bybee, 2014; Möller i Mayer, 2010; Nowak et al., 2013; National Research Council, 2012; Windschitl et al., 2008) com els mostrats a la Taula 2 -seguint un procés deductiu-; i també es va partir del treball de camp d'anàlisi de memòries de treballs de recerca de batxillers de l'Institut La Garrotxa -seguint un procés inductiu-. Així es van establir les següents categories per constituir la rúbrica NPTAI d'avaluació de treballs d'indagació oberta i autònoma:

¹ CATEGORIA: Nom de cada un dels criteris d'execució d'una tasca considerats en una rúbrica. Per a cada categoria de la rúbrica es concreta una escala de nivells de codificació o avaluació dels resultats, per descriure quin tipus d'execució seria mereixedor d'aquest grau. Aquests nivells de codificació s'anomenen *DESCRIPTORS*

- > Identificació de preguntes investigables
- > Formulació d'hipòtesis
- > Referència a conceptes en els quals es fonamenta la recerca
- > Cerca de referents teòrics i precedents i elaboració de la informació
- > Identificació de variables,
- > Planificació de la investigació
- > Recollida de dades
- > Tractament de dades
- > Anàlisi de dades i obtenció de conclusions

Una primera versió d'aquesta rúbrica NPTAI va ser utilitzada en un estudi publicat a la revista Eureka l'any 2015 (Ferrés, Marbà i Sanmartí, 2015), en el qual es comparaven les dues eines, PTAI i NPTAI (Taula 3).

Tant l'aplicació de la rúbrica NPTAI a l'avaluació de memòries de treballs de recerca per diversos experts, com la consideració de les característiques dels treballs d'indagació d'acord amb els referents de la literatura, van aconsellar remarcar les '*categories permanents*', que cal considerar en tots els casos, perquè determinen les característiques pròpies d'un treball d'indagació científica: identificació de preguntes investigables, referència a conceptes en els quals es fonamenta la recerca, cerca de referents teòrics i precedents, i elaboració de la informació, recollida de dades, tractament de dades, anàlisi de dades i obtenció de conclusions argumentades. La resta de categories es consideren *categories circumstancials*, perquè només són aplicables en funció de les característiques del treball avaluat (Taula 4); per exemple, només en els treballs d'investigació experimental, que impliquen la formulació d'hipòtesis i la identificació de variables, cal tenir en compte aquestes dues categories del NPTAI; o un altre exemple: la categoria '*recollida de dades*' pot ser obviada en aquells treballs de recerca que utilitzen dades ja existents, obtingudes de fonts diverses.

Taula 3. Comparació de categories de les eines PTAI i NPTAI (Ferrés, Marbà i Sanmartí, 2015, Taula 1)

<p>PTAI: Categorías (, Nussinovitz i Friedler, 1982) Diseñado para la evaluación de pruebas de laboratorio destinadas a determinar la habilidad de investigación de los estudiantes en exámenes de acceso a la universidad</p>	<p>NPTAI: Categorías Diseñado con la finalidad de evaluar los trabajos de indagación autónoma realizados por los bachilleres</p>
<p>1. Formulación de problemas</p>	<p>1. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS o FORMULACIÓN DE PREGUNTAS</p>
<p>2. Formulación de hipótesis</p>	<p>2. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS <i>Las categorías 1 y 2 coinciden</i></p>
<p>3. Identificación de la variable dependiente 4. Identificación de la variable independiente</p>	<p>3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES <i>Las categorías 3 y 4 se han unificado en una sola categoría</i></p>
<p>5. Planificación del grupo control 6. Adecuación de la experiencia al problema formulado 7. Planificación completa de la experimentación 8. Comprensión de la función del control en la experiencia</p>	<p>4. PLANIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN <i>Las categorías 5, 6, 7 y 8 del PTAI se han unificado en la categoría 4 del NPTAI, formando parte de la planificación de la investigación, para evaluar de manera global la planificación de la investigación</i></p>
<p>9. Informe de los resultados 10. Preparación de disoluciones 11. Realización de observaciones con el microscopio 12. Descripción de observaciones <i>No se han considerado estas categorías 10, 11, 12 y 15, porque los trabajos de indagación son muy diversos y no tienen por qué incluirlas</i> 13. Construcción de gráficos 14. Confección de tablas</p>	<p>5. RECOGIDA Y PROCESAMIENTO DE DATOS <i>La categoría 9 del PTAI implica el trabajo previo de obtención de datos y su procesamiento posterior. Consideramos más adecuado concretar si se han obtenido datos y se han procesado adecuadamente. Se ha considerado más indicada una formulación más genérica, en lugar de la distinción de las categorías 13 y 14 del PTAI.</i></p>
<p>15. Interpretación de los datos de una observación 16. Extracción de conclusiones 17. Explicación de los resultados de una investigación 18. Análisis crítico de los resultados 19. Aplicación de conocimientos <i>No se ha considerado esta categoría en el NPTAI. En un posterior refinamiento del instrumento nos planteamos incorporar una categoría específica para evaluar la referencia a conceptos y modelos científicos</i> 20. Comprensión e interpretación de datos de un gráfico</p>	<p>6. ANÁLISIS DE DATOS Y OBTENCIÓN DE CONCLUSIONES ARGUMENTADAS <i>Los trabajos de indagación no siempre separan los procesos de explicación de resultados, comprensión e interpretación de los datos de un gráfico, análisis crítico de los resultados y extracción de conclusiones que especifican las categorías 16, 17, 18 y 20 del PTAI.</i></p>
<p>21. Propuesta de ideas para continuar la investigación <i>Los trabajos de investigación de los bachilleres no siempre incluyen este aspecto y por ello el NPTAI no incluye esta categoría</i></p>	<p>7. METARREFLEXIÓN <i>Esta categoría, incorporada al NPTAI, tiene utilidad si, al finalizar su trabajo de indagación autónoma, se propone a los estudiantes que expongan cómo explicarían las características de un proceso de indagación científica, con el objetivo de evaluar su comprensión de los métodos de la ciencia.</i></p>

Taula 4. Canvis de categories del NPTAI indicant les categories permanents

7 CATEGORIES de l'eina NPTAI (Ferrés, Marbà i Sanmartí, 2015)	9 CATEGORIES de l'eina NPTAI refinada de la Taula 8
Identificació de problemes o formulació de preguntes Formulació d'hipòtesis Identificació de variables Planificació de la investigació Recollida i processament de dades Anàlisi de dades i obtenció de conclusions argumentades Metareflexió	Identificació de problemes o formulació de preguntes Formulació d'hipòtesis Referència a conceptes en els quals es fonamenta la recerca Cerca de referents teòrics i de precedents i elaboració de la informació Identificació de variables Disseny d'un pla de treball i adopció de metodologia Recollida de dades Tractament de dades Anàlisi de dades i obtenció de conclusions argumentades

Un cop establertes les categories de la rúbrica NPTAI, es va procedir a la redacció de descriptors jerarquitats per a cada una d'elles, partint de l'anàlisi de memòries de treballs de recerca dels estudiants –aproximació inductiva- i considerant referents de la literatura –aproximació deductiva-. La rúbrica jerarquizada de l'instrument PTAI i la rúbrica proposada per Möller i Mayer (Bernholt et al., 2010) van ser els referents fonamentals.

Per exemple, la Taula 5 compara les categories d'aquestes tres rúbriques, el PTAI (Tamir, Nussinovitz i Friedler, 1982), la denominada *Four sub skills of procedural knowledge in scientific inquiry* de Möller i Mayer (2010), i la rúbrica utilitzada en aquesta tesi (Ferrés, Marbà i Sanmartí, 2015). També mostra els descriptors d'una de les categories, la corresponent a *Formulació d'hipòtesis*, en les tres rúbriques. Es pot observar que aquests descriptors no són valoratius en cap de les tres rúbriques, sinó que expliquen de manera clara i concisa els diversos nivells o gradacions de qualitat de l'habilitat. Però també és remarcable que, tot i referir-se a la mateixa habilitat d'indagació - la formulació d'hipòtesis- aquests descriptors són considerablement diferents. Aquestes diferències deriven de la naturalesa de les rúbriques i evidencien el seu interès de cara a fer explícits els criteris que s'aplicaran en l'avaluació. Per exemple, Möller i Mayer (2010) descriuen en la jerarquia inferior (1) que l'estudiant '*genera hipòtesis simples sense una explicació*', però l'anàlisi de memòries de treballs de recerca d'estudiants de batxillerat va evidenciar que hi ha estudiants

que ni tan sols plantegen hipòtesis o les que plantegen no tenen sentit, i així es va concretar en els descriptors del NPTAI, coincidint amb el nivell inferior del PTAI, *'hipòtesi no formulada'*. I un altre exemple: en el descriptor de jerarquia màxima de la rúbrica de Möller i Mayer (2010), que implica el domini dels anteriors, es concreta: *'genera hipòtesis basades en coneixements de conceptes biològics (nivell 3), que són generalitzables i/o quantificables (nivell 4), i discuteix hipòtesis alternatives (nivell 5)*. En canvi, en el PTAI proposat per Tamir, Nussinovitz i Friedler (1982) es descriu com a nivell jeràrquic màxim: *'la hipòtesi encaixa amb el problema i es defineix en forma de deducció'*; en la rúbrica NPTAI el nivell jeràrquic màxim es planteja com en el PTAI, *'en forma de deducció'*; però a més, i en la mateixa línia que en la rúbrica de Möller i Mayer que precisa que a hipòtesi estigui basada en conceptes biològics, en la rúbrica NPTAI s'ha especificat *'fent referència al model'* i utilitzant l'estructura: *"Si pensem que... llavors si... observarem que..."* d'acord amb l'heurístic proposat per Windschitl, Thompson i Braaten (2008). S'ha descrit així perquè, tal i com exposaven Friedler i Tamir (1986), la formulació d'hipòtesis en forma de deducció pot facilitar la identificació de variables i les propostes de metodologia; i la referència al model assegura que les preguntes que estimulen la indagació siguin preguntes científiques investigables. I el NPTAI, com el PTAI, precisa també la necessitat que la hipòtesi formulada sigui coherent amb el problema que s'investiga.

Taula 5. Comparació de categories del NPTAI, amb les del PTAI (Tamir, Nussinovitz i Friedler, 1982) i amb les de l'eina d'anàlisi de Möller i Mayer (2010) i dels descriptors d'una d'elles

<p>PTAI: 21 Categories (Tamir, Nussinovitz i Friedler, 1982) <i>Dissenyat per a l'avaluació de proves de laboratori destinades a determinar l'habilitat d'investigació dels estudiants en proves d'accés a la universitat</i></p>	<p>Four sub skills of procedural knowledge in scientific inquiry (Möller i Mayer, 2010) <i>Dissenyades per descriure i avaluar la competència d'indagació en el marc de canvis curriculars</i></p>	<p>NPTAI: 9 Categories (Ferrés, Marbà i Sanmartí, 2015) <i>Dissenyat amb la finalitat d'avaluar treballs d'indagació oberta i autònoma de batxillers</i></p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Formulació de problemes 2. Formulació d'hipòtesis <ul style="list-style-type: none"> 1 Hipòtesi no formulada 2 Suposició en lloc d'hipòtesi 3 Problema en lloc d'hipòtesi 4 La hipòtesi no encaixa amb el problema o amb la situació 5 La formulació conté errors objectius o de lògica 6 Formulació retorçada o ambigua 7 La hipòtesi encaixa amb el problema i es formulada : "Si... llavors..." 3. Identificació de la variable depenent 4. Identificació de la variable independent 5. Planificació del grup control 6. Adequació de l'experiència al problema formulat 7. Planificació completa de l'experimentació 8. Comprensió de la funció del control en l'experiència 9. Informe dels resultats 10. Preparació de dissolucions 11. Realització d'observacions amb el microscopi 12. Descripció d'observacions 13. Construcció de gràfics 14. Confeció de taules 15. Interpretació de les dades d'una observació 16. Extracció de conclusions 17. Explicació dels resultats d'una investigació 18. Anàlisi crítica dels resultats 19. Aplicació de coneixements 20. Comprensió i interpretació de dades d'un gràfic 21. Proposta d'idees per continuar la investigació 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FORMULAR PREGUNTES 2. GENERAR HIPÒTESIS <ul style="list-style-type: none"> 1 Genera simples hipòtesis testables sense explicacions 2 Genera hipòtesis basades en analogies de la vida diària 3 Genera hipòtesis basades en coneixements de conceptes biològics 4 Genera hipòtesis que són generalitzables i/o quantificables 5 Discuteix hipòtesis alternatives 3. PLANIFICAR INVESTIGACIONS 4. INTERPRETAR DADES 	<ol style="list-style-type: none"> 1. IDENTIFICACIÓ DE PROBLEMES o FORMULACIÓ DE PREGUNTES 2. FORMULACIÓ D'HIPÒTESIS <ul style="list-style-type: none"> 0 No planteja hipòtesis o planteja hipòtesis sense sentit 1 Planteja hipòtesis sense relació amb el problema o els objectius 2 Formula hipòtesis ambigües o amb errors o mal formulades, o només emet prediccions 3 Planteja hipòtesis en forma de deducció i que encaixen amb els problemes de la investigació 4 Planteja hipòtesis que encaixen amb el problema de la investigació i les descriu en forma de deducció i amb referència al model: "Si pensem que... llavors si... observarem que..." 3. REFERÈNCIA A CONCEPTES CIENTÍFICS 4. CERCA DE REFERENTS I PRECEDENTS I ELABORACIÓ DE LA INFORMACIÓ 5. IDENTIFICACIÓ DE VARIABLES 6. PLANIFICACIÓ DE LA INVESTIGACIÓ 7. RECOLLIDA I PROCESSAMENT DE DADES 8. ANÀLISI DE DADES 9. OBTENCIÓ DE CONCLUSIONS ARGUMENTADES

Seguint un procés similar, es van establir cinc descriptors jerarquititzats per a cada una de les categories, tot i que la versió inicial de la rúbrica tenia, en algunes de les categories, menys descriptors. Per exemple, la Taula 6 compara els descriptors de la categoria *'identificació de problemes investigables'* de la primera versió de la rúbrica NPTAI (Ferrés, Marbà i Sanmartí, 2015), amb els descriptors de la versió final, mostrada a la Taula 8. S'hi pot observar la major precisió en la gradació en la rúbrica definitiva: el descriptor de menor nivell, *'No identifica problemes o no planteja problemes o planteja problemes inabordables'*, de la versió publicada es va subdividir en dos: *'No identifica problemes o no planteja preguntes investigables, sinó preguntes d'informació'* en el nivell més baix i, en un nivell per sobre d'aquest, *'Planteja problemes inabordables'*. Es va concretar així perquè l'anàlisi de treballs de recerca va mostrar que hi ha estudiants que confonen problemes d'indagació amb problemes d'informació (per exemple, *Què són les úlceres per decúbit?*) i d'altres que ja són capaços de formular preguntes investigables, encara que de manera que són inabordables i que precisen ser reformulades (per exemple, *Es poden curar sempre, en tots els casos, les úlceres per decúbit seguint un tractament específic?*). En els descriptors de màxim nivell es van diferenciar dos nivells de bona qualitat, considerant només en el nivell màxim aquelles preguntes que en la seva formulació suggerien aspectes metodològics per abordar la resposta a la pregunta formulada (per exemple, la pregunta *Quines diferències s'observen si diverses varietats de mongetes són sotmeses a estrès tèrmic i a estrès hídric* és codificada de nivell 3, mentre que quan és reformulada concretant *S'observen diferències en la germinació si les llavors de diverses varietats de mongetes són sotmeses a estrès tèrmic i a estrès hídric?* es codifica de nivell màxim, 4, perquè proposada d'aquesta manera orienta la metodologia que cal dissenyar per analitzar la influència dels dos factors ambientals)

Taula 6. Comparació dels descriptors d'una categoria entre l'eina NPTAI inicial i la refinada

CATEGORIA 'identificació de problemes investigables' de l'eina NPTAI (Ferrés, Marbà i Sanmartí, 2015)		CATEGORIA 'identificació de problemes investigables' de l'eina NPTAI refinada de la Taula 8 Versió refinada	
		Una pregunta científica investigable és aquella que es pot respondre empíricament amb una recollida de dades. Precisa comprensió dels conceptes científics implicats	
0	No identifica problemes o no planteja problemes o planteja problemes inabordables	0	No identifica problemes o no planteja preguntes investigables, sinó preguntes d'informació
1	Planteja problemes amb formulació ambigua o genèrica o mal formulada	2	Planteja problemes amb formulació ambigua o genèrica o mal formulada, però hi ha pregunta basada en fets
		3	Identifica problemes de recerca adequats i acotats basats en fets, però no concreta interrogants que orientin la recerca
2	Planteja problemes d'investigació adequats i concreta interrogants	4	Planteja problemes investigables i concreta preguntes adequades basades en fets i que suggereixen aspectes metodològics per respondre les preguntes plantejades

Un cop establertes les categories i els corresponents descriptors, es va procedir a determinar fins a quin punt era vàlida l'eina d'avaluació desenvolupada per examinar les habilitats dels estudiants, ja que qualsevol instrument d'avaluació ha de donar una mesura precisa d'allò que pretén avaluar; i també es va analitzar la seva fiabilitat perquè, com Libarkin (2008) explica, *“Validity and reliability are the “lens” through which we should consider the usability of an instrument. Validity helps us reconcile a measurement value with the true value of the trait being measured. Similarly, reliability addresses how well we are able to reproduce a measure or repeat a study.”* p.8.

Taula 7. Resultats de l'anàlisi de fiabilitat de l'instrument NPTAI (Ponència ESERA 2015)

TR	DIFFERENCE AMONG EVALUATIONS 1st, 2nd and 3rd OF THE SAME EVALUATOR Intracoder reliability					DIFFERENCE AMONG FINAL (3rd) EVALUATIONS OF DIVERSE EVALUATORS Inter-rater reliability		
	EXPERT	1st	2nd	3rd		EXPERT	FINAL (3rd)	
1	CF	32	31	32	EVALUATOR CF Krippendorff's alpha= 0,979	CF	32	Krippendorff's alpha= 0,972
	RM	31	32	32		RM	32	
	RP	30	32	31		RP	31	
2	CF	15	16	16		CF	16	
	RM	14	18	15		RM	15	
	RP	16	16	16		RP	16	
3	CF	20	20	16		CF	16	
	RM	11	13	13		RM	13	
	RP	18	19	16		RP	16	
4	CF	36	36	36	CF	36		
	RM	36	36	36	RM	36		
	RP	36	36	36	RP	36		
5	CF	36	36	36	CF	36		
	RM	36	36	36	RM	36		
	RP	36	36	36	RP	36		
6	CF	20	18	19	CF	19		
	RM	22	20	20	RM	20		
	RP	29	27	24	RP	24		
7	CF	34	33	35	CF	35		
	RM	35	34	35	RM	35		
	RP	34	33	35	RP	35		
8	CF	26	29	27	CF	27		
	RM	26	27	33	RM	33		
	RP	33	33	31	RP	31		
9	CF	36	36	36	CF	36		
	RM	36	36	36	RM	36		
	RP	36	36	36	RP	36		
10	CF	32	35	35	CF	35		
	RM	32	34	35	RM	35		
	RP	32	34	35	RP	35		

Per determinar la fiabilitat de l'instrument, tres professores, una d'elles la doctoranda, van codificar amb el NPTAI deu memòries de treballs, escollides en l'arxiu de què disposa l'Institut la Garrotxa d'Olot. La tria es va fer mirant que abordessin la diversitat de temes habitual en els treballs dels estudiants, que corresponguessin a treballs de recerca experimentals, per així poder aplicar totes les categories de la rúbrica NPTAI, i que tinguessin nivells de qualitat diversos, amb qualificacions de centre oscil·lants entre 5 i 10 sobre 10 atorgades en l'avaluació de l'institut. Cada professora va codificar tres vegades les mateixes 10 memòries, deixant passar uns dies entre cada codificació, per així poder determinar la fiabilitat intra-qualificadors (*intracoder reliability*) comparant els resultats d'una mateixa professora per a cada una de les memòries. La determinació de la fiabilitat entre qualificadors (*inter-rater reliability*) es va fer comparant les codificacions finals, emeses a la tercera ronda per les tres professores, per a cada una de les deu memòries. L'estadístic utilitzat va ser l'alfa de Krippendorff. En aquest estudi de la fiabilitat es van recollir 810 codificacions parcials: 10 memòries x 9 categories de l'instrument NPTAI x 3 codificadoras (CF, RM i RP) x 3 avaluacions successives; aquestes codificacions van donar lloc a 90 notes globals. L'alfa de Krippendorff va determinar que la fiabilitat intra qualificadors era superior a 0,8. La fiabilitat entre qualificadors també va donar un valor superior a 0,8. Aquests resultats permeten afirmar que l'eina dissenyada es va demostrar com a fiable (Taula 7).

Per establir la validesa de la rúbrica NPTAI desenvolupada, en aquesta recerca s'han considerat la validesa del constructe (*construct validity*) i la validesa del contingut (*content validity* o *face validity*) utilitzant com a referent la metodologia d'un estudi de Libarkin (2008) :

Construct validity is concerned with whether or not strong support for the content of the items exists. Content validity (also called face validity) considers whether or not the test items actually measure the latent trait being measured, and generally considers this from the perspective of the test developer. p. 5

La denominada validesa del constructe (*construct validity*) requereix que l'eina d'avaluació contempli tots els aspectes de les habilitats dels estudiants que siguin rellevants per al propòsit específic de l'avaluació: no pot ometre conceptes rellevants ni ha d'incloure aspectes irrellevants. Per tant, si el propòsit és avaluar la competència d'indagació, cal considerar totes les habilitats que la caracteritzen: la validesa del constructe va ser establerta de manera deductiva, a partir de

la descripció en la literatura dels processos propis dels treballs d'indagació, i de manera inductiva, a partir de la utilització de l'eina en el treball de camp de codificació de memòries de TR. Tal i com ja s'ha explicat prèviament, en descriure el procés de refinament de l'eina es va evidenciar la conveniència de diferenciar entre categories permanents, que corresponen als processos comuns a tots els treballs d'indagació científica, i categories circumstancials, que només cal considerar en treballs d'indagació experimental (Taula 4).

La validesa del contingut (*content validity* o *face validity*) pretén establir si, des de la perspectiva dels experts, la rúbrica mesura aspectes de la comprensió dels treballs d'indagació. Per establir-la es va demanar a nou professors experts en assessorament de treballs de recerca que utilitzessin l'eina NPTAI per avaluar-los. Després, amb una entrevista oberta, es van recollir les seves opinions en relació amb les categories utilitzades en la rúbrica NPTAI, amb el disseny de les rúbriques, amb la utilitat de l'instrument per assessorar el procés de realització del treball, amb la utilitat per dur-ne a terme l'avaluació i amb les seves qualitats i limitacions. Es va utilitzar un enfocament obert per a la codificació de dades recollides en les entrevistes, identificant les idees més citades en les respostes i comentaris dels professors. Tots ells van considerar que la rúbrica permet estandarditzar l'avaluació dels treballs d'indagació oberta i autònoma, que els descriptors tenen una gradació adequada i que aquesta eina també pot ser útil durant el procés d'assessorament. A més, la majoria va opinar que el NPTAI augmenta l'objectivitat de l'avaluació, la sistematitza i en redueix l'arbitrarietat; també van remarcar que té categories apropiades que es corresponen amb els passos habituals en aquest tipus de treballs, i que pot ser útil com a eina d'autoavaluació; però la majoria va remarcar que no és adequat per avaluar alguns tipus de treballs, com els no experimentals, perquè conté categories com ara la identificació de variables o la formulació d'hipòtesis, no sempre presents en un treball. Així doncs, l'eina es va considerar vàlida, però amb la precisió que calia considerar i diferenciar categories permanents i categories circumstancials (tal i com ja s'havia identificat en el procés per establir la validesa del constructe), en funció de les característiques de la investigació desenvolupada per l'estudiant.

Taula 8. Versió definitiva de l'instrument NPTAI després del procés de revisió i refinament. Categories permanents

QUÈ ES VOL INVESTIGAR?	IDENTIFICACIÓ DE PROBLEMES o FORMULACIÓ DE PREGUNTES CIENTÍFIQUES INVESTIGABLES Una pregunta científica investigable és aquella que es pot respondre empíricament amb una recollida de dades. Precisa comprensió dels conceptes	
	0	No identifica problemes o no planteja preguntes investigables, sinó preguntes d'informació
	1	Planteja problemes inabordables
	2	Planteja problemes amb formulació ambigua o genèrica o mal formulada, però hi ha pregunta basada en fets
	3	Identifica problemes de recerca adequats i acotats, basats en fets, però no concreta interrogants que orientin la recerca
	4	Planteja problemes investigables i concreta preguntes adequades, basades en fets i que suggereixen aspectes metodològics per respondre les preguntes plantejades
	FORMULACIÓ D'HIPÒTESIS En forma de deducció "Si ... llavors ..." i preferentment en relació a conceptes científics "Si pensem que ... llavors quan ...observarem que..."	
	0	No planteja hipòtesis o no identifica hipòtesis o planteja hipòtesis sense sentit
	1	Planteja hipòtesis sense relació amb el problema o els objectius de la recerca
	2	Formula hipòtesis ambigües o mal formulades, o només emet prediccions
	3	Planteja hipòtesis que encaixen amb els problemes de recerca i que suggereixen variables
	4	Planteja hipòtesis que encaixen amb el problema de recerca, preferiblement en forma de deducció, i en fa una descripció fonamentada en una teoria o model o concepte científic
	REFERÈNCIA A CONCEPTES EN ELS QUALS ES FONAMENTA LA RECERCA Plantejar una pregunta científica requereix de coneixements teòrics perquè la pregunta tingui sentit	
	0	La recerca proposada no té relació amb conceptes o idees científiques, o teories o models científics
	1	No fa referència a conceptes científics o teories en relació amb la recerca proposada
	2	Fa referència a conceptes implicats en la recerca, però de manera incompleta o amb dificultats de comprensió, o es refereix a conceptes sense relació directa amb el problema
	3	Explicita correctament els conceptes científics i/o teories implicats en la recerca, però no els relaciona amb les hipòtesis
	4	Explicita els conceptes científics i/o teories en relació a la recerca i formula les hipòtesis fonamentant-les en ells: identifica idees científiques rellevants per a la recerca
	CERCA DE REFERENTS TEÒRICS I DE PRECEDENTS I ELABORACIÓ DE LA INFORMACIÓ En una recerca cal buscar precedents i referències teòriques. S'ha de fer un procés d'elaboració d'aquesta informació	
	0	Cerca fonts d'informació de manera molt reduïda i limitada a bibliografia de poca qualitat científica. Sense referència a precedents
1	Busca i selecciona informació, però més de fonts de literatura popular que de literatura científica, i no esmenta precedents	
2	Busca i selecciona fonts d'informació adequades però escasses i no fa referència a precedents i/o no elabora aquesta informació, sinó que la copia	
3	Busca i selecciona fonts d'informació rellevants i fiables i cerca precedents o antecedents, però mostra errors i/o no elabora aquesta informació, sinó que es limita a fer-ne còpia	
4	Busca i selecciona fonts d'informació rellevants i fiables i cerca precedents o antecedents. Elaborada la informació recollida, sense errors, i l'adapta als propòsits de la pròpia recerca	

COMES VOL INVESTIGAR?	IDENTIFICACIÓ DE VARIABLES VI variable, els valors de la qual són canviats o seleccionats per l'investigador. La resta de variables han d'estar controlades VD variable, els valors de la qual són mesurats per a cada canvi de la VI
	0 El disseny hauria de contemplar variables i no les té en compte
	1 No identifica ni VI ni VD o no sap concretar VI i VD, tot i que s'han considerat en el disseny, o no té en compte el control de les altres variables diferents de la VI
	2 Confon VI i VD o no n'identifica una d'elles, o proposa VI i VD que no encaixen amb les hipòtesis i/o fa un control insuficient de les variables diferents de la VI
	3 Identifica VI i VD però de manera incompleta o imprecisa, o no les explicita i/o sense tenir en compte les variables controlades
	4 Identifica VI i VD apropiades, que encaixen amb les hipòtesis, i té en compte el control d'altres variables
	DISSENY D'UN PLA DE TREBALL I ADOPCIÓ DE METODOLOGIA = PLANIFICACIÓ DE RECERCA I DE RECOLLIDA DE DADES
	0 No hi ha o no proposa recollida de dades o de metodologia per abordar el problema
	1 El disseny metodològic no permet comprovar les hipòtesis, però hi ha proposta de recollida de dades
	2 Tasques i procediments d'investigació o metodologia només permeten una comprovació parcial de les hipòtesis o el problema plantejat i/o amb tasques sense relació amb les hipòtesis i/o que només permeten un abordament parcial del problema
	3 La metodologia ofereix una comprovació força adequada de les hipòtesis i/o un abordament apropiat del problema, però la descripció de la metodologia és incompleta i, si són necessaris, no considera rèpliques ni control
	4 La metodologia selecciona dades apropiades per a la comprovació de les hipòtesis i/o l'abordament del problema plantejat i, quan és possible, proposa rèpliques i control
	RECOLLIDA DE DADES En un treball d'indagació científica s'han de recollir dades per respondre les preguntes plantejades
	0 No hi ha recollida de dades
1 Hi ha recollida de dades però de manera poc acurada o incompleta, o amb mancances en l'aplicació de tècniques	
2 Recollida de dades amb errades o imprecisions o falta de comprensió dels procediments i falta de relació entre les dades i les hipòtesis i/o el problema	
3 Recollida amb algunes mancances, execució correcta de tècniques que aporten dades relacionades amb les hipòtesis, però no hi consten rèpliques ni control si són necessaris,	
4 Recollida de dades metòdica, acurada, adequada i suficient, amb bona comprensió i execució de tècniques, i amb rèpliques i control quan són necessaris	
RESULTATS I CONCLUSIO	TRACTAMENT DE DADES Amb les dades recollides cal fer un tractament estadístic i gràfic acurat
	0 No hi ha processament de dades perquè no se n'han recollit
	1 Sense processament de les dades recollides, ni organització de les dades en taules, gràfics, etc.
	2 Tractament inadequat o incomplet de les dades, presentació inapropiada, gràfics sense títols o amb títols inadequats
	3 Tractament adequat de les dades, però amb processament, organització i presentació que mostren algunes deficiències
	4 Bona presentació i tractament de les dades, processades, manipulades i organitzades de forma apropiada, amb taules i/o gràfics, i presentades amb claredat
	ANÀLISI DE DADES I OBTENCIÓ DE CONCLUSIONS ARGUMENTADES Les dades s'han d'analitzar relacionant-les amb hipòtesis, precedents i conceptes teòrics i les conclusions han d'estar basades en proves. Cal diferenciar resultats (què s'ha observat?) d'inferències (quin significat es dona a aquestes dades?)
	0 No hi ha anàlisi de dades
	1 Anàlisi i interpretació no fonamentats amb les dades i/o sense relació amb les hipòtesis i/o errors en l'anàlisi de dades i/o no hi ha conclusions
	2 Conclusions similars als resultats de la part metodològica sense interpretació i anàlisi de dades. No coordina justificacions teòriques amb proves empíriques.
	3 Conclusions que incorporen, a més dels resultats, els fets i conceptes en els quals es basa la pregunta, però anàlisi incompleta o poc fonamentada
	4 Conclusions que incorporen, a més dels resultats, els fets i conceptes relacionats, i la relació entre les hipòtesis i les dades interpretades.

3.1.1. Metodologia per a la pregunta: Quines dificultats mostren els estudiants en la realització de treballs d'indagació?

Per respondre aquesta pregunta es van recollir i analitzar dades corresponents als treballs de recerca que fan preceptivament els batxillers a Catalunya i que el currículum estableix que han de ser treballs d'indagació.

Mostres i eines de recollida de dades:

El curs 2012-2013 es van obtenir dades dels treballs de recerca (TR) d'un grup d'estudiants de segon de batxiller de l'Institut La Garrotxa (N= 23) a partir de:

- > 23 memòries dels TR conservades a l'arxiu de l'institut
- > 23 qüestionaris oberts, amb els quals es va demanar a cada estudiant que resumís les característiques del seu TR: preguntes plantejades, possibles hipòtesis, metodologia, resultats més rellevants, anàlisi de resultats i conclusions
- > anotacions durant les 23 presentacions orals on els estudiants expliquen què han fet.

Eines d'anàlisi de dades:

Es van codificar les dades recollides dels TR dels estudiants utilitzant l'eina **NPTAI** desenvolupada, que permet obtenir dades quantitatives a partir de l'anàlisi de dades qualitatives com són les produccions dels estudiants esmentades a la recollida de dades: cada TR rep una qualificació parcial entre 0 i 4 en cada una de les categories de l'eina, i la suma de qualificacions parcials atorga una nota global que està, per tant, entre 0 i 36 (resultants de la codificació de 9 categories entre 0 i 4).

Una vegada codificats els TR utilitzant l'eina NPTAI, es va realitzar un procés de recodificació d'aquests resultats, considerant cinc intervals numèrics, amb la finalitat de proposar els **Nivells de Competència d'Indagació (NCI)**. Els resultats quantitius de la codificació amb el NPTAI van donar lloc als cinc Nivells de Competència d'Indagació o NCI, en una escala que descriu les habilitats i dificultats que caracteritzen cada nivell i que es mostra a la Taula 9. Per establir els cinc intervals es va partir de l'anàlisi de qualitats i dèficits identificats en les memòries dels treballs de recerca i en les seves presentacions orals.

Per això aquests cinc nivells s'anomenen de manera descriptiva en relació a la competència:

- > Indagador (valors de 31 a 36 de nota global amb la rúbrica NPTAI)
- > Indagador insegur (valors de 26 a 30)
- > Indagador incipient (valors de 20 a 25)
- > Precientífic (valors de 10 a 19)
- > Acientífic (valors de 0 a 9)

Per tal d'establir els intervals de valoracions quantitatives dels NCI es van buscar patrons característics de capacitats i dificultats en les memòries dels treballs de recerca, en els qüestionaris i en les presentacions orals, per configurar i descriure els cinc nivells:

Per exemple, el NCI superior, que s'anomena *Indagador*, correspon a l'alumnat que identifica problemes investigables, planteja hipòtesis en forma de deducció i fent referència a conceptes científics, planifica metodologia que ofereix una adequada comprovació de les hipòtesis, proposa rèpliques i controls, és capaç d'identificar les variables implicades, recull dades de manera acurada i suficient, fa un bon tractament de dades, analitza les dades buscant proves i relacionant preguntes, hipòtesis i conceptes científics, i proposa conclusions basades en aquestes proves.

En canvi, el NCI denominat *Precientífic* descriu estudiants que plantegen preguntes amb formulació ambigua o genèrica, repeteixen el dèficit en la formulació d'hipòtesis, proposen metodologia que només permet una comprovació parcial de les hipòtesis, fan una recollida i un tractament de dades incomplets i amb dèficits, també mostren deficiències en l'anàlisi de dades i proposen conclusions no fonamentades.

Així, per exemple, un dels estudiants va dur a terme una investigació en la qual es plantejava el problema *¿Podem dissenyar una bateria senzilla de proves diagnòstiques per identificar les persones afectades de distròfia facio-escàpulo-humeral?* -aquesta era una patologia que havia despertat el seu interès perquè afectava un familiar proper-. A partir d'aquí, formulava adequadament una hipòtesi en forma de deducció i fent referència a conceptes científics:

En aquest tipus de distròfia hereditària queda afectada inicialment la musculatura de les parpelles i de la cintura escapular i, per tant, els pacients mostraran dificultats en la realització de moviments

que impliquen la utilització d'aquests músculs. Llavors, si proposem a un individu activitats de la vida diària que precisen la utilització d'aquests músculs, observarem diferències significatives entre individus afectats i els no afectats per la distròfia.

L'estudiant dissenyava una bateria de proves fonamentada en la informació teòrica recollida sobre la patologia i també seguint les orientacions de neuròlegs. Una vegada dissenyada, realitzava una sola vegada un test, utilitzant aquesta bateria, a un grup de persones afectades i a un grup de companys de classe. Processava correctament les dades i en feia una anàlisi acurada per obtenir conclusions basades en fets. La descripció del TR mostra que l'estudiant ha identificat un problema científic investigable, ha formulat acuradament una hipòtesi, ha planificat un disseny experimental i ha recollit dades de manera acurada, però no ha considerat rèpliques (només ha passat el test una vegada a cada persona) ni ha tingut en compte el control de variables (ha recollit dades de dos grups de persones d'edats molt diferents, les afectades, majors de 40 anys, i les no afectades, d'entre 16 i 18 anys). En el qüestionari, quan se li demanava resumir la seva recerca, comentava que no havia utilitzat metodologia experimental i que no podia concretar variables, quan havia establert clarament una VI (persones afectades i persones sanes) i una VD (resultats de la bateria de proves passada a cada individu). Amb una codificació de 29 amb l'eina NPTAI, i d'acord amb la descripció dels NCI, es qualifica el seu treball com a *Indagador insegur*.

I un altre exemple, en aquest cas de NCI *Acientífic*: un dels estudiants va fer el seu treball sobre les mines d'Osor, actualment abandonades, en el qual no va proposar metodologia i va recollir dades de fonts diverses, bàsicament d'internet, sobre la ubicació geogràfica, els tipus de carbó que se n'extreia, les utilitats a què es destinava aquest mineral, la problemàtica que va portar a finalitzar l'explotació, etc. En el treball no es formulava cap pregunta científica investigable, ni es feia cap tractament de dades perquè, de fet, la memòria era un compendi de les informacions recollides. L'apartat de conclusions del treball era, simplement, un resum.

Taula 9. Nivells de competència d'indagació (Taula 3, Ferrés., Marbà i Sanmartí, 2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22-37)

NIVELES DE COMPETENCIA DE INDAGACIÓN: NCI	Valors NPTAI
<p>INDAGADOR</p> <ul style="list-style-type: none"> > Identifica problemas de investigación, plantea problemas adecuados y concreta interrogantes > Plantea hipótesis en forma de deducción y que encajan con el problema de investigación, y lo hace con referencia a un modelo o concepto científico > Planifica un diseño experimental o una obtención de datos que ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, con réplicas y controles, y hace una buena descripción del proceso metodológico > Identifica VI y VD, algunas veces de manera incompleta o imprecisa > Realiza una recogida de datos metódica, adecuada y suficiente, y un buen tratamiento de datos y réplicas y controles > Analiza datos forma bien fundamentada y saca conclusiones basadas en pruebas. Coordina justificaciones teóricas con pruebas empíricas 	31-36
<p>INDAGADOR INSEGURO</p> <ul style="list-style-type: none"> > Identifica problemas de investigación, plantea problemas adecuados y concreta interrogantes, algunas veces con formulación ambigua > Plantea hipótesis en forma de deducción y que encajan con los problemas de investigación > Planifica un diseño experimental o una obtención de datos que ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, casi siempre con réplicas y controles y/o con una descripción incompleta del diseño metodológico > No identifica las variables, no sabe concretar VI y VD, o confunde VI y VD, o propone VI y VD que no encajan con la hipótesis, o identifica VI y VD de manera imprecisa > Realiza una recogida de datos metódica y un buen tratamiento matemático y gráfico, pero no siempre con réplicas y controles suficientes > Analiza datos de forma incompleta o poco fundamentada en algunos aspectos 	26-30
<p>INDAGADOR INCIPIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> > Presenta déficits en dos o tres categorías de "Identificación de problemas investigables", "Formulación de hipótesis", "Identificación de variables" > Planifica un diseño metodológico que ofrece una adecuada comprobación de las hipótesis, pero con déficits en réplicas y controles y con una descripción incompleta del proceso metodológico > Recoge los datos con errores o imprecisiones y/o con evidencia de falta de relación entre los datos y las hipótesis, pero hace un tratamiento adecuado de los datos y su representación gráfica > Formula conclusiones muy similares a los resultados, sin interpretación ni análisis de datos. No coordina justificaciones teóricas con pruebas empíricas 	20-25
<p>PRECIENTÍFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> > Plantea problemas con formulación ambigua o genérica, o mal formulado, o no identifica problemas > Formula hipótesis ambiguas, con errores de lógica, mal formuladas, o confunde hipótesis y problema > Planifica un diseño metodológico que solo permite una comprobación parcial de las hipótesis, sin réplicas ni controles > No identifica variables > Recoge datos de forma incompleta, con falta de precisión o con déficits en la aplicación de técnicas, utiliza un tratamiento inadecuado o incompleto de los datos, y presenta gráficos sin títulos o con títulos inadecuados, y cálculos con incorrecciones > Analiza de forma deficiente y formula conclusiones no fundamentadas en datos 	10-19
<p>ACIENTÍFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> > No identifica problemas, o plantea problemas inabordables, o los plantea con formulación ambigua > No plantea hipótesis, o no identifica hipótesis, o plantea hipótesis sin sentido o sin relación con el problema > No propone diseño metodológico, o no lo identifica, o el diseño solo permite una comprobación parcial de las hipótesis > El procedimiento no contempla variables necesarias, o no las identifica, o no las sabe concretar > No ha recogido datos, o la recogida de datos es muy incompleta y su tratamiento inadecuado > No presenta análisis de datos, o presenta un análisis de datos deficiente y conclusiones no fundamentadas 	0-9

3.1.2. Metodologia per a la pregunta: Quines dificultats mostren els estudiants en la formulació de preguntes investigables?

Per respondre aquesta pregunta es van recollir i analitzar dades dels primers passos del procés de realització dels treballs de recerca.

Mostres i eines de recollida de dades:

El curs 2014-15 es van obtenir dades d'un grup d'estudiants de primer de batxiller de l'Institut La Garrotxa (N=36). Durant les primeres sessions de treball d'aquests estudiants amb els professors assessors es van anotar les successives propostes de preguntes investigables que feien: preguntes proposades en una primera sessió (S1) i preguntes proposades al cap de tres setmanes (S3). Prèviament s'havia explicat als estudiants quines característiques havia de tenir un treball d'indagació i què és una pregunta investigable.

A més, es van escollir cinc estudiants del grup (E1, E2, E3, E4, E5) pel fet que compartien la professora assessora i que aquesta va mostrar la seva disposició a seguir les pautes d'orientació indicades per la investigadora. La professora recollia les seves propostes en tres sessions de treballs (S1, S2 i S3), comentava amb els estudiants aquestes propostes de preguntes i la seva idoneïtat i els explicava, posant exemples, què és una pregunta investigable i què és una pregunta d'informació; també els donava informació teòrica sobre el tema que havien escollit i els suggeria i facilitava la cerca de precedents. En la sessió de treball següent, la professora assessora, partint de les preguntes anteriors proposades per cada estudiant, li demanava que les reformulés per refinar-les i insistia en la condició que les preguntes s'havien de poder respondre analitzant dades i que havien de ser preguntes científiques i, per tant, fer referència a conceptes científics.

Eines d'anàlisi de dades:

Es va utilitzar l'eina **NPTAI** per codificar les dades recollides durant les tres primeres sessions de treball d'un grup d'estudiants amb els professors assessors dels seus TR, però com que les dades recollides en aquest cas es refereixen a la identificació de preguntes investigables, la codificació es va fer escollint la categoria *Identificació de problemes o Formulació de preguntes investigables* i utilitzant la rúbrica corresponent. Per analitzar les propostes de preguntes dels estudiants, a més d'utilitzar aquesta categoria de l'eina NPTAI, també es van utilitzar dos criteris

més de codificació d'aquestes propostes, tots **dos criteris dicotòmics**: si la pregunta proposada es podia respondre utilitzant dades (Kelsey i Steel, 2001), i si la pregunta suggeria relació entre diverses variables (Taula 10)

Taula 10. Tres criteris d'anàlisi de les preguntes proposades pels estudiants

CRITERI 1: La pregunta es pot respondre analitzant dades: Si/No	
CRITERI 2: La pregunta suggereix la relació entre diverses variables: Si/No	
CRITERI 3: AVALUACIÓ DE LA PREGUNTA AMB LA RÚBRICA NPTAI	
0	No identifica problemes o no planteja preguntes investigables sinó preguntes d'informació
1	Planteja problemes inabordables
2	Planteja problemes amb formulació ambigua o genèrica o mal formulada, però hi ha pregunta basada en fets
3	Identifica problemes de recerca adequats i acotats, basats en fets, però no concreta interrogants que orientin la recerca
4	Planteja problemes investigables i concreta preguntes adequades, basades en fets i que suggereixen aspectes metodològics per respondre les preguntes plantejades

3.2. Metodologia per identificar dificultats en habilitats indagació en activitats d'aula (Objectiu 2)

Tot seguit es descriu la metodologia emprada per abordar aquest Objectiu 2, que es va basar en les respostes de batxillers a qüestionaris oberts proposats a partir de la descripció d'investigacions i, per tant, en activitats d'indagació simulada, i no en processos reals d'indagació com són els treballs de recerca que van ser utilitzats en l'Objectiu 1.

La pregunta plantejada era la següent:

En quines habilitats d'indagació mostren dificultats els estudiants?

Mostres i eines de recollida de dades:

Per recollir dades relacionades amb les possibles dificultats dels estudiants en habilitats d'indagació en activitats d'aula es van fer servir deu qüestionaris preparats amb aquesta finalitat, que es van anomenar Qüestionaris d'Inquiry Skills (QIS). El plantejament dels QIS i les habilitats d'indagació considerades pretenien un enfocament com el proposat per Duschl i Bybee (2014) en el marc anomenat '*Planning and Carrying Out Investigations*' (PCOI) per tal que els estudiants entenguin de quina manera la ciència aborda els seus objectius, fugint de les pràctiques manipulatives, de llibre de cuina, de les investigacions preplanificades de confirmació. Es va partir, doncs, de la idea que els estudiants han de ser capaços d'identificar les preguntes investigables que han inspirat una recerca, de formular hipòtesis basades en conceptes científics i teories, de planificar dissenys metodològics per obtenir dades o de descriure el disseny metodològic que ha possibilitat l'obtenció de determinades dades, d'identificar aspectes característics d'aquests dissenys com ara les variables implicades, de representar les dades, d'analitzar-les i de proposar conclusions argumentades. Per això cada QIS proposa la descripció d'una investigació o els seus resultats com a estímul a partir del qual es proposen als estudiants qüestions relacionades amb habilitats d'indagació combinades amb idees de la ciència.

Per exemple, un dels QIS, que es mostra a la Figura 9, descriu la problemàtica de la resistència bacteriana als antibiòtics, contextualitzada en el fet que alguns bacteris són resistents a la penicil·lina perquè produeixen enzim penicil·linasa. Aporta una gràfica en què s'evidencia la influència de la concentració de la penicil·lina en l'activitat enzimàtica de la penicil·linasa, i també dades

obtingudes en una altra investigació en què es repeteix el mateix experiment però afegint al medi àcid clavulànic, i proposa a l'estudiant que representi aquestes dades a la mateixa gràfica. A partir d'aquesta informació, es demana a l'estudiant quina pregunta es plantejaven els investigadors que havien dissenyat aquests experiments, quina devia ser la seva hipòtesi i quines les variables implicades. També se li demana que analitzi les dades, que expliqui per què sovint els medicaments que contenen penicil·lina l'acompanyen amb clavulànic i que descriu el disseny metodològic que havia permès obtenir aquelles dades.

La Taula 11 relaciona les habilitats examinades en cada un dels deu QIS proposats (IRQ = identificar preguntes investigables; FRH= formular hipòtesis de recerca; IIV= identificar la variable independent; IDV= identificar la variable dependent; CV= identificar les variables controlades; MD= dissenyar metodologia; DA= anàlisi de dades; AC= argumentar les conclusions).

Es van recollir les respostes d'un grup d'estudiants de segon del curs 2013-14 (N=36) de la modalitat científica de l'Institut La Garrotxa al QIS 1 'Clavulanic' (Figura 9), que s'ha descrit, relacionat amb una investigació de cinètica enzimàtica. Les preguntes 1-7 es van plantejar com a activitat individual, en una primera sessió, mentre que la pregunta 8, que demana la descripció de la metodologia, es va proposar en una segona sessió de treball per ser abordada per equips de 3 o 4 estudiants.

Taula 11. Qüestionaris QIS dissenyats i habilitats d'indagació que avaluen

	ISQ 1 Clavulanic	ISQ 2 Melanisme	ISQ 3 AR or XR?	ISQ 4 Vacunes	ISQ 5 Transformació Bacteriana	ISQ 6 Factor Transformant	ISQ 7 Virus i Informació Genètica	ISQ 8 Nivell de Colesterol	ISQ 9 Sargantanes	ISQ 10 Osmosis i Protozoosi
IRQ										
FRH										
IIV										
IDV										
CV										
MD										
DA										
AC										

També es va considerar convenient establir diàlegs amb els estudiants per tal de, a més d'identificar les seves dificultats en habilitats d'indagació, poder descriure els aspectes problemàtics que hi havia en l'origen d'aquestes dificultats. Per això es van recollir les respostes a deu qüestionaris QIS de tres estudiants voluntàries de segon de batxillerat científic, en un procés d'avaluació formativa realitzat durant cinc mesos. Les estudiants van respondre per escrit cada un dels qüestionaris en una sessió de treball fora d'hores lectives; posteriorment van mantenir un diàleg amb la investigadora, majoritàriament per correu electrònic, per comentar les seves respostes i, si ho consideraven convenient, modificar-les i corregir-les. Es van transcriure aquests diàlegs per a cada un dels qüestionaris. A la vista de la Taula 10 es pot observar que les dades recollides corresponien majoritàriament a les habilitats d'identificació de preguntes investigables, formulació d'hipòtesis i identificació de variables.

Eines d'anàlisi de dades:

Es van dissenyar **variants de la rúbrica NPTAI** per codificar les respostes dels estudiants a cada un dels qüestionaris QIS. Es va donar el nom de **QNPTAI** a aquestes variants del NPTAI, amb la Q inicial que fa referència als QIS (exemple a la Taula 17). La seva estructura és similar a la del NPTAI, amb diverses categories i una jerarquia de cinc descriptors per a cada categoria, adaptant les categories i els descriptors a les característiques de cada qüestionari. A més, els QNPTAI inclouen exemples de respostes dels estudiants per a cada categoria i en els diversos nivells dels descriptors, que faciliten la seva utilització per part d'altres professors o investigadors.

Per exemple, per al QIS de la Figura 9, es va utilitzar per a l'anàlisi de dades l'eina QNPTAI de la Taula 17; es pot observar que conté categories relacionades amb les demandes d'habilitats de les qüestions plantejades; per exemple, presenta una categoria relativa a la identificació de la variable independent i una altra de relativa a la identificació de la variable dependent, en lloc d'una sola categoria genèrica d'identificació de variables com la que presenta el NPTAI. També es pot observar que inclou *exemplificacions*, extretes en molts casos de les respostes dels estudiants i que, com ja s'ha esmentat, poden facilitar la utilització de l'eina per part d'altres professors i investigadors.

Per identificar les dificultats específiques en el disseny de metodologia que demana el QIS de cinètica enzimàtica (pregunta 8 del QIS mostrat a la Figura 9, que s'ha esmentat que es va proposar als estudiants de respondre-la en equips de 3 o 4) utilitzat en la recollida de dades amb el grup

d'estudiants de segon del curs 2013-14, es van codificar les respostes dels diversos equips fent servir una **rúbrica específica d'anàlisi dels processos parcials i els errors en el disseny metodològic** (Taula 12) desenvolupada de manera inductiva, partint de l'anàlisi inicial de les propostes de metodologia fetes pels equips d'estudiants. Es van llegir les propostes de disseny metodològic dels onze equips i es van anar fent anotacions considerant dues categories:

Una primera categoria referida als processos parcials que havia de contemplar la descripció del disseny metodològic, i que ja es relacionaven en l'eina QNPTAI:

- > Utilització de dos grups de 6 tubs, un grup amb clavulànic i l'altre sense, amb les sis concentracions diferents de penicil·lina indicades en els punts de la gràfica i en la taula adjunta a la gràfica
- > Concreció del fet que tots els tubs havien de contenir enzim penicil·linasa
- > Especificació de fet que els tubs havien de contenir unes determinades concentracions de penicil·lina, les indicades en la gràfica i la taula, i tots la mateixa concentració de penicil·linasa
- > Enumeració de les variables controlades implicades en l'experiment: pH, temperatura i -molt important- concentració d'enzim penicil·linasa
- > Referència al grup control, constituït pels tubs sense clavulànic
- > Proposta de rèpliques, amb diversos grups de 12 tubs, 6 amb clavulànic i 6 sense, o bé rèpliques simultànies, o bé rèpliques successives, esmentant la necessitat de repetir el procés per donar fiabilitat als resultats

Una segona categoria que recollia els errors identificats en les propostes de metodologia i, per tant, establerta de manera totalment inductiva, de la lectura de les respostes dels estudiants:

- > Utilització d'un nombre de tubs sense relació amb les dades representades i recollides
- > Referència a la introducció de bacteris en els tubs, que evidenciava un desconeixement greu dels mètodes d'estudi de la cinètica enzimàtica, els quals utilitzen enzim purificat i de concentració ben coneguda
- > Enumeració genèrica de les variables controlades que calia tenir en compte en el disseny, amb comentaris com ara *mantenir tots els tubs iguals*, o fins i tot mencionant variables irrelevantes i/o sense sentit en el context proposat, com ara la llum i la humitat

Taula 12. Rúbrica específica d'anàlisi dels processos parcials i els errors en el disseny metodològic del QIS de la Figura 7

PROCESSOS PARCIAIS CONSIDERATS EN LA METODOLOGIA (indicar quins són descrits pels estudiants)
Es necessiten dos grups de 6 tubs, uns amb clavulànic i els altres sense clavulànic
Els tubs han de contenir enzim penicil·linasa.
S'especifica que el contingut de cada tub, especificant que ha de contenir una determinada concentració de penicil·lina i sempre la mateixa concentració d'enzim
Es detallen les variables controlades: concentració d'enzim, pH i temperatura
Es fa referència al grup control (grup de tubs sense clavulànic), o explícitament o de manera implícita
Es proposen rèpliques, amb diversos grups de 12 tubs.
ERRORS EN LES PROPOSTES DE METODOLOGIA
Utilització d'un nombre de tubs sense relació amb les dades representades i amb les recollides a la taula
Introducció de bacteris en els tubs
Referència genèrica a les variables controlades, mencionant-ne d'irrellevants en el context descrit, com ara llum i humitat.

Les respostes dels estudiants als deu QIS emprats en el seguiment de tres estudiants voluntàries es van codificar amb els corresponents QNPTAI dissenyats específicament per a cada un dels QIS. La codificació es va fer a partir de les seves respostes inicials al QIS, donades per escrit i de manera individual durant una sessió de treball d'una hora fora d'hores lectives, i també a partir de les respostes posteriors, fruit de les revisions aportades per les estudiants en el seu diàleg per correu amb la investigadora.

Es va fer una **anàlisi qualitativa i interpretativa** dels comentaris dels estudiants en els diàlegs recollits per descriure els aspectes problemàtics relacionats amb les dificultats identificades. Com ja s'ha esmentat, les qüestions plantejades corresponien majoritàriament a les habilitats d'identificació de preguntes investigables, de formulació d'hipòtesis i d'identificació de la variable independent, la variable dependent i les variables controlades. Per això, per realitzar aquesta anàlisi, es van tenir en compte les següents consideracions, organitzades en tres categories i emergides de la lectura de les respostes dels estudiants, per definir la **rúbrica específica d'anàlisi de diàlegs** (Taula 13):

En relació amb la identificació de les preguntes científiques investigables que es plantejaven els investigadors que havien realitzat les investigacions descrites com a context, es volia determinar:

- > Si l'estudiant proposava preguntes d'informació que, tot i que relacionades amb la investigació descrita, no es podien respondre amb les dades recollides, sinó que formaven part dels conceptes científics relacionats amb el context. Per exemple, si davant un experiment que ofereix dades de desaparició de paràsits de la pell dels peixos en submergir-los en aigua amb diverses concentracions salines, l'estudiant afirma que la pregunta que es plantejaven els investigadors era Per què desapareixen els paràsits de les escates dels peixos?
- > Si l'estudiant proposava preguntes d'investigació, però mal formulades o que incloïen errors en els conceptes científics. Per exemple, en el context de la descripció d'un disseny experimental que fa encreuaments entre femelles cegues i mascles normals, i també entre femelles normals i mascles cecs i que informa que la patologia salta generacions, l'estudiant formula la pregunta El patró d'herència és XR, és a dir, neixen femelles amb ceguesa només quan l'afectada de ceguesa és la mare?, pregunta que evidencia un error conceptual, ja que en aquest cas serien els fills mascles els afectats, perquè reben el gonosoma X de la mare amb l'al·lel de ceguesa.
- > Si el major o menor domini dels conceptes científics implicats permetia explicar la facilitat o dificultat per identificar preguntes investigables. Per exemple, en l'experiment sobre la desaparició de paràsits de les escates dels peixos en submergir-los en aigua amb sal, es podia suposar que el fet que l'estudiant tingués un bon coneixement de l'osmosi facilitaria la identificació de la pregunta investigable.
- > Si l'estudiant proposava una pregunta investigable però que no suggeria metodologia

En relació amb les hipòtesis que l'estudiant concretava que formulaven els investigadors, es volia determinar:

- > Si les hipòtesis es formulaven com a simples prediccions o si, en canvi, es formulaven en forma de deducció.
- > Si la referència a conceptes científics ajudava a la formulació de les hipòtesis.
- > Si emergien errors conceptuals en la formulació de les hipòtesis.

En relació amb la identificació de variables de la metodologia descrita o implícita, es volia determinar:

- > Si els estudiants tenien clars els conceptes de variable independent, variable dependent i variables controlades.
- > Si la no formulació d'hipòtesis en forma de deducció dificultava la identificació de la variable independent i de la variable dependent.
- > Si els estudiants confonien el concepte de grup control amb el concepte de variables controlades.
- > Si els estudiants confonien la variable dependent, és a dir, allò que es mesura, amb les variables controlades, és a dir, allò que s'ha de controlar perquè totes les variables siguin al més iguals possible, amb l'excepció de la variable independent.
- > Si la incomprensió de conceptes científics dificultava la identificació de variables.
- > Si la incomprensió del disseny metodològic dificultava la identificació de variables.

Taula 13. Rúbrica d'anàlisi dels diàlegs estudiants-investigadora per descriure les dificultats identificades

DESCRIPCIÓ DE LA PROBLEMÀTICA RELACIONADA AMB LES DIFICULTATS IDENTIFICADES
EN RELACIÓ AMB LA IDENTIFICACIÓ DE LES PREGUNTES CIENTÍFIQUES INVESTIGABLES
L'estudiant proposa preguntes d'informació que formen part de conceptes científics relacionats amb el context, però que no es poden respondre amb les dades
L'estudiant proposa preguntes d'investigació mal formulades o que inclouen errors en els conceptes científics
La falta de domini dels conceptes científics implicats sembla que explica les dificultats per identificar preguntes investigables
La pregunta és investigable però no suggereix metodologia
EN RELACIÓ AMB LA FORMULACIÓ D' HIPÒTESIS
Les hipòtesis es formulen con a simple predicció
La falta de referència a conceptes científics o la seva incomprensió dificulta la formulació de les hipòtesis
Emergeixen errors conceptuals en la formulació d'hipòtesis
EN RELACIÓ AMB LA IDENTIFICACIÓ DE VARIABLES DE LA METODOLOGIA DESCRITA O IMPLÍCITA
L'estudiant no té clars els conceptes de variable independent, variable dependent i variables controlades
La no formulació d'hipòtesis en forma de deducció sembla originar les dificultats en la identificació de VI i VD
L'estudiant confon el concepte de grup control amb el concepte de variables controlades
L'estudiant confon la variable dependent -allò que es mesura- amb les variables controlades -allò que s'ha de controlar-
La incomprensió de conceptes científics dificulta la identificació de variables
La incomprensió del disseny dificulta la identificació de variables

Per dur a terme aquesta anàlisi qualitativa interpretativa de les respostes i comentaris dels estudiants, en les qüestions proposades en els deu QIS i en el diàleg posterior amb la investigadora, es va seguir el següent procés, utilitzant la rúbrica de la Taula 13:

- Es comptabilitzaven totes les respostes corresponents a cada una de les tres categories: identificació de problemes investigables, formulació d'hipòtesis i identificació de variables (VI, VD i variables controlades).
- S'analitzava cada una d'aquestes respostes per determinar si hi apareixia algun o alguns dels errors o deficiències que figuren com a elements de la rúbrica, i es calculava la freqüència en % per a cada un dels elements de la rúbrica en relació amb el total de la categoria.
- Una resposta podia ser totalment correcta i no indicar cap deficiència o error.
- Una mateixa resposta podia evidenciar més d'un error o incomprensió, com es mostra en els exemples següents, identificats en les respostes dels estudiants:

Quan l'estudiant deia: Si la ceguesa segueix un patró d'herència lligada al cromosoma X, tots els descendents mascles dels encreuaments en els quals el pare sigui sa, seran sans, a la rúbrica es comptabilitzava:

- > com a 'La falta de referència a conceptes científics o la seva incomprensió dificulta la formulació de les hipòtesis', perquè era evident la no referència al patró AR i també la incomprensió en relació a les característiques dels descendents en el patró d'herència XR
- > i també 'Emergeixen errors conceptuals en la formulació d'hipòtesis', perquè es constata que l'estudiant feia un error en no conèixer que els fills mascles reben el gonosoma Y del pare, que no té cap al·lel implicat amb la patologia estudiada.

La resposta d'una de les estudiants: La Variable Dependent és el nombre de papallones negres, en el context d'un experiment per demostrar que la selecció natural és un mecanisme de l'evolució i en el qual s'allibera el mateix nombre de papallones blanques i papallones negres marcades en una zona rural i en una zona contaminada, a la rúbrica es comptabilitzava:

- > com a 'La incomprensió del disseny dificulta la identificació de variables', perquè així emergia del diàleg estudiant-investigadora, que evidenciava que l'estudiant no entenia per què es repetia el procés en una zona rural i en una contaminada.

- > com a 'La no formulació d'hipòtesis en forma de deducció sembla originar les dificultats en la identificació de VI i VD', perquè l'estudiant havia formulat la hipòtesi com una simple predicció: *Potser les papallones fosques es camuflen millor.*

Si una estudiant deia La VD és "Encreuament entre un mascle afectat de ceguesa progressiva i una femella normal i a l'inrevés". I també ha de tenir en compte les variables controlades: per això fa encreuaments entre mascles i femelles normals, a la rúbrica es comptabilitzava:

- > com a 'L'estudiant no té clars els conceptes de variable independent, variable dependent i variables controlades', perquè confonia VI amb VD.
- > com a 'L'estudiant confon el concepte de grup control amb el concepte de variables controlades', perquè l'encreuament que esmentava entre mascles i femelles normals és precisament el grup control en el context d'una investigació en què es creuaven mascles cecs amb femelles normals, i també mascles normals amb femelles cegues, per determinar quin patró, si AR o XR, seguia aquesta suposada patologia genètica que salta generacions.

3.3. Metodologia d'anàlisi de característiques i resultats d'avaluació científica en les proves d'accés a la universitat (Objectiu 3)

Per abordar la resposta a les preguntes derivades de l'objectiu 3 es van utilitzar els exàmens de biologia de PAU de Catalunya, per tal d'identificar quina relació mostren entre coneixement conceptual i coneixement procedimental, i per examinar si els estudiants responen de la mateixa manera les qüestions que aborden coneixement conceptual i aquelles que es refereixen a indagació. Es van plantejar les següents preguntes, la primera en relació a les característiques de les qüestions i, les altres quatre, referides als resultats:

Quines característiques tenen les qüestions?

Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació, segons les característiques de la demanda?

Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació i de contingut, plantejades en un mateix ítem a partir del mateix context o estímul?

Són diferents les qualificacions d'indagació i les notes globals, comparant les diverses proves?

Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?

3.3.1. Metodologia d'anàlisi de les característiques de les qüestions

Per respondre la primera pregunta i descriure què es demana i com es demana en relació a la indagació científica en les Proves d'Accés a la Universitat (PAU), es van analitzar exàmens de biologia de Catalunya dels últims anys.

Mostra i eina de recollida de dades en relació a les característiques de les qüestions:

Es van recollir les qüestions dels exàmens de biologia de les PAU de Catalunya de 2011 a 2015 obtingudes a la web <http://www.ub.edu/geneticaclassess/pau/>. La mostra utilitzada està constituïda per les qüestions dels exàmens de biologia PAU d'aquests 5 anys, provinents de les 3 proves confeccionades per a cada any, la prova titular de juny, la d'incidències de juny i la prova de setembre. Les proves tenen qüestions de set blocs temàtics establerts pels seus autors, sis dels quals reben

el nom del bloc de contingut conceptual i avaluen (1Metabolisme, 2 Immunologia, 3 Genètica i Evolució, 4 Biologia Molecular i Biotecnologia, 5 Microbiologia, i 6 Ecologia), mentre que el setè bloc és anomenat Disseny Experimental i està centrat en indagació.

Estructura de la prova		Exemple de continguts	
Ítem 1 3 qüestions (3 punts)		Ítem 1 Context o estímul: L'àcid cítric dels llimoners Metabolisme/ Metabolisme/ Biotecnologia	
Ítem 2 2 qüestions (2 punts)		Ítem 2 Context o estímul: El dengue Immunologia/ Immunologia	
Ítem 3 A 3 qüestions (3 punts)	Ítem 3 B 3 qüestions (3 punts)	Ítem 3 A Context: Purins Ecologia/ Disseny Exp./ Ecologia	Ítem 3 B Context: Genomes d'Homínids Evolució/ Evolució/ Genètica
Ítem 4 A 2 qüestions (2 punts)	Ítem 4 B 2 qüestions (2 punts)	Ítem 4 A Context: VIH Microbiologia/ Microbiologia	Ítem 4 B Context: Herbicides Disseny Exp./ Metabolisme

Figura 4. Estructura de l'examen de biologia de PAU i exemple de continguts d'un examen

Cada prova té sis ítems, que contenen qüestions d'aquests set blocs, organitzats en dues opcions, A i B: ítem 1, ítem 2, ítem 3A, ítem 4A, ítem 3B i ítem 4B. Els estudiants han de respondre l'ítem 1 (3 punts) i l'ítem 2 (2 punts), i han d'escollir o bé l'ítem 3A (3 punts) i l'ítem 4A (2 punts), o bé l'ítem 3B (3 punts) i l'ítem 4B (2 punts). La puntuació màxima de l'examen és de 10 punts. En conjunt, es van analitzar 90 ítems: 5 anys x 3 proves/any x 6 ítems/prova. La Figura 4 ajuda a visualitzar l'estructura de l'examen i mostra l'exemple dels continguts d'un dels exàmens analitzats.

Cada un dels ítems proposa un context, del qual es desprenen diverses qüestions i subqüestions, que poden ser obertes o tancades; a més, cada una de les qüestions i subqüestions pot plantejar diverses demandes. Per exemple, la qüestió *'En un estudi sobre l'eficàcia d'una vacuna per prevenir la pesta porcina, els animals han estat seleccionats fent una anàlisi per determinar si tenien o no anticossos anti pesta porcina: a quina estratègia experimental correspon aquesta prova? Expliqueu per què els animals amb anticossos no poden ser utilitzats en l'experiment'* conté dues demandes. La primera demanda està relacionada amb l'estratègia de control de variables i és de resposta tancada; la segona demanda, en canvi, és de resposta oberta i implica coneixement conceptual explícit, perquè en la resposta s'ha d'explicar que aquests animals rebutjats ja tenen

memòria immunològica. La Figura 5 mostra un d'aquests ítems, amb el seu context, les dues qüestions que proposa i el bloc temàtic al qual corresponen.

En conjunt s'han analitzat 368 demandes: 293 demandes dels blocs de continguts conceptuals i 75 demandes del bloc de preguntes d'indagació. Aquestes 75 demandes d'indagació corresponen a 51 subqüestions, que es desprenen de 26 contextos que són descripcions d'investigacions.



<p>Ítem 2013 4A: Context o estímul: L'any 1864, l'Acadèmia de les Ciències de París va convocar un concurs per premiar qui demostrés, de manera definitiva, si era possible o no generar vida espontàniament a partir de matèria no viva. Louis Pasteur guanyà el premi: va fer bullir un brou de carn en dos tipus de matrassos.</p>	
<p>Els matrassos del primer tipus eren de coll de cigne, és a dir, tenien el coll llarg i en forma de S. Després de l'ebullició, l'aigua estèril es condensava al colze del coll i feia de filtre, de manera que deixava passar l'aire, però no els microorganismes que transportava, els quals hi quedaven retinguts.</p>	<p>Els matrassos de l'altre tipus eren de coll vertical i, per tant, el brou estava en contacte directe amb l'aire.</p>
	
<p>Pasteur va introduir la mateixa quantitat de brou a cadascun dels matrassos, i el va fer bullir per destruir els possibles microorganismes que pogués contenir. Després el deixà refredar. Al cap d'uns quants dies, el brou contingut als matrassos de coll vertical es va podrir, mentre que el brou contingut als matrassos de coll de cigne es va conservar estèril.</p> <p>1. Qüestió (ED): Formuleu una de les possibles hipòtesis que van portar Pasteur a plantejar aquest experiment. Quines són les variables independent i dependent?</p> <p>2. Qüestió (ED): Respecte al disseny de l'experiment, responeu a les qüestions següents:</p> <p>a) Subqüestió: En la figura de la pàgina anterior es veuen diversos matrassos de cada tipus. Quin sentit té fer rèpliques en un experiment?</p> <p>b) Subqüestió: Enumereu dues variables que cal controlar perquè els resultats d'aquest experiment siguin fiables. Justifiqueu la resposta.</p>	

Figura 5. Exemple d'ítem d'un examen de PAU de biologia

Eina d'anàlisi de dades de les característiques de les qüestions:

Per fer aquesta anàlisi es va elaborar una **taula de codificació pròpia, per tal de descriure les característiques de les qüestions** (Taula 14), amb tres categories, i s'utilitzà una aproximació parcialment inductiva (considerant els exàmens de biologia de PAU), i parcialment deductiva (guiada pels referents de la literatura):

la primera categoria es refereix a l'obertura de les qüestions tal i com és definida per Bybee, McCrae i Laurie (2009). Mentre que les qüestions obertes demanen una resposta relativament llarga i també explicacions o justificacions, les qüestions tancades es poden respondre amb una paraula o una frase curta.

la segona categoria parteix de les demandes habituals en els exàmens de biologia de PAU i considera la descripció d'habilitats de la competència científica (OECD, 2013; Sanmartí i Marchán-Carvajal, 2014; Sánchez Espinoza, Couso i Hernández, 2015). D'acord amb la descripció de la competència científica del Framework 2015 PISA (OECD, 2013), s'hi agrupen aquestes habilitats en tres competències:

- > avaluar i dissenyar indagació científica: identificar preguntes investigables, proposar i avaluar maneres d'explorar aquestes preguntes, identificar variables, considerar la importància de rèpliques i controls, gestionar i tractar informació.
- > interpretar dades científicament: analitzar i interpretar dades i proposar conclusions.
- > explicar fenòmens científicament: recordar informació científica, utilitzar coneixement científic per descriure o interpretar fenòmens i proposar explicacions, fer i justificar prediccions i formular hipòtesis.

la tercera categoria es refereix a la tipologia de les investigacions proposades en les qüestions d'indagació, d'acord amb el criteri utilitzat per Binns i Bell (2015). Divideix les investigacions en experimentals i no experimentals. Només les experimentals impliquen la manipulació de variables, habitualment inclouen la formulació d'hipòtesis i demanen un grup control i realització de rèpliques. Les no experimentals poden ser, per exemple, reculls de dades i inferències per a una millor explicació, com en el cas de la teoria evolutiva de Darwin.

Es van identificar les característiques de les 368 demandes de totes les qüestions, i també es van comparar les característiques de les demandes de les qüestions de contingut conceptual (N=293) i de les qüestions d'indagació (N=75), per tal d'examinar les habilitats que es consideren i per descriure si avaluen conjuntament coneixement conceptual i coneixement procedimental -d'acord amb les orientacions del National Research Council (2012)-. Si en les qüestions de contingut conceptual es plantejaven poc sovint demandes de la competència *avaluar i dissenyar indagació científica*, i les demandes eren majoritàriament de la competència *explicar fenòmens científicament*; mentre que en les qüestions d'indagació habitualment no es plantejaven demandes d'aquesta competència d'*explicar fenòmens científicament*, s'evidenciaria una avaluació separada del coneixement conceptual i el coneixement procedimental. La descripció dels set blocs temàtics establerts pels autors de la prova ens feia suposar que comportava aquest risc.

Per dur a terme l'anàlisi de les característiques de les qüestions, dues codificadores, totes dues professores d'ensenyament secundari postobligatori, van examinar les qüestions utilitzant aquesta Taula 14. Els resultats finals es van obtenir resolent les diferències de codificació per mitjà de discussió, fins arribar a un consens.

Taula 14. Categories per analitzar les característiques de les qüestions

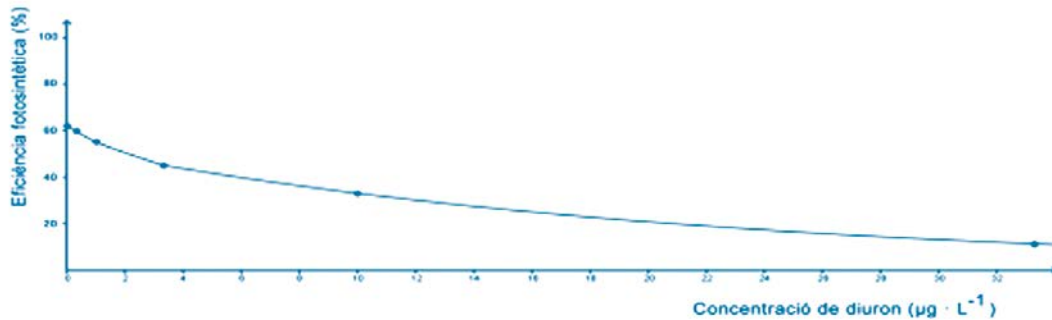
Primera categoria: OBERTURA DE LES QÜESTIONS		
Resposta tancada		C
Resposta oberta		O
COMPETÈNCIES CIENTÍFIQUES	Segona categoria: HABILITATS I CARACTERÍSTIQUES DE LA COMPETÈNCIA CIENTÍFICA "ABILITIES and FEATURES"	
Avaluar i dissenyar indagació científica	Identificar la pregunta explorada en un estudi científic donat	IQ
	Proposar i avaluar maneres d'explorar una pregunta científica donada	PM
SCIENTIFIC INQUIRY = SI (INDAGACIÓ CIENTÍFICA)	Identificar variables, incloent la dependent, la independent i les controlades	IV
	Considerar la importància i el rol de la utilització de rèpliques i grup control en les investigacions experimentals	R&C
Interpretar dades científicament	Aplicar les formes habituals d'abstracció i representació de dades	GI
	Fer i interpretar gràfics, taules, pedigrís, piràmides de biomassa i producció, xarxes tròfiques, càlculs numèrics, claus dicotòmiques, etc.	
Explicar fenòmens científicament SCIENTIFIC KNOWLEDGE = SK (CONEIXEMENT CIENTÍFIC)	Analitzar i interpretar dades i evidències científicament i proposar conclusions adequades	A&C
	Recordar coneixement científic	RK
	Utilitzar coneixement per descriure o interpretar fenòmens i proposar explicacions	D&I&E
	Fer i justificar prediccions	P&J
	Formular hipòtesis	FH
Tercera categoria: CARACTERÍSTIQUES DE LES INVESTIGACIONS		
Investigacions experimentals		EI
Investigacions no-experimentals		NEI

Tot seguit mostrem un parell d'exemples d'aplicació de l'eina al procés d'anàlisi de dades:

- > En analitzar l'ítem de la Figura 5, que provenia d'un examen de 2013, es va anotar que la qüestió 1 plantejava dues demandes: formulació de la hipòtesi i identificació de variables, totes dues tancades. Tot i que cap de les qüestions no demanava explicitar coneixement conceptual, per abordar aquestes qüestions l'estudiant havia de mobilitzar-ne en relació amb la teoria superada de la generació espontània i la demostrada amb aquest experiment i anomenada teoria de la biogènesi, i també havia de mostrar coneixements en relació amb el fet que la forma del coll dels matrassos pot permetre o no l'entrada d'espores de microorganismes presents a l'aire, i amb el fet que aquesta possible arribada de microorganismes provoqui la putrefacció del brou. Per això, en l'anàlisi de dades es va comptar 1 demanda de l'habilitat '*Formular hipòtesis*', 1 demanda de l'habilitat '*Identificar variables*' i també 1 demanda de l'habilitat '*Descriure, interpretar fenòmens i proposar explicacions*'. L'experiment descrit com a estímul es comptava com a una investigació experimental quan s'analitzava amb la tercera categoria de la Taula 14.
- > La Figura 6 mostra un altre ítem, en aquest cas d'un examen de 2015, que contenia qüestions d'indagació i també qüestions de contingut conceptual del bloc de Metabolisme. En aquest cas, 4 de les 5 demandes que plantejaven les dues subqüestions d'indagació eren tancades perquè es podien respondre amb poques paraules (quina és la VI, quina és la VD, quines altres variables cal controlar, i esmentar quatre d'aquestes variables) i sense que fes falta domini de coneixements conceptuals; la cinquena demanda, la que plantejava la subqüestió 1b, també es va comptar com a demanda tancada, perquè es podia contestar amb una frase curta dient, simplement, que a major concentració de diuron, menor eficiència fotosintètica, i per arribar a aquesta conclusió no calia saber res de fotosíntesi. Per tant, en analitzar les demandes no es comptava cap demanda de la competència '*Explicar fenòmens científicament*', sinó només 4 demandes de l'habilitat '*Identificar variables*' i 1 demanda de l'habilitat '*Analitzar dades i proposar conclusions*'.

Context o estímul: Fa temps que es detecta la presència d'herbicides als rius catalans. L'aigua d'escorrentia s'emporta part dels herbicides que s'utilitzen en els camps de conreu i van a parar als rius. Els alumnes d'un institut van visitar l'Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA), i en un dels laboratoris van fer una petita investigació per veure com afectava un herbicida els cultius d'algues.

1. Qüestió (ED): El gràfic següent indica els resultats que els alumnes van obtenir en analitzar l'efecte de l'herbicida diuron sobre un cultiu d'algues de l'espècie *Scenedesmus vacuolatus*.



a) Subqüestió: Quina es la variable dependent en aquest experiment? I la independent? Quines altres variables cal controlar durant l'experiment? Esmenteu-ne quatre.

b) Subqüestió: Quina conclusió podeu treure a partir de la informació del gràfic?

2. Qüestió (Metabolisme): El diuron es un herbicida que actua inhibint la cadena de transport d'electrons del fotosistema II, la qual intervé en les reaccions que es duen a terme en la fase lluminosa de la fotosíntesi.

a) Subqüestió: En quin orgànul cel·lular i en quina part d'aquest està situat el fotosistema II?

b) Subqüestió: Expliqueu per què les plantes i les algues es moren quan se'ls aboca una quantitat suficient d'aquest herbicida. En la resposta, cal que hi surtin els termes següents: *fotosistema II*, *NADPH*, *electrons*, *glucosa*

Figura 6. Exemple d'ítem d'un examen de PAU de biologia

A més de descriure què es pregunta i com es pregunta en els exàmens de biologia de les PAU a Catalunya, a l'Objectiu 3 es proposava analitzar quins resultats obtenien els estudiants, i si responien de la mateixa manera les preguntes que aborden coneixement procedimental que les preguntes centrades en coneixement conceptual. Les dades recollides amb aquesta finalitat corresponien a les qualificacions dels estudiants en aquestes proves.

Mostra i eina de recollida de dades en relació als resultats obtinguts pels estudiants:

Per respondre aquestes preguntes relacionades amb els resultats obtinguts pels estudiants, es va treballar a partir de les qualificacions dels exàmens de biologia de PAU, perquè totes elles es refereixen a les notes obtingudes en els exàmens. Es van poder recollir les notes de tots els exàmens de la prova titular de juny dels anys 2013, 2014 i 2015 corregits pel professorat que constitueix l'equip que confecciona les proves. Es va poder disposar d'aquestes dades perquè l'equip, amb l'objectiu de fer seguiment dels resultats de les proves, recull cada any en un Excel les qualificacions obtingudes per cada estudiant en cada qüestió, utilitzant una mostra d'estudiants de les diverses zones geogràfiques de Catalunya on, cada any, uns 9000 estudiants s'examinen de biologia. L'anàlisi de resultats es va fer amb dades d'aquests anys 2013, 2014 i 2015, perquè les dades dels dos cursos anteriors -2011 i 2012- eren incompletes. Per tant, es van analitzar els resultats de 6 proves: 2013A, 2013B, 2014A, 2014B, 2015A i 2015B. A les proves 2013B i 2014A no hi figurava cap qüestió del bloc de Disseny Experimental.

La mostra estudiada ($N = 3239 = 1125 + 1265 + 849$) corresponia a les tres poblacions d'estudiants:

- > dels 8624 estudiants examinats de biologia a Catalunya el 2013, es van analitzar els resultats d'una mostra de 1125
- > d'una població de 8772 el 2014, la mostra analitzada va ser de 1265
- > dels 9042 exàmens de biologia el 2015, es van analitzar els resultats d'una mostra de 849

Està garantida la màxima uniformitat en les circumstàncies en què es realitzen els exàmens. També està garantida la màxima uniformitat en els criteris de correcció, pautats per l'equip que prepara les proves, perquè els exàmens de la mostra van ser corregits pels professors d'aquest equip, la qual cosa garanteix la màxima coincidència en l'aplicació d'aquests criteris.

Eines d'anàlisi de dades en relació amb els resultats obtinguts pels estudiants:

Per procedir a l'**anàlisi dels resultats obtinguts pels estudiants** es va utilitzar el software SAS (v9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) i es va comptar amb la col·laboració del Servei d'Estadística Aplicada (SEA) de la UAB. Es va calcular, per a cada estudiant, la nota per a cada qüestió, per a cada bloc temàtic i la nota global, totes referenciades a 10. Les decisions estadístiques es van dur a terme prenent com a nivell de significació el valor 0.05.

Es va fer **anàlisi estadística per abordar la resposta a les diverses qüestions plantejades** en relació amb els resultats obtinguts pels estudiants en els exàmens de biologia **seguint les propostes d'anàlisi del SEA**. Tot seguit s'explica la metodologia d'anàlisi utilitzada per a cada una de les preguntes, que recordem que eren:

Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació segons les característiques de la demanda?

Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació i de contingut, plantejades en un mateix ítem a partir del mateix context o estímul?

Són diferents les qualificacions d'indagació i les notes globals, comparant les diverses proves?

Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?

3.3.2. Metodologia d'anàlisi de la pregunta: Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació segons les característiques de la demanda?

Per dur a terme aquesta anàlisi es va estimar la probabilitat d'obtenir un 10 en les diferents qüestions d'indagació (2013 4A1, 2013 4A2, 2014 3B1, 2015 3A2 i 2015 4B1), establint un model de regressió logística (Hosmer i Lemeshow, 2013) per a l'indicador binari d'ocurrència de nota '10' en el bloc d'indagació, posant com a covariable la prova (any, opció, qüestió). La comparació es va fer en referència a la qüestió 2013 4A1, l'única en què les demandes combinen conceptes científics (comprensió de la teoria de la biogènesi i de la refutació de la teoria de la generació espontània) i habilitats d'indagació (formulació d'hipòtesis i identificació de variables), mentre que les altres qüestions es poden respondre utilitzant només coneixement procedimental. Es van calcular les probabilitats estimades i els corresponents Intervals de Confiança de treure nota 10, i també el Wald-Chi-square (p valor < 0.0001) per determinar si les diferències eren estadísticament signifi-

ficatives. A més, es van calcular els odds d'ocurrència i no ocurrència. Per tal de contrastar les diferències entre convocatòries, es va emprar la magnitud Odds Ratio, que és el quocient entre dos odds.

3.3.3. Metodologia d'anàlisi de la pregunta: Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació i de contingut, plantejades en un mateix ítem a partir del mateix context o estímul?

Per dur a terme l'anàlisi de les notes d'indagació versus les d'altres continguts, es van considerar aquells ítems (2014B, 2015A i 2015B) en les quals, a partir d'un mateix context, algunes qüestions es refereixen a habilitats d'indagació, mentre que d'altres estan centrades en coneixement conceptual; d'aquesta manera es minimitza l'efecte de variables no controlades, assegurant el predomini de la variable independent estudiada: coneixement conceptual o coneixement procedimental. Es van utilitzar els estadístics descriptius bàsics (mitjana, desviació estàndard, Q1, Q3, i mediana o Q2) i també es va calcular el percentatge d'estudiants amb qualificació màxima de 10. Per comparar la nota de les qüestions d'indagació i la nota de cada una de les altres qüestions, es va utilitzar un contrast no paramètric per a dades aparellades, el Signed Rank test, que dona la significació estadística de les diferències: per a cadascuna de les qüestions d'indagació es van calcular, per a cada estudiant, les diferències entre la nota de la qüestió d'indagació i cadascuna de les notes de les altres qüestions del mateix ítem ($p_valor < 0.0001$), i els estadístics descriptius bàsics d'aquestes diferències.

3.3.4. Metodologia d'anàlisi de la pregunta: Són diferents les qualificacions d'indagació i les notes globals, comparant les diverses proves?

Per tal de procedir a l'anàlisi estadística per comparar les qualificacions d'indagació i les notes globals, es van identificar dues variables: nota global obtinguda en la prova de biologia, i nota del bloc d'indagació, que es va obtenir considerant les notes de les diverses qüestions que avaluaven aquest bloc. La nota global, que és la suma de qualificacions obtingudes en el conjunt de qüestions de la prova, té un pes de més del 80% de les notes de qüestions de contingut conceptual. Com que la nota global té un màxim de 10, totes les notes es van referenciar a 10. Els histogrames de freqüències de cada nota de 0 a 10 van ajudar a contrastar els patrons en la distribució de qualificacions de nota global i de nota d'indagació. Per determinar la significativitat estadística de les

diferències es van fer servir dos procediments: la freqüència de qualificació >9 i la determinació de percentils:

- > Donada l'elevada freqüència de qualificacions d'indagació altes, es va examinar la proporció d'estudiants amb un valor superior a 9 en nota d'indagació i en nota global. Es van categoritzar segons 'nota > 9 ' o 'nota ≤ 9 '. Això va permetre calcular la proporció estimada d'estudiants a cada categoria en aquestes dues qualificacions, i calcular els Interval de Confiança al 95% per a les proporcions.
- > També es va calcular i representar gràficament cada percentil de la distribució de notes d'indagació i notes globals, i el seu Interval de Confiança (Hahn, G.J. & Meeker, 1991).

3.3.5. Metodologia d'anàlisi de la pregunta: Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?

Per dur a terme l'anàlisi de l'associació entre la nota global i la nota d'indagació, es van categoritzar les qualificacions de les qüestions d'indagació en quatre grups: '0 - <2.5 '; '2.5 - <5 '; '5 - <7.5 '; '7.5 - 10', que es va considerar que corresponien als quatre grans nivells de competència. Es van utilitzar gràfics de caixa (Moore, 2010) per representar els estadístics descriptius bàsics (Q1, Q3, mitjana, mediana, mínim i màxim) de la nota global per a cada una de les quatre categories de qualificació d'indagació. També es va fer la prova ANOVA de l'anàlisi de la variància de la nota global en funció de la categorització de la nota d'indagació.

SECCIÓ IV.

RESULTATS

113

- 4.1.** Identificació de dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma
- 4.2.** Identificació de dificultats dels batxillers en habilitats d'indagació en les activitats d'aula
- 4.3.** Anàlisi de característiques i resultats de l'avaluació d'habilitats d'indagació científica en les PAU

En aquest apartat es presenten els resultats de la tesi, organitzats en funció dels objectius de la recerca i de les preguntes plantejades en cada un dels objectius.

4.1. Resultats en relació amb l'Objectiu 1: Identificació de dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma

En relació amb aquest objectiu ens plantejàvem dues preguntes:

Quines dificultats mostren els estudiants en la realització de treballs d'indagació?

Quines dificultats mostren els estudiants en la formulació de preguntes investigables?

4.1.1. Resultats en relació a la pregunta: Quines dificultats mostren els estudiants en la realització de treballs d'indagació?

Aquesta pregunta es va respondre amb la categorització de les dades recollides de memòries, qüestionaris i presentacions orals dels TR d'un grup (N=23) d'estudiants de segon de batxiller del curs 2012-13.

Aquests resultats van permetre identificar en quins aspectes presenten majors dificultats els batxillers en els seus treballs d'indagació. Es va observar que apareixien des dels primers passos, en la identificació de preguntes investigables, i s'incrementaven en la formulació d'hipòtesis, i encara més en els successius processos que es refereixen a la planificació de la investigació i a la identificació de variables (Figura 7).

Només 8 dels 23 estudiants plantegen problemes investigables i concreten preguntes adequades, basades en fets i que suggereixen aspectes metodològics per respondre les preguntes plantejades (per exemple, *A quines espècies pertanyen les espores de fongs presents a l'aire de les aules? Són diferents en funció de l'orientació de l'aula i de la humitat ambiental o de la presència d'estudiants? o Com ha variat la freqüència de cesàries els últims cinquanta anys? o Hi ha diferències en la presència de bacteris en els enciams, si es comparen els d'un hort familiar i els que es poden comprar ja preparats en bosses als supermercats? o Les altes pressions redueixen la presència de bacteris en embotits envasats i són un bon mètode de conservació, amb caducitat*

similar als tractaments tèrmics?). El nombre s'eleva a 14 dels 23 si es pretén que identifiquin preguntes investigables, que es poden respondre recollint dades, encara que no concretin interrogants que orientin la recerca (per exemple, *És molt freqüent el càncer a la nostra població?* o *Hi ha diferències en la distribució dels líquens?* o *L'edat influeix en les complicacions de l'embaràs?*)

Els altres 9 estudiants plantegen, en el seu TR, preguntes no investigables, d'informació (per exemple, *Què és el carbó i com es va formar el carbó de les mines d'Ogassa?* o *Hi ha cabirols a la Garrotxa?* o *Quan som petits dormim més i, a mesura que creixem, cada cop menys?*), o preguntes inabordables (per exemple, *Com m'afecten les emocions?* o *Quin percentatge del comportament dels gossos és adquirit i quin és heretat?* o *Influeix la dieta alimentària d'un infant en els problemes que pugui tenir en relació amb el son?* o *Les plantes transgèniques tenen millors qualitats morfològiques i són més resistents?*) o amb formulació ambigua o genèrica (per exemple, *S'ha modificat el consum de drogues en les dues últimes generacions?* o *En quins esports estic més ben adaptat?*)

Només 9 dels 23 estudiants formulen sense ambigüitats hipòtesis que encaixen amb els problemes de recerca i que suggereixen variables (per exemple, *A zones amb molta humitat, com els vestidors del gimnàs, la concentració d'espores fúngiques a l'aire serà molt més elevada* o *La freqüència de cesàries ha anat en augment, entre altres motius per l'augment de l'edat de les parteres* o *La presència de bacteris *Enterobacteris* serà més elevada en els enciams d'hort i és d'esperar que no n'hi hagi en els de bosses preparades* o *Els nadons prematurs tenen resultats del test d'Apgar inferiors a 7*)), però només un formula la hipòtesi fent referència a conceptes científics (*En aquesta distròfia hereditària es veu afectada inicialment la musculatura de les parpelles i de la cintura escapular i, per tant, les persones afectades mostraran dificultats en la realització de moviments que impliquen la utilització d'aquests músculs. Llavors, si proposem a un individu activitats de la vida diària que precisen de la seva intervenció, observarem diferències significatives entre els afectats i els no afectats per la distròfia*).

Cinc dels 14 estudiants que han plantejat problemes investigables, formulen hipòtesis ambigües o mal formulades i que són simples prediccions (per exemple, *Les dones, si fumen, potser patiran osteoporosi* o *En algunes famílies hi ha més casos de càncer* o *L'equilibri es pot entrenar*).

Considerant els dos processos, és a dir, plantejament de problemes investigables que concreten interrogants, i formulació d'hipòtesis en forma de deducció i coherents amb el problema, només un de cada tres TR mostra aquestes característiques.

En la planificació de la investigació, només la meitat dels estudiants estan categoritzats en els nivells alts de la rúbrica (3 i 4), amb dissenys que ofereix una comprovació prou adequada de les hipòtesis i un abordament apropiat del problema, tot i que només són sis dels vint-i-tres els que proposen una metodologia acurada, que inclou rèpliques i controls. Per exemple, l'estudiant que investiga factors de risc d'osteoporosi recull dades de dones amb tractament per osteoporosi i de les que té informació en relació a l'hàbit fumador, i també recull dades dels companys de classe i els seus pares i mares, referides a si fumen o no i si pateixen o no osteoporosi: no considera la influència, determinant en aquest cas, de l'edat. O l'estudiant que es preguntava *Com m'afecten les emocions?* o *Per què tinc ganes de plorar sense cap motiu?* recull dades per mitjà d'una enquesta en la qual demana resposta a qüestions com ara *Quan un adolescent té problemes, a qui demana ajuda?* o *Quines emocions es respiren a casa teva?* o *L'adolescent sap què vol fer amb la seva vida?* que no sembla que puguin aportar dades per respondre les preguntes inicials.

I és en la categoria d'identificació de variables on es detecten les majors dificultats, perquè només set estudiants són capaços d'identificar les variables dels seus dissenys metodològics, i és habitual la confusió de la variable independent amb la variable dependent o de les variables controlades amb la variable independent. Per exemple, l'estudiant que va realitzar l'estudi sobre la distròfia muscular, i va formular una hipòtesi acurada en forma de deducció i fent referència a conceptes científics, va preparar un test molt adequat per explorar els signes de la patologia, però no va tenir en compte el control de variables i el va passar a dos grups d'individus, uns amb distròfia i els altres sans, però d'edats molt diferents (uns, pacients hospitalaris de més de 40 anys i, els altres, companys de classe); a més, a la pregunta de quines eren la VI i la VD del seu disseny, responia que no havia utilitzat un disseny experimental i deia *'...jo no tinc variables...'*. També l'exemple citat en el paràgraf anterior, referit a l'estudi de factors de risc d'osteoporosi, l'estudiant no va tenir en compte el control d'una variable tan influent com és l'edat dels individus enquestats. És també remarcable el cas de l'estudiant que va fer un treball excel·lent sobre els cecidis, en el qual recollia mostres, les fotografiava amb una càmera termogràfica i anotava si els cecidis tenien o no

l'obertura que indicava la sortida de l'insecte i si la termografia indicava o no activitat metabòlica: tanmateix, quan se li preguntava per les variables implicades en la seva investigació, responia que no en tenia.

En la recollida de dades, en el seu tractament, i en la seva anàlisi i l'obtenció de conclusions argumentades, el pes dels dèficits en els estadis previs fa que la investigació evidenciï la falta de coherència: si la metodologia no permet abordar les preguntes investigables, les dades no poden servir per respondre aquestes preguntes, i no és possible argumentar conclusions que lliguin, a més dels resultats, els conceptes relacionats, i la relació entre les hipòtesis i les dades interpretades.

La referència a conceptes en els quals es fonamenta la recerca és, en la majoria dels casos, genèrica i poc centrada en la investigació realitzada, amb un pes excessiu en el conjunt de la memòria. Per exemple, en un treball sobre les cistitis, la seva major freqüència en les dones i els problemes de cronificació i resistència als antibiòtics, l'estudiant descriu àmpliament l'anatomia i fisiologia de l'aparell excretor i, en canvi, no fa cap referència a les mutacions preadaptatives que estan en l'origen d'aquesta resistència. O en un treball sobre freqüència de cesàries i en un altre sobre problemes en els parts en funció de l'ètnia, les estudiants expliquen amb detall l'anatomia i fisiologia de l'aparell reproductor femení. En canvi, la cerca de referents teòrics i precedents és sovint escassa o nul·la. Així, per exemple, en aquests dos treballs relacionats amb el part, no s'aporta cap estudi de referència amb el qual s'haurien pogut contrastar les dades obtingudes en la investigació.

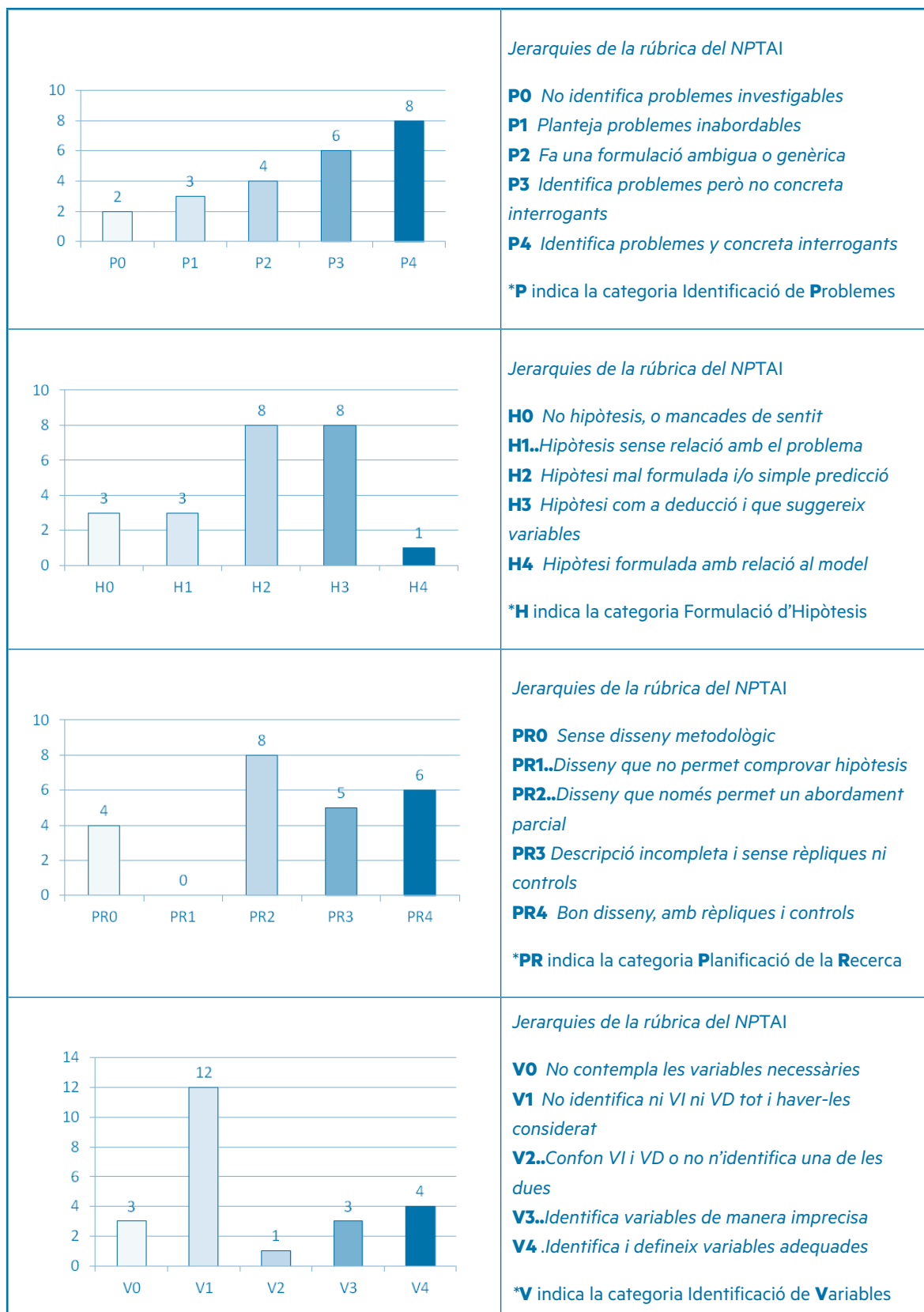


Figura 7. Resultats de codificació dels treballs de recerca amb l'eina NPTAI, on **P** indica Identificació de Problemes Investigables, **H** indica formulació de la Hipòtesi, **PR** indica Planificació de la Recerca o Investigació, i **V** indica Identificació de Variables, i els números que segueixen, de **0** a **4**, indiquen la jerarquia de la rúbrica

Els NCI (Figura 8) derivats de la recodificació dels resultats obtinguts amb l'eina NPTAI mostren que hi ha un predomini dels estudiants situats en els nivells inferiors. Només la meitat dels estudiants té un nivell de competència que es pot considerar d'indagador: bon indagador (13%), indagador insegur (17%) o indagador incipient (26%). L'altra meitat, o no identifica problemes investigables, o ho fa de manera molt ambigua, confon problemes amb hipòtesis, proposa metodologies que només permeten una comprovació parcial de les hipòtesis formulades, utilitza metodologia experimental sense controlar variables, fa un recull de dades imprecís o inadequat, i el tractament d'aquestes dades mostra mancances i errors, i tot plegat mena a una anàlisi deficient dels resultats i a propostes de conclusions que no estan fonamentades.

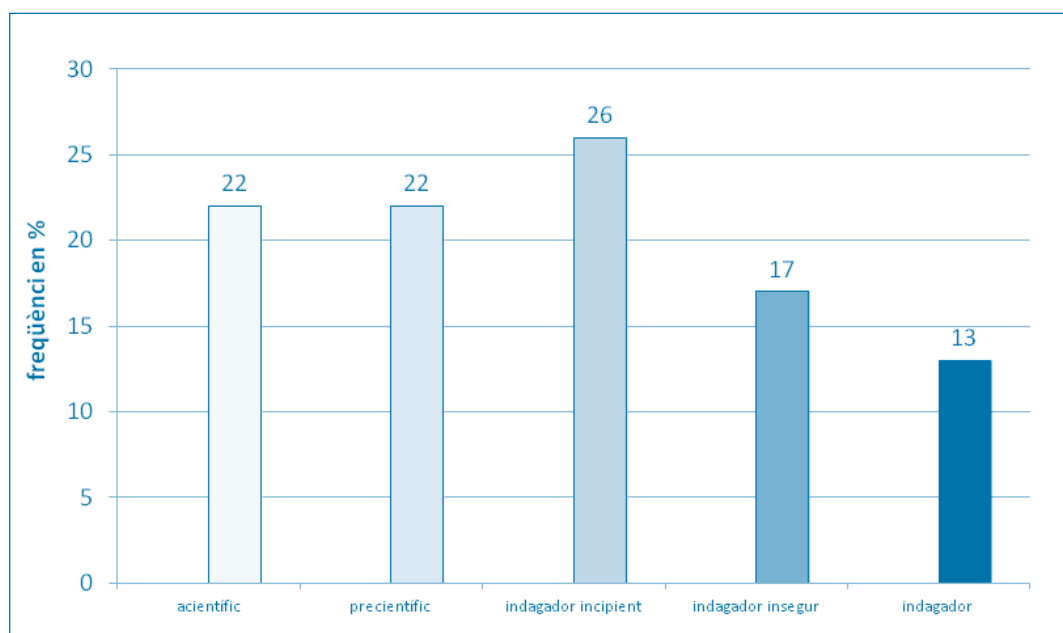


Figura 8. NCI derivats de l'avaluació de memòries de treballs de recerca amb el NPTAI

Així, per exemple, entre els estudiants qualificats com a *Indagadors insegurs* hi ha l'estudiant que va dur a terme una investigació en la qual concretava el problema investigable *Podem dissenyar una bateria senzilla de proves diagnòstiques per identificar les persones afectades de distròfia facio-escàpulo-humeral?* A partir d'aquí, formulava adequadament una hipòtesi en forma de deducció, i dissenyava una bateria de proves fonamentada en la informació teòrica recollida; però una vegada l'havia dissenyada, realitzava una sola vegada un test, sense considerar rèpliques, a un grup de persones afectades i a un grup de companys de classe, és a dir, sense controlar variables, i no era capaç d'identificar VI i VD: afirmava '*no tinc variables*'. Amb una codificació de 29 amb l'eina NPTAI, i d'acord amb la descripció dels NCI, va ser codificat com a *indagador insegur*.

Com a exemple d'*Indagador incipient* és significatiu el cas de la investigació que va utilitzar com a font de dades un '*Llibre de Parts*' o quadern d'anotacions de dades recollides per una llevadora durant quaranta anys. Es van detectar dèficits en el plantejament de preguntes, amb obvietats (*Té relació l'edat de la partera amb els riscos associats a l'embaràs? o Hi ha relació entre els embarassos de risc i el tipus de part dut a terme? o Actualment les dones tenen el primer fill en edats més avançades?*). La planificació metodològica permetia comprovar les hipòtesis formulades, però s'identificaven incongruències en els controls (les dades recollides provenien totes d'una clínica privada, amb el biaix que aquest fet pot comportar). Les conclusions eren un resum dels resultats, sense interpretació o amb interpretacions molt simplistes, sense anàlisi comparativa de les dades pròpies i les dades generals, acudint a fonts estadístiques de fàcil accés, sense tenir en compte fenòmens demogràfics com ara la immigració, i sense que es fes referència al fet que no s'havien obtingut dades d'hospitals públics (*La reducció del nombre de parts de 1981 a 1996 s'explica perquè abans les famílies tenien més fills; l'augment posterior a 1996 es deu a una època de bonança econòmica...*)

Entre els treballs identificats com a *Precientífic* hi trobem una investigació sobre els trastorns del son en infants de 0 a 3 anys que plantejava preguntes ambigües, com ara: *Influeix la dieta alimentària d'un infant en els problemes que pugui tenir en relació al son?* pregunta, aquesta, que proposava prenent com a referent l'entrevista a un pediatra publicada en un diari, en la qual s'afirmava que convenia que el nen mengés sempre en el mateix lloc i en el mateix horari, és a dir, es parlava d'influència dels hàbits i no pas de la dieta; o bé preguntes òbvies (*Quan som petits dormim més i a mesura que creixem cada cop menys? o És important mantenir un horari regular de son i uns hàbits previs a aquest durant la infantesa?*). Planificava un disseny metodològic incomplet, sense rèpliques (utilitzava pautes d'observació que només omplia una vegada per a cada infant) ni controls (per exemple, si es volia analitzar la influència de la dieta en els problemes de la son, calia tenir dos grups d'infants amb dietes diferents, o, si es tractava de valorar la influència dels hàbits horaris, calia tenir un grup d'infants d'hàbits regulars i un altre d'hàbits canviants) i amb moltes anotacions sense relació amb les preguntes plantejades inicialment (per exemple, *observar la postura característica de cada nen quan dorm, dormir en llit o en bressol, suar o no, etc.*). L'anàlisi de dades era deficient i les conclusions no fonamentades en dades (per exemple, comptabilitzava com a infants sense problemes d'enuresi o incontinència

urinària tots aquells que utilitzen bolquers) o sense relació amb les preguntes plantejades, sinó en forma de resum de les observacions realitzades (*La majoria dels infants dormen una hora al dia, en postura lateral o de panxa enlaire o els que dormen al bressol suen més, els que dormen panxa avall tenen menys tendència a suar...*).

Els estudiants que han presentat TR categoritzats en el NCI *Acientífic* són els que van plantejar preguntes no investigables o bé preguntes inabordables, que van llastrar tot el seu procés de recerca (com l'estudiant que va realitzar un treball sobre les mines d'Osor, o el que es preguntava si a la Garrotxa hi ha cabirols, quan tothom sap que s'hi van reintroduir fa més de 20 anys). Aquests estudiants no van proposar metodologia i van recollir dades de fonts diverses, bàsicament internet, de les quals van fer un tractament molt deficient o ni tan sols van fer-ne. Sense anàlisi de dades o amb una anàlisi deficient, les conclusions no estan fonamentades en dades.

És remarcable que en les memòries dels tres estudiants amb TR codificats en el NCI *Indagador* es va observar que havien utilitzat una reixeta en la qual relacionaven cada pregunta investigable proposada, amb coneixements científics o precedents de recerca, amb la formulació de la corresponent hipòtesi i amb la concreció de les dades recollides per contrastar-la. S'evidenciava gran coherència entre les preguntes investigables i el disseny metodològic. A més, les conclusions estaven ben fonamentades amb dades de recerca, i es relacionaven conceptes científics amb dades i amb conclusions.

4.1.2. Resultats en relació a la pregunta: Quines dificultats mostren els estudiants en la formulació de preguntes investigables?

Aquesta pregunta es va poder respondre amb les dades recollides en el seguiment dels primers passos de realització del TR. Els resultats de la Taula 15 mostren el progrés en les preguntes proposades pels estudiants d'un grup de primer de batxillerat científic (N=36), recollides en les sessions de treball inicials primera (S1) i tercera (S3). L'aplicació del criteri de codificació que utilitza la rúbrica NPTAI (Criteri 3) va evidenciar que, inicialment, l'alumnat planteja preguntes d'informació, les quals suposen el 57,89 %, i posteriorment progressa cap a la formulació de preguntes investigables: del 26,32 % de nivell 3 i 4 en la primera sessió (13,16% de nivell 3 i també

13,16% de nivell 4), al 71,05 % en la tercera sessió (26,32% de nivell 3 i 44,73% de nivell 4).

El 57,89% de les preguntes proposades en la primera sessió corresponien al nivell 0, eren preguntes no investigables, preguntes d'informació que es responien amb coneixement teòric (com per exemple *Què és el càncer?* o *Per què els àcids afecten el creixement de les plantes?*), i en la tercera sessió (S3) només són de nivell 0 el 13,16%. Les altres preguntes van ser substituïdes pels estudiants per preguntes que es podrien respondre amb dades, malgrat que només el 44,73% eren preguntes ben formulades, sense ambigüitats, basades en fets, que concretaven interrogants i suggerien aspectes metodològics que orientaven la recerca (com per exemple *El càncer és igualment freqüent en els pedigris de famílies xineses i de famílies catalanes i hi són habituals els mateixos tipus de càncer?* o *Com es modifiquen la germinació i el creixement de les mongeteres si l'aigua de reg conté àcids?*)

L'anàlisi de les dades aplicant els dos criteris dicotòmics addicionals – Criteri 1: si la pregunta es pot respondre o no amb dades; i Criteri 2: si la pregunta suggereix o no suggereix la relació entre diverses variables- va mostrar també un progrés evident: es va passar del 42,11 % de les preguntes que es podien respondre amb dades i que també suggerien la relació entre variables a la primera sessió, al 81,57 % de preguntes amb aquestes característiques entre les formulades en la tercera sessió. Es pot observar el solapament entre aquests dos criteris dicotòmics d'anàlisi: totes les preguntes que es podien respondre amb dades suggerien la relació entre variables (per exemple, la coincidència d'aquestes dues característiques es pot observar en les preguntes *Què passa si comparem el risc de patir UPP avaluat amb dues escales diferents?* o *Puc comprovar que la probabilitat de ser esquerrà és més gran si ho és la mare que si ho és el pare?* o *Les freqüències i els tipus de càncer són similars entre famílies de Catalunya i de Xina?*).

En comparar els resultats de codificació amb els dos criteris dicotòmics (Criteri 1: si la pregunta es pot respondre o no analitzant dades; Criteri 2: si la pregunta suggereix o no suggereix la relació entre diverses variables), i els que s'obtenen de la codificació amb la rúbrica NPTAI, s'observa que no totes les preguntes que es poden respondre analitzant dades i que suggereixen la relació entre diverses variable, que són 16, corresponen als descriptors 2, 3 o 4 de la rúbrica jerarquitzada, perquè quatre d'elles suggerien una obtenció de dades inabordable i, per tant, es codifiquen com

a preguntes de jerarquia 1 (per exemple, *Totes les varietats de mongetes creixen de la mateixa manera en una determinada zona? o Es poden curar sempre, en tots les casos, les UPP, seguint un tractament específic?*). Es pot observar, doncs, que la codificació utilitzant la rúbrica NPTAI dona una informació més precisa en relació amb les dificultats dels estudiants.

La Taula 16 transcriu les successives propostes de preguntes dels cinc estudiants de qui es va fer el seguiment durant tres sessions, S1, S2 i S3, i la seva codificació amb la rúbrica NPTAI. En els cinc casos la pregunta inicial (S1) és una pregunta d'informació, corresponent al nivell 0 de la rúbrica, mentre que les preguntes proposades a la sessió S3 es poden respondre analitzant dades i suggereixen metodologia, de manera que corresponen al nivell 4 de la rúbrica.

Taula 15. Progrés en el plantejament de preguntes investigables (Taula 2, Ferrés-Gurt, 2017. El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2))

CARACTERÍSTICAS DE LA PREGUNTA		S1 N=38	%	S3 N=38	%
CRITERIO 1: La pregunta se puede responder analizando datos		16	42,11	31	81,57
CRITERIO 2: La pregunta sugiere la relación entre diversas variables		16	42,11	31	81,57
CRITERIO 3: EVALUACIÓN DE LA PREGUNTA CON LA RÚBRICA NPTAI		N	%	N	%
NPTAI 0	No identifica preguntas investigables sino que propone preguntas de información	22	57,89	5	13,16
NPTAI 1	Plantea problemas inabordables	4	10,53	2	5,26
NPTAI 2	Plantea problemas con formulación ambigua, o genérica, o mal formulada	2	5,26	4	10,53
NPTAI 3	Identifica problemas investigables basados en hechos, pero no concreta preguntas	5	13,16	10	26,32
NPTAI 4	Plantea problemas investigables y concreta preguntas adecuadas, basadas en hechos y que sugieren aspectos metodológicos para responder a las preguntas planteadas	5	13,16	17	44,73

Taula 16. Preguntes proposades per 5 estudiants (E1-E5) i el seu nivell NPTAI (Taula 1, Ferrés-Gurt, 2017. El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 410-426)

E1	S1	¿Qué diferencia hay entre lateralidad y lateralización? ¿Qué tipos de lateralidad hay? ¿Cuándo se define la lateralidad de una persona? ¿Qué factores influyen en la determinación de la lateralidad?	0
	S2	¿Cómo se explora la lateralidad? ¿Dónde se muestra?	0
		¿Qué trastornos de lateralidad existen? ¿Qué es la lateralidad cruzada? ¿En qué procesos de aprendizaje influye la lateralidad?	0
S3	McManus y Bryden demostraron que, si los dos progenitores eran diestros, la posibilidad de que el hijo fuera zurdo era del 9'5%; en cambio, si los dos padres eran zurdos, la probabilidad era del 26%; y, si la madre era zurda, había más probabilidad de que el hijo también lo fuera que si era zurdo el padre. ¿Lo puedo comprobar?	4	
E2	S1	¿Qué son las UPP? ¿Cómo se puede prevenir su aparición? ¿Cuál es la causa mayoritaria? ¿Qué mecanismos las determinan?	0
		¿Qué parte de la población es más afectada? ¿Afecta a todo el mundo por igual? ¿Cuáles son las partes del cuerpo más expuestas a sufrir una UPP?	0
	S2	¿Se pueden curar siempre las UPP, en todos los casos, siguiendo un tratamiento específico?	1
		¿Las úlceras del mismo grado se curan en el mismo tiempo? Si no es así, ¿qué factores influyen?	4
	S3	¿Qué escalas se utilizan habitualmente para estimar el riesgo de sufrir UPP? ¿Hay diferencias significativas entre escalas? ¿Qué sucede si comparamos las evaluaciones con diversas escalas? ¿Cuál sería la escala más adecuada para prevenir las UPP?	4
E3	S1	¿Qué es el cáncer? ¿Qué provoca el cáncer?	0
		¿Por qué actualmente hay más casos de cáncer?	0
	S2	¿Hay más casos de cáncer en unos países que en otros? ¿Hay diferencia en los tipos más frecuentes?	3
		¿Se observa alguna diferencia en algunas familias en relación al riesgo de sufrir cáncer?	3
	S3	¿Qué frecuencias de cáncer se pueden identificar en los pedigrís de familias chinas y de familias catalanas? ¿Son habituales los mismos tipos de cáncer y, como en Cataluña, predominan los de pulmón, colon, mama y próstata? ¿Se observan diferencias?	4
E4	S1	¿Por qué los ácidos afectan al crecimiento de las plantas?	0
	S2	¿Cómo afectan los ácidos en el agua de riego al crecimiento de las plantas?	2
	S3	¿Cómo se modifican la germinación y el crecimiento de las plantas si el agua contiene ácidos?	4
E5	S1	¿Por qué hay variedades de plantas de cultivo que se adaptan mejor a determinadas zonas?	0
	S1	¿Todas las variedades de judías crecen de la misma manera en una determinada zona?	1
	S2	¿Cómo podemos saber qué variedad de judías es más adecuada para una zona determinada?	2
	S3	¿Qué diferencias se observan si diversas variedades de judías son sometidas a estrés térmico y a estrés hídrico?	3
	S3	¿Se observan diferencias si las semillas de diversas variedades de judías son sometidas a estrés térmico y a estrés hídrico?	4

La seqüència de preguntes investigables proposada per un dels cinc estudiants, E5, mostra la seva progressió pels cinc nivells de la rúbrica de l'eina NPTAI en la categoria *Identificació de problemes o Formulació de preguntes investigables* en el procés de refinament a l'inici del TR: des de la primera pregunta, que no és investigable, sinó merament d'informació (*Per què hi ha varietats de plantes de cultiu que s'adapten millor a determinades zones?*), i que correspon, per tant, al nivell 0, fins a l'última pregunta, que ja és investigable, està ben formulada, suggereix metodologia i, per tant, correspon al nivell 5 de la rúbrica (*S'observen diferències en la germinació si les llavors de diverses varietats de mongeta són sotmeses a estrès tèrmic i a estrès hídric?*). En la tercera sessió, abans de formular aquesta pregunta investigable, l'estudiant en va proposar una altra, codificada de nivell 3 perquè no suggeria metodologia per respondre-la (*Quines diferències s'observen si diverses varietats de mongetes són sotmeses a estrès tèrmic i a estrès hídric?*)

Així doncs, a grans trets, els resultats en relació amb l'Objectiu 1, amb el qual ens proposàvem identificar dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma, van mostrar que aquestes dificultats ja s'inicien en les primeres passes, en el plantejament d'un problema investigable, que sovint es confon amb problemes d'informació, i s'incrementen en la formulació d'hipòtesis, i encara més en la planificació d'una investigació i la identificació de variables. Estudiants que han identificat problemes investigables formulen hipòtesis ambigües o sense relació amb el problema. I els dissenys metodològics sovint no són coherents amb els problemes investigables i les hipòtesis formulades.

A la vista d'aquests resultats, ens preguntàvem quines serien les dificultats dels batxillers en activitats d'indagació d'aula, que no tenen la complexitat que suposa la realització d'un treball d'indagació oberta i autònoma. La resposta és la que permeten abordar els resultats de la pregunta plantejada a l'Objectiu 2.

4.2. Resultats en relació amb l'Objectiu 2: Identificació de dificultats dels batxillers en habilitats d'indagació en activitats d'aula

En relació a aquest objectiu es va plantejar la pregunta:

En quines habilitats d'indagació mostren dificultats els estudiants?

Tant els resultats obtinguts de la utilització d'un QIS amb un grup d'estudiants, com els resultats de seguiment de tres estudiants en el procés de realització de deu QIS, van coincidir en les dificultats identificades en relació a habilitats d'indagació. Es mostren en primer lloc els resultats obtinguts amb l'estudi del grup i, posteriorment, els de seguiment de les tres estudiants que ofereixen, a més de la identificació de les dificultats, la descripció del seu possible origen o la seva explicació.

El QIS 1 (Figura 9) que planteja una investigació relacionada amb la cinètica enzimàtica, va ser utilitzat amb un grup d'estudiants (N= 36) . La Figura 10 mostra, per a cada categoria i amb els valors entre 0 i 4 de cada rúbrica, els resultats de la codificació de les respostes amb l'eina QNP-TAI corresponent (Taula 17).

Les dificultats relacionades amb la competència d'indagació comencen amb la identificació de la pregunta investigable i els resultats mostren poca comprensió conceptual del fenomen estudiat en la investigació. En general, els dèficits corresponen a una formulació ambigua: els estudiants proposen preguntes relacionades amb la recerca descrita, però només un nombre reduït fa referència al concepte d'inhibidor enzimàtic quan es refereix a l'acció de l'àcid clavulànic. Les respostes mostren errors tals com la confusió entre la penicil·lina, que és el substrat, i la penicil·linasa, l'enzim que genera la resistència a l'antibiòtic (per exemple, *Com actua el clavulànic sobre la penicil·lina?* o *Quina diferència hi ha entre la penicil·lina produïda pel bacteri i la penicil·lina amb àcid clavulànic?*), o proposen preguntes inabordables (per exemple, *De quina manera es pot millorar l'eficàcia dels medicaments?*). El 17% dels estudiants (N=6) identifica el problema de recerca i especifica preguntes investigables apropiades que suggereixen metodologia i, per tant, corresponen a la jerarquia 4 de la rúbrica.

El 22% dels estudiants (N=8) formula hipòtesis acurades, en forma de deducció i fent referència a conceptes científics. De totes maneres, però, hi ha un predomini de respostes que proposen simples prediccions. Altres respostes mostren confusió de conceptes, per exemple del concepte de pH òptim amb el concepte d'inhibidor (*Si s'afegeix àcid, el pH canvia i, per tant, l'activitat enzimàtica també canvia*); i d'altres, quan formulen la hipòtesi, mostren una confusió general tant en els resultats observables com en els conceptes científics implicats (*Quan s'afegeix clavulànic a la penicil·lina, s'accelera la velocitat d'hidrolització d'aquesta; si la velocitat d'hidrolització augmenta, llavors el clavulànic té activitat enzimàtica*).

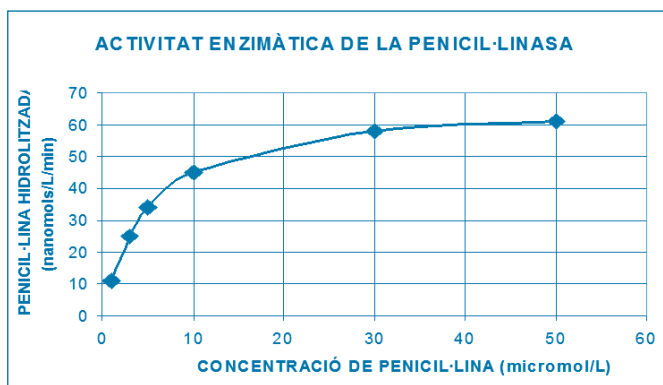
Els millors resultats s'obtenen en la identificació de la variable depenent, però podria atribuir-se al fet que la majoria d'estudiants s'han limitat a copiar el rètol d'ordenades de la gràfica (*activitat de l'enzim penicil·linasa*) però sense especificar què havia de ser mesurat, és a dir, sense referir-se a la velocitat de la reacció enzimàtica d'hidrolització de la penicil·lina.

La identificació de la variable independent mostra que, malgrat que els estudiants han hagut de dibuixar una gràfica que correspon a les dades recollides amb presència de clavulànic, una tercera part dels estudiants no és capaç d'identificar que la presència o absència de clavulànic és la VI. Era d'esperar que es preguntessin la següent qüestió: què van haver de modificar els investigadors per obtenir les dades que hem representat?, per així identificar la variable independent. Però respostes com ara *concentració de clavulànic* o *quantitat de clavulànic* semblen indicar que els estudiants no van ser capaços de plantejar-se aquesta qüestió, atès que la concentració de l'inhibidor no es modifica, sinó només la seva presència o absència. Altres respostes mostren que els estudiants no han diferenciat els dos processos experimentals, perquè responen en referència al que donava les dades representades amb la gràfica inclosa en el QIS: *concentració de penicil·lina*.

Les majors dificultats apareixen en la identificació de variables controlades. Dues confusions semblen estar implicades en aquesta dificultat: el concepte de variable controlada, i idees científiques relacionades amb la cinètica enzimàtica i amb les tècniques de laboratori. És significatiu el fet que quasi el 20% confon les variables controlades amb la variable depenent (13,8%) o amb el grup control (5,5%). Només cinc estudiants esmenten la concentració de penicil·linasa com a variable controlada. I quasi el 20% considera que els investigadors utilitzen cultius bacterians, en lloc d'enzim.

La meitat dels estudiants proposa una anàlisi de dades acceptable o bona, i formula conclusions ben argumentades, tot i que la complexitat del tema i els conceptes que han de dominar impliquen dificultats per donar respostes acurades, que són excepcional

Penicillin is an antibiotic used against many bacterial infections, but some bacteria produce an enzyme called penicillinase that inactivates it. The following chart shows penicillinase enzyme activity. The table on the right gives penicillinase activity with the same penicillin concentrations, but with clavulanic acid added:



penicillin concentration (micro mole)	hydrolyzed penicillin (nanomol/min)
1	5
3	10
5	15
10	25
30	40
50	47

1. Represent in the previous chart the enzyme activity curve in these conditions.
2. What conclusions can be drawn from these research data? Give reasons for them. Why do you think clavulanic acid is added to many pharmaceutical products with penicillin?
3. What question did researchers ask themselves when they carried out this research?
4. What hypothesis did the researchers formulate? If possible, state it as a deduction.
5. What are the independent and dependent variables in the experiment? What are the control variables?
6. What can be considered the control group?
7. Do you think researchers worked with two tubes only, one with clavulanic acid and the other without it, to get these results?
8. Describe the methodological design that made it possible to obtain these data.

Expected response:

- > Enzyme and substrate are available and the desired concentration can be measured
- > The process must be carried out with the same enzyme concentration, varying only substrate concentration and the presence or absence of clavulanic acid (VI)
- > Conditions must be kept constant: pH, temperature, volume, penicillinase enzyme concentration
- > Instruments are available to measure penicillin hydrolysed that results from penicillinase enzyme action
- > From time to time, hydrolysed penicillin must be determined and rate, which is the VD, must be calculated.
- > It is not possible to work with two 6-tube groups only, because replicates must be done to confirm results.

Figura 9. QIS 1 de cinètica enzimàtica i resistència bacteriana als antibiòtics (Apèndix 1, Ferrés i Marbà, 2017. Problems students' experience with inquiry processes in the study of enzyme kinetics. *Journal of Biological Education*)

Els resultats comentats fins aquí corresponen a respostes individuals dels 36 estudiants del grup en les qüestions 1-7.

Tot seguit, la Taula 18 mostra els resultats obtinguts en les propostes de disseny metodològic que es va demanar que els estudiants fessin treballant en equips de 3 o 4, per respondre la qüestió 8 en una segona sessió de treball, després d'haver contestat individualment les qüestions 1-7.

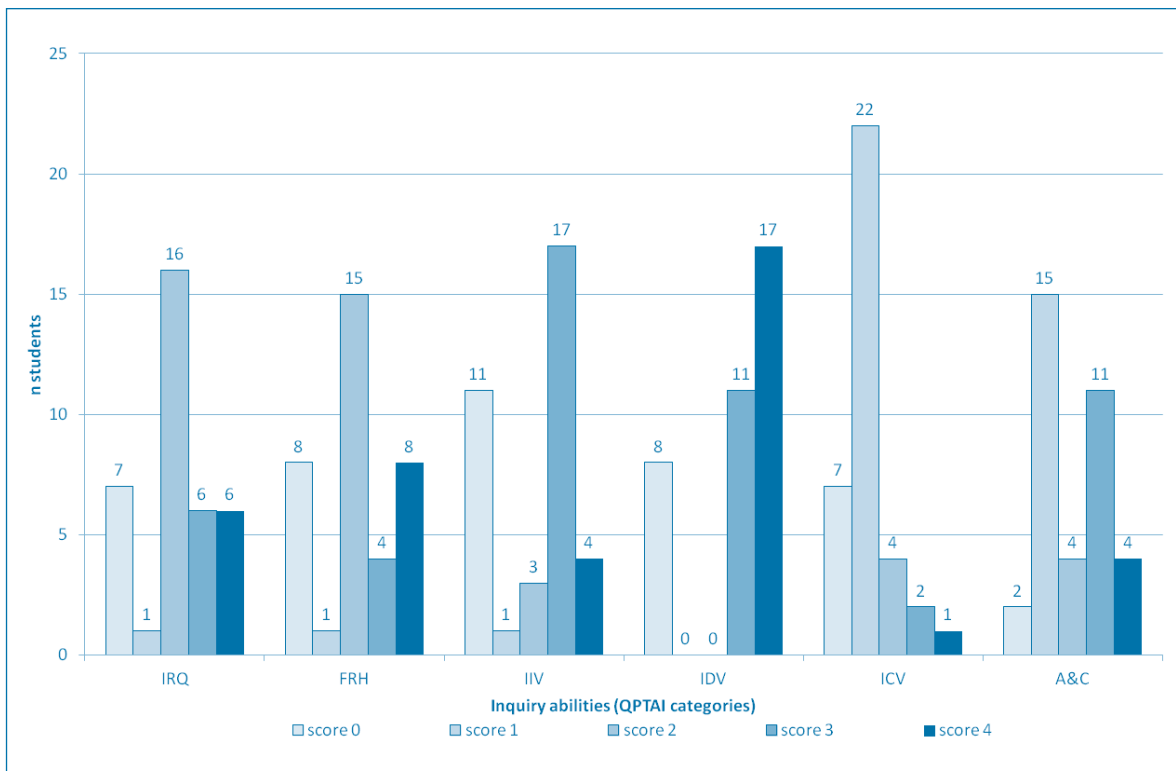


Figura 10. Resultats de l'avaluació d'habilitats d'indagació (Figura 1, Ferrés i Marbà, 2017. Problems students' experience with inquiry processes in the study of enzyme kinetics. *Journal of Biological Education*)

Taula 18. Rúbrica d'anàlisi de processos parcials i errors de disseny metodològic i resultats (Taula 2, Ferrés i Marbà, 2017). Problems students' experience with inquiry processes in the study of enzyme kinetics. Journal of Biological Education)

PARTIAL PROCESSES CONSIDERED IN THE METHODOLOGY	11 teams
Two 6-tube groups are needed, one with clavulanic acid and the other without it.	3
Tubes must contain penicillinase enzyme.	1
Content of each tube is specified, which must include a certain penicillin concentration and always the same enzyme concentration.	0
Controlled variables are detailed: enzyme concentration, pH, temperature.	0
Reference is made to the control group (without clavulanic acid), either explicitly or implicitly.	9
A replicate is proposed, with two 12-tube groups.	3
ERRORS IN THE METHODOLOGICAL PROPOSALS	
Using a number of tubes unrelated to the data collected.	5
Introducing bacteria in the tube.	4
Generic reference to control variables, mentioning irrelevant ones (light, humidity).	2

Sembla que l'observació d'una gràfica amb 6 punts, corresponents a 6 determinacions de la velocitat d'hidrolització de la penicil·lina per acció de l'enzim penicil·linasa, havia de deixar clar que els investigadors havien utilitzat 12 tubs, 6 amb àcid clavulànic i 6 sense. També era necessari explicar la conveniència de fer rèpliques per assegurar la fiabilitat dels resultats. La Taula 16 mostra els resultats obtinguts a partir de la transcripció de les respostes dels estudiants i la seva anàlisi amb una rúbrica dissenyada per considerar els diversos processos parcials que haurien d'haver tingut en compte, i també els errors més significatius.

És remarcable que només un dels onze equips concreta que els tubs han de contenir enzim penicil·linasa, mentre que els altres deu equips no hi fan referència, tot i que quatre esmenten que cal utilitzar *cultius bacterians*. Aquesta confusió entre la necessària presència de penicil·linasa en els tubs -en concentració idèntica en tots ells, perquè és una variable controlada- i la introducció en els tubs de cultius bacterians, indica desconeixement procedimental tant en relació a la metodologia de les anàlisis d'activitat enzimàtica com en relació a les habilitats d'indagació: no sembla que els estudiants s'hagin preguntat com controlar les concentracions de penicil·linasa, l'enzim, en els diversos tubs. En un dels equips, la confusió és tal, tant en aspectes de coneixement procedimental com en aspectes de coneixement conceptual, que els estudiants, en la descripció de la metodologia experimental, fan referència a les zones d'inhibició que apareixen quan s'estudia la sensibilitat bacteriana als antibiòtics utilitzant cultius de bacteris en medi sòlid.

La referència a variables controlades genèriques -tots els tubs iguals, el mateix volum-, o irrelevantes -llum-, o sense sentit -humitat-, és també remarcable.

Taula 17. QNPTAI per avaluar el QIS clavulànic de la Figura 3 amb exemples de respostes dels estudiants

REFERÈNCIA A CONCEPTES IMPLICATS EN LA RECERCA La comprensió conceptual dels fenòmens és requisit indispensable per abordar els procediments d'investigació	
0	No fa referència a conceptes científics en relació amb la recerca proposada
1	Les respostes mostren errors en la comprensió dels conceptes de cinètica enzimàtica relacionats amb la recerca
2	Fa referència a conceptes implicats en la recerca, però de manera incompleta o amb dificultats de comprensió, o es refereix a conceptes sense relació amb el problema
3	Explicita correctament els conceptes científics implicats en la recerca, però no els relaciona amb les hipòtesis i/o amb els resultats
4	Explicita els conceptes científics en relació amb la recerca i formula les hipòtesis i argumenta les conclusions fonamentant-les en ells: Es refereix a l'enzim (en aquest cas, la penicil·linasa), al seu substrat (la penicil·lina) i al producte de la reacció (la penicil·lina hidrolitzada) Mostra comprensió de la cinètica enzimàtica i del concepte de velocitat de la reacció com a producte format per unitat de temps (penicil·lina hidrolitzada/temps) Explicita les característiques de la cinètica enzimàtica, és a dir, concreta quins són els factors que influeixen en la velocitat de la reacció catalitzada per l'enzim, com són la concentració de substrat (en aquest cas, les diverses concentracions de penicil·lina) i la presència o no d'un inhibidor (en aquest cas l'àcid clavulànic).
IDENTIFICACIÓ DE PROBLEMES o PREGUNTES CIENTÍFIQUES INVESTIGABLES: aquelles que es poden respondre empíricament amb una recollida de dades	
0	No identifica els problemes de recerca: no concreta que el problema plantejat és: l'àcid clavulànic pot actuar com a inhibidor de l'enzim penicil·linasa?
1	Planteja problemes inabordables, genèrics, com ara de quina manera es pot millorar l'eficàcia dels medicaments
2	Planteja problemes amb formulació ambigua, o genèrica, o mal formulada, com ara el clavulànic pot influir en la velocitat de la penicil·linasa?
3	Identifica els problemes, però no concreta interrogants que orientin la recerca: com actua el clavulànic?
4	Concreta preguntes que suggereixen aspectes metodològics: la presència de clavulànic disminuirà la velocitat de la reacció d'hidrolització de la penicil·lina?
FORMULACIÓ D'HIPÒTESIS En forma de deducció "Si ... llavors ..." i preferentment en relació amb conceptes científics "Si pensem que llavors quan ...observarem que..."	
0	No planteja hipòtesis, o no identifica les hipòtesis, o planteja hipòtesis sense sentit
1	Planteja hipòtesis sense relació amb el problema o els objectius de la recerca
2	Formula hipòtesis ambigües o mal formulades, o només emet prediccions
3	Planteja hipòtesis que encaixen amb els problemes de recerca i que suggereixen variables però que són poc acurades
4	Planteja hipòtesis acurades, que encaixen amb el problema, preferiblement en forma de deducció, i amb descripció fonamentada en conceptes científics: Sabem que hi ha bacteris productors d'enzim penicil·linasa i també que hi ha substàncies que poden actuar com a inhibidores de l'activitat enzimàtica (MODEL). Per tant, si l'àcid clavulànic és un inhibidor adequat, si afegim àcid clavulànic (VI) als fàrmacs amb penicil·lina, llavors l'activitat enzimàtica (VD) de l'enzim penicil·linasa serà menor (o la velocitat de la reacció d'hidrolització de la penicil·lina disminuirà)
IDENTIFICACIÓ DE LA VARIABLE INDEPENDENT: aquella els valors de la qual són canviats o seleccionats per l'investigador. La resta de variables han d'estar controlades	
0	No identifica la VI
1	Confon VI amb VD, no sap que la VI és la variable els valors de la qual són canviats o seleccionats per l'investigador
2	Identifica la VI però també esmenta altres variables implicades, sense una descripció clara
3	Identifica la VI, però de manera imprecisa o sense fer explícita la variable: Clavulànic
4	Identifica de manera precisa la VI, els valors de la variable de la qual són seleccionats per l'investigador: Afegir o no afegir àcid clavulànic

IDENTIFICACIÓ DE LA VARIABLE DEPENDENT: variable els valors de la qual són mesurats per a cada canvi de la VI.	
0	No identifica la VD
1	Confon VI i VD: no sap que la VD és la variable els valors de la qual són mesurats per a cada canvi de la VI
2	Identifica la VD però també esmenta altres variables que no corresponen
3	Identifica la VD però de manera imprecisa: temps que tarda a hidrolitzar-se la penicil·lina
4	Identifica la VD i ho fa de manera precisa: Penicil·lina hidrolitzada per unitat de temps = velocitat de la reacció enzimàtica
IDENTIFICACIÓ DE LES VARIABLES CONTROLADES: Variables diferents de la VI que s'han de mantenir constants o al més iguals possible	
0	No identifica les variables controlades i s'evidencia que no entén el concepte de variable controlada
1	Només esmenta variables controlades de manera genèrica, sense concretar-les en referència al disseny metodològic concret
2	Identifica només algunes variables controlades en referència al disseny metodològic
3	Identifica les variables controlades però n'oblida alguna de fonamental
4	Identifica les variables controlades i ho fa amb precisió i detalls: Concentració d'enzim penicil·linasa, condicions del medi com pH i T, concentració de penicil·lina en cada un dels grups de 6 tubs
DISSENY D'UN PLA DE TREBALL I ADOPCIÓ DE METODOLOGIA = PLANIFICACIÓ DE RECERCA I DE RECOLLIDA DE DADES	
0	No hi ha proposta de recollida de dades o de metodologia per abordar el problema, o és molt incongruent i sense sentit
1	El disseny metodològic no permet comprovar les hipòtesis, però hi ha proposta de recollida de dades
2	La metodologia només permet una comprovació parcial de les hipòtesis o del problema plantejat, i/o planteja tasques sense relació amb les hipòtesis o el problema
3	La metodologia ofereix una comprovació força adequada de les hipòtesis, però la descripció és incompleta i no considera rèpliques ni control
4	La metodologia selecciona proves apropiades per a una adequada comprovació de les hipòtesis, proposa rèpliques i hi ha control adequat: Els investigadors han de treballar amb diversos grups de 12 tubs, 6 amb àcid clavulànic i 6 sense: utilitzen 6 concentracions diferents de penicil·lina A cada un dels tubs s'hi ha de posar la mateixa concentració d'enzim penicil·linasa i la corresponent concentració de penicil·lina, que és el substrat Totes les altres condicions del medi han de ser idèntiques: concentració d'enzim, pH, temperatura, volum, ... Cada X temps s'ha d'anar determinant la penicil·lina hidrolitzada, que és la VD, calculant la penicil·lina hidrolitzada per unitat de temps No es pot treballar només amb dos grups de 6 tubs, perquè en un experiment sempre cal fer rèpliques per donar fiabilitat als resultats El grup control està format pels tubs amb les diferents concentracions de penicil·lina (d'1 micromol/L a 50) als quals no s'afegeix àcid clavulànic
ANÀLISI DE DADES I OBTENCIÓ DE CONCLUSIONS ARGUMENTADES, relacionant dades amb hipòtesis i conceptes teòrics: conclusions basades en proves	
0	Anàlisi i interpretació que no estan fonamentades en les dades i/o no hi ha conclusions
1	Anàlisi i interpretació amb errors
2	Conclusions similars als resultats de la part metodològica sense interpretació ni anàlisi de dades. No coordina justificacions teòriques amb proves empíriques.
3	Conclusions que incorporen, a més dels resultats, els fets i conceptes en què es basa la pregunta, però anàlisi incompleta o poc fonamentada i alguns errors
4	Conclusions que incorporen, a més dels resultats, els fets i conceptes relacionats, i la relació entre les hipòtesis i les dades interpretades. S'observa que la velocitat de la reacció, és a dir, la penicil·lina hidrolitzada per unitat de temps (Producte/ temps), quan hi ha present l'àcid clavulànic, és inferior per a totes les concentracions de substrat (el substrat és la penicil·lina) provades (des de 1 fins a 50 micromols/L). Per tant, podem afirmar que l'àcid clavulànic actua com a inhibidor de l'enzim penicil·linasa.

Un cop mostrats els resultats que es van obtenir en la identificació de les dificultats dels estudiants en activitats d'indagació d'aula, recollint dades d'un grup-classe d'estudiants en dues activitats puntuals, tot seguit es presenten els resultats obtinguts en l'activitat dialògica que es va perllongar cinc mesos. La utilització dels deu QIS, en aquest procés llarg realitzat amb tres estudiants voluntàries, va permetre examinar i descriure el possible origen o explicació de les dificultats identificades en les habilitats d'indagació.

Un estudiant de batxillerat busca tema per fer el seu treball de recerca. Un veterinari li comenta que, en una granja de cria, s'ha identificat una patologia genètica que afecta els gossos i els produeix una ceguesa progressiva. Han observat que salta generacions, és a dir, que neixen fills amb la patologia, encara que el seu pare i la seva mare tinguin visió normal. L'estudiant escull aquest tema per a la seva recerca i ha dissenyat aquesta metodologia:

- Ha localitzat 5 mascles i 5 femelles afectats de ceguesa progressiva, tots ells de la mateixa raça i d'edats similars
- També disposa de mascles i femelles de la mateixa raça i edats similars, però que no pateixen la patologia, ni tampoc l'han mostrada ni els seus antecessors ni la seva progènie.
- Els ha pogut ubicar en una mateixa instal·lació, per assegurar que tots viuen en condicions similars.
- Determina dur a terme els següents creuaments:
 - > 5 creuaments de Mascle amb ceguesa progressiva x Femella normal
 - > 5 creuaments de Mascle normal x Femella amb ceguesa progressiva
 - > 5 creuaments de Mascle normal x Femella normal
- Determina que anotarà si la progènie de cada un d'aquests creuaments presenta o no presenta ceguesa progressiva, especificant per a cada fill si és mascle o femella i si té o no té ceguesa. Utilitzarà proves que li permetran determinar la presència o no de ceguesa poc després del naixement.

Quina pregunta investigable es planteja?

Quina hipòtesi o quines hipòtesis ha formulat?

Quina és la VI? Quina és la VD? Quines són les variables controlades?

Quin és el grup control?

Per què ha fet 5 creuaments de cada tipus?

Figura 11. QIS 3 de genètica mendeliana (Apèndix 1, Ferrés-Gurt, 2017. El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2))

Per exemple, amb el QIS 3 'AR o XR?' que es mostra a la Figura 11, avaluat amb el QNPTAI de la Taula 19, es va evidenciar que una de les dificultats té el seu origen en la confusió entre preguntes d'informació i preguntes investigables, com es mostra en el diàleg entre estudiants i investigadora que s'adjunta tot seguit: una de les estudiants proposa com a pregunta investigable *Per què els fills de gossos amb visió normal presenten ceguesa progressiva?* i aquesta pregunta es pot respondre amb informació teòrica que ella coneix, és a dir, sabent que hi ha patologies hereditàries amb patrons d'herència recessiva en les quals els individus portadors poden transmetre l'al·lel anormal a la progènie. La primera intervenció de la professora serveix per recordar què és una pregunta investigable i la segona intervenció ajuda les estudiants a fixar-se en la informació que els aporta el qüestionari i a recordar coneixements de genètica, i torna a insistir en el concepte de pregunta investigable.

Estudiant 1- *La pregunta que es plantejava era: La patologia que causa ceguesa salta generacions?*

Estudiant 2- *Doncs jo crec que la pregunta plantejada era: Per què els gossos de pares amb visió normal poden presentar ceguesa?*

Professora- *Creieu que aquestes preguntes que proposeu es poden respondre amb les dades que s'obtindran?*

Estudiant 1- *No...amb les dades no...*

Professora- *Fixeu-vos que amb la informació que ens donen ja ens diuen que la patologia salta generacions. I també sabem per què salta generacions, si teniu en compte els vostres coneixements de genètica: és un caràcter d'herència recessiva. Aquesta pregunta no és una pregunta investigable, que es pugui respondre obtenint dades, sinó que és una pregunta d'informació, que depèn de coneixements científics obtinguts amb moltes i diverses investigacions prèvies.*

Estudiant 1- *Ah! Ja ho entenc...la pregunta investigable és si el patró d'herència és autosòmic recessiu o si és lligat al sexe.*

Professora- *Creus que podries millorar la pregunta perquè suggereixi la metodologia, és a dir, les dades que cal obtenir? Convé que facis els creuaments en cas AR i en cas XR, utilitzant la nomenclatura adequada dels genotips i fent servir les taules de Punnett.*

Estudiant 1- *Ja he fet els creuaments...Em preguntes què haurà de mirar l'estudiant en la seva investigació?*

Professora- *Sí...*

Estudiant 1- *Haurà de mirar si en la F1 hi ha fills cecs---això només passarà si l'afectada és la mare i l'herència és lligada al sexe, perquè tots els fills mascles seran cecs en rebre el gonosoma X de la seva mare. Per això afegiria a la pregunta si hi ha o no fills F1 cecs i de quin sexe.*

El mateix diàleg també evidencia la necessitat de comprensió i utilització dels conceptes científics implicats en una investigació per poder plantejar preguntes investigables acurades: només quan es suggereix a les estudiants que convé que facin els creuaments considerant els dos possibles patrons d'herència, AR (patró Autosòmic Recessiu) o XR (patró lligar a X i Recessiu), recorden i utilitzen els conceptes científics implicats i són capaces de formular una pregunta acurada que els suggereix aspectes metodològics.

En el mateix QIS 3 'AR o XR?' es va posar de manifest la dificultat en la formulació d'hipòtesis, de manera similar al que va succeir en els altres QIS, i també el progrés en la formulació, quan l'estudiant mobilitzava coneixement conceptual a partir dels comentaris de la professora, tal i com mostra el diàleg següent. La hipòtesi ben formulada s'esperava que tingués un enunciat similar a "Si sabem que el caràcter és d'herència recessiva, perquè salta generacions, és a dir hi ha portadors (MODEL), els descendents F1 només podran presentar ceguesa si el patró és XR i els afectats seran mascles (HIPÒTESI). Llavors, si creuem una femella afectada amb un mascle normal, tots els descendents F1 mascles tindran ceguesa i cap F1 femella no en tindrà. I, si creuem un mascle afectat amb una femella sana, no hi haurà cap F1 afectat, sense diferències entre els sexes. Si el patró és AR a la F1 no hi haurà afectats: tots seran portadors (VI: creuar femella afectada amb mascle normal o al revés, mascle afectat amb femella normal. VD: aparició o no a la F1 de mascles afectats de ceguesa)". Tot seguit s'adjunta el diàleg per correu electrònic entre una de les estudiants i la professora-investigadora.

Estudiant- Jo crec que l'estudiant va formular aquesta hipòtesi: "Si la F1 de l'encreuament d'un dels progenitors amb ceguesa progressiva amb un de visió normal és heterozigota, en la F2 és possible que hi aparegui algun fill normal, mascle o femella, que pateixi ceguesa progressiva"

Professora- Em sembla que no has tingut en compte que el patró d'herència pot ser o AR o XR

Estudiant- Buf! Només havia pensat en el patró AR! Ara ho he revisat i la hipòtesi que proposo és "Si pensem que el patró d'herència és autosòmic recessiu, llavors, quan encreuem una parella un individu de la qual estigui afectat de ceguesa progressiva, tots els F1 seran portadors i observarem que en els individus de la F2 hi haurà un 25 % de probabilitats que en surti un amb ceguesa progressiva"

Professora- La hipòtesis que formules, et sembla que és coherent amb la pregunta "El patró és AR o XR? Et podries tornar a mirar la teva formulació d'hipòtesi? No et sembla que hi falta alguna cosa?"

Estudiant- Però el que dic ja està bé...

Professora- Si, però ignores una de les dues possibilitats plantejades en la pregunta, és a dir, no tens en compte que el patró pot ser XR. M'agradaria que repetissis el procés de formulació de la hipòtesi... convé que abans facis creuaments i determinis la F1 en cada cas... Tingues en compte que la hipòtesi ha de lligar amb la pregunta investigable i amb els conceptes científics relacionats... La pregunta és "el patró d'herència és AR o XR?". Has de tenir en compte quina F1 s'espera en cada cas!!... només així pots proposar una hipòtesi coherent...

Estudiant- És veritat... Jo només comentava l'AR, sense esmentar què podia passar si era XR. A més, ara que he fet els creuaments, ja veig que podia formular la hipòtesi parlant només dels descendents de la F1 i mirant les diferències que es poden esperar segons si el patró és AR o és XR... només hi pot haver F1 cecs si l'herència és lligada al sexe. Falta dir que, si és AR, en la F1 no hi haurà afectats, però tots seran portadors. També falta comentar que, si el patró d'herència és XR, els descendents mascles de la F1 patiran ceguesa si la femella és cega; en canvi, si ho és el mascle, llavors no hi haurà cap descendent afectat

I també es van identificar els aspectes problemàtics subjacents a les dificultats en la identificació de les variables, concretament la confusió entre variables controlades i grup control, com mostra el diàleg següent. L'estudiant, en primera instància, entén que el fet d'incloure creuaments entre mascles i femelles normals, per assegurar que el naixement de fills amb ceguesa és un caràcter hereditari i, per tant, que només pot aparèixer si hi ha progenitors portadors, és una de les variables que cal controlar. No té clars, d'entrada, els conceptes de grup control i de variables controlades:

Investigadora- Quina creus que és la VI?

Estudiant- La Vi és "Encreuament entre un mascle afectat de ceguesa progressiva i una femella normal, i a l'inrevés". I també ha de tenir en compte les variables controlades: per això fa encreuaments entre mascles i femelles normals

Investigadora. Et sembla que aquest encreuament entre mascles i femelles normals és una de les variables controlades? Què són les variables controlades? I què és el grup control?

Estudiant- És veritat! ... això que he dit és el grup control... les variables controlades implicarien que els animals fossin al més iguals possible i estiguessin en les mateixes condicions.

Taula 19. QNPTAI per codificar el QIS de genètica mendeliana de la Figura 9 'AR o XR?' de la Figura 5 amb exemples de respostes dels estudiants

REFERÈNCIA A CONCEPTES IMPLICATS EN LA RECERCA La comprensió conceptual dels fenòmens és requisit indispensable per abordar els procediments d'investigació	
0	No fa referència a conceptes científics implicats, es limita a repetir informacions de l'enunciat
1	Les respostes mostren errors en la comprensió dels conceptes de genètica qualitativa relacionats amb la recerca
2	Fa referència a conceptes implicats en la recerca, però de manera incompleta o parcial o amb dificultats de comprensió: parla del patró AR però no del patró XR
3	Explicita conceptes científics implicats, però no els relaciona amb les hipòtesis i/o amb els resultats: no esmenta que només en el patró XR hi haurà F1 cecs, els mascles
4	<p>Explicita els conceptes científics en relació amb la recerca i formula les hipòtesis i argumenta les conclusions fonamentant-les en ells:</p> <p>Identifica que en el patró autosòmic o AR no hi té res a veure el sexe: és indiferent que sigui el pare o la mare l'afectat de ceguesa: no modifica els resultats F1 quan un dels dos P és afectat (amb dos al·lells de ceguesa) i l'altre P és normal i no portador (amb dos al·lells normals), els F1 són tots normals però portadors, heterozigots, amb un al·lel de ceguesa</p> <p>Identifica que en el patró XR: el gen del qual depèn el caràcter estudiat està situat en el gonosoma X, que les femelles són XX i els mascles XY per tant, les femelles presenten dos al·lells en el genotip per al caràcter estudiat, però els mascles només un, i es diu que són hemizigots els resultats de la F1 són diferents segons sigui el pare o la mare l'afectat de ceguesa: si l'afectat és el pare, no hi haurà cap F1 amb ceguesa: els mascles seran normals, perquè reben X de la mare, i les femelles seran normals portadores, perquè reben X del pare, amb l'al·lel de ceguesa si l'afectada és la mare, tots els mascles de la F1 seran cecs, perquè el seu únic gonosoma X el reben de la mare i té l'al·lel de ceguesa si l'afectada és la mare, totes les femelles de la F1 seran normals portadores. Per tant, només en cas de patró XR es poden esperar individus F1 cecs, però tan sols si és la mare qui pateix ceguesa, i seran els f1 mascles els afectats de ceguesa en el 100% dels casos</p>
IDENTIFICACIÓ DE PROBLEMES o PREGUNTES CIENTÍFIQUES INVESTIGABLES: aquelles que es poden respondre empíricament amb una recollida de dades	
0	No identifica el problema de recerca
1	Planteja problemes sense relació amb el disseny metodològic proposat
2	Planteja problemes relacionat amb el disseny metodològic, però amb formulació ambigua, o genèrica, o mal formulada
3	Identifica els problemes, però no concreta interrogants que orientin la recerca
4	Planteja problemes investigables i concreta preguntes adequades i que suggereixen aspectes metodològics: Quin és el patró d'herència de la ceguesa progressiva que afecta els gossos d'aquesta granja de cria, és AR o és XR? La F1 dona els mateixos resultats tant si l'afectat és el pare com si ho és la mare?

FORMULACIÓ D'HIPÒTESIS En forma de deducció "Si ... llavors ..." i preferentment en relació amb conceptes científics "Si pensem que llavors quan ...observarem que..."

0	No planteja hipòtesis, o no les identifica, o en planteja sense sentit
1	Planteja hipòtesis sense relació amb el disseny metodològic proposat
2	Formula hipòtesis ambigües o mal plantejades, o només emet prediccions
3	Planteja hipòtesis que encaixen amb el disseny i que suggereixen variables, però que són poc acurades i incompletes, o que no contemplen totes les possibilitats
4	Planteja hipòtesis acurades, que encaixen amb el problema, preferiblement en forma de deducció, i amb descripció fonamentada en conceptes científics Si sabem que el caràcter és d'herència recessiva perquè salta generacions, és a dir, hi ha portadors (MODEL), els descendents F1 només podran presentar ceguesa si el patró és XR i la cega és la mare, i els fills afectats seran els mascles (HIPÒTESIS). Llavors, si creuem una femella afectada amb un mascle normal, tots els descendents F1 mascles tindran ceguesa i cap F1 femella no en tindrà. Si creuem un mascle afectat amb una femella sana no hi haurà cap F1 afectat, sense diferències entre els sexes. Si el patró és AR a la F1 no hi haurà afectats i tots seran portadors. La hipòtesi formulada així permet identificar les variables (VI: creuar femella afectada amb mascle normal o al revés, mascle afectat amb femella normal; VD: aparició o no a la F1 de mascles afectats de ceguesa)

IDENTIFICACIÓ DE LA VARIABLE INDEPENDENT: variable els valors de la qual són canviats o seleccionats per l'investigador. La resta de variables han d'estar controlades

0	No identifica la VI
1	Confon VI amb VD, no sap que la VI és la variable els valors de la qual són canviats o seleccionats per l'investigador
2	Identifica la VI però també esmenta altres variables implicades, sense una descripció clara
3	Identifica la VI però de manera imprecisa o sense fer explícita la variable
4	Identifica la VI que encaixa amb el disseny metodològic i la hipòtesi, i ho fa de manera precisa: Progenitor afectat mascle o progenitor afectat femella

IDENTIFICACIÓ DE LA VARIABLE DEPENDENT: variable els valors de la qual són mesurats per a cada canvi de la VI.

0	No identifica la VD
1	Confon VI i VD, no sap que la VD és la variable els valors de la qual són mesurats per a cada canvi de la VI
2	Identifica la VD però de manera parcial, per exemple % esperats d'individus cecs a la F2 en cas de patró AR
3	Identifica la VD però de manera imprecisa, per exemple Descendència afectada o no de ceguesa (sense especificar la F1 ni fer referència al sexe)
4	Identifica la VD i ho fa de manera precisa: Descendents F1 normals o amb ceguesa i sexe

IDENTIFICACIÓ DEL GRUP CONTROL: grup o experiment que permet comprovar que els resultats només depenen de la VI

0	No identifica el grup control i s'evidencia que no entén el concepte
1	Confon el grup control amb les variables controlades
2	Fa una referència molt imprecisa al grup control
3	Identifica el grup control però amb alguna imprecisió, per exemple no especifica que el creuament ha de ser entre individus sans i que no siguin portadors
4	Identifica el grup control i ho fa amb precisió: El format pels creuaments entre progenitors no afectats de ceguesa i que tampoc no són portadors, perquè provenen de genealogies sense la patologia i no han tingut fills que la patissin

IDENTIFICACIÓ DE LA IMPORTÀNCIA DE LES RÈPLIQUES: repeticions de la recollida de dades per donar fiabilitat als resultats

0	No entén el concepte de rèplica per donar fiabilitat als resultats
1	Confon rèpliques i controls
2	Fa una referència molt imprecisa a les rèpliques
3	Identifica la importància de les rèpliques, però en fa una explicació imprecisa o poc clara
4	Identifica la importància de les rèpliques i n'explica el significat: Perquè la fiabilitat dels resultats depèn del fet que es facin rèpliques: en aquest cas, ha fet 5 rèpliques de cada creuament.

La comprensió dels conceptes relacionats amb la investigació es va demostrar com a condició necessària però no suficient per abordar el plantejament de preguntes investigables: els resultats van mostrar que fa falta també el domini de conceptes procedimentals, com és el de la comprensió que una pregunta investigable és la que es pot respondre analitzant dades. Es va comprovar que, fins i tot en les respostes de les estudiants a qüestionaris en relació amb els quals mostraven domini conceptual, tendien a proposar una pregunta d'informació, com es pot observar en el diàleg que s'adjunta tot seguit, relacionat amb el QIS 10 'Osmosi i protozoosi' que es mostra a la Figura 12.

QIS 'Osmosis y protozoosi'

Determinados peces de acuario de agua dulce sufren a menudo la denominada enfermedad del punto blanco, caracterizada por la presencia de pequeñas manchas blancas en las escamas y las aletas. Un análisis microscópico de las manchas evidencia la presencia de un protozoo parásito. Sumergiendo durante unos minutos a los peces en agua con una concentración salina superior a la del acuario, los parásitos desaparecen en la mayor parte de los casos. La tabla siguiente muestra los resultados de un experimento realizado con peces de agua dulce de una misma especie que padecían la enfermedad del punto blanco y eran sumergidos durante un minuto en soluciones salinas a diversas concentraciones.

¿Cuál es el problema o la pregunta investigable que se plantea en este experimento?

Concentración salina (g·L ⁻¹)	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
Número de parásitos en un pez	150	150	150	150	140	100	45	10	8	5	0	0

Figura 12. QIS Osmosi i protozoosi (Apèndix 2, Ferrés-Gurt, 2017. El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2))

Estudiant- La pregunta investigable era: Per què els paràsits desapareixen quan hom posa els peixos en aigua amb concentracions salines altes?

Professora- Et sembla que aquesta pregunta es pot respondre amb les dades recollides?

Estudiant- No...això que jo proposo com a pregunta és el que permet explicar la desaparició dels paràsits a mesura que augmenta la concentració de sal...És la pregunta d'informació...

Professora- Però, què creus que es preguntaven els investigadors quan van dissenyar aquesta metodologia? No et sembla que ja suposaven que desapareixerien els paràsits per acció de l'osmosi?

Estudiant- *Si, és clar que sabien que actuaria l'osmosi, per això van dissenyar aquest experiment...*

Professora- *Així doncs, què creus que es preguntaven?*

Estudiant- *Volien saber quina era la concentració de sal...aquesta és una pregunta que es pot respondre amb les dades, és una pregunta investigable...*

Professora- *Així doncs, quina és la pregunta investigable?*

Estudiant- *Disminuiran els paràsits si submergim els peixos en aigua amb concentració salina alta?*

Professora- *Així doncs, creus que aquesta era la pregunta? No em deies que ja suposaven que desapareixerien els paràsits? Si la pregunta que es plantejaven és la que tu proposes, per què han provat diverses concentracions de sal?*

Estudiant- *...ja veig que no és la pregunta...He de mirar els resultats que van obtenir...la pregunta s'ha de poder respondre amb les dades obtingudes...Està clar! El que es preguntaven és quina concentració salina va millor...què passa si anem augmentant la concentració de sal...amb quina s'eliminen més paràsits.*

En el diàleg s'observa que l'estudiant entén que l'osmosi és el mecanisme que fa desaparèixer els paràsits –com podem suposar per la seva tercera intervenció, quan diu '*Si, és clar que sabien que actuaria l'osmosi, per això van dissenyar aquest experiment*'- però li costa concretar la pregunta que ha inspirat el disseny i la recollida de dades que se li presenten. La seva proposta inicial de pregunta investigable és *Per què desapareixen els paràsits en posar els peixos en l'aigua amb alta concentració salina?*. Aquesta, altra vegada, és una pregunta d'informació que es respon amb coneixements teòrics (l'osmosi és el mecanisme implicat en la desaparició dels paràsits, perquè en un medi hipertònic les cèl·lules pateixen deshidratació osmòtica o plasmòlisi) i els investigadors ja en coneixien la resposta en planificar l'experiment. Però temien que el medi hipertònic també podria afectar els peixos, i el que es preguntaven era quina seria la concentració salina que aconseguiria reduir el protozou paràsit sense perjudicar els peixos.

La utilització del QIS 1 'Clavulànic', mostrat a la Figura 6, en el procés d'avaluació formativa, va generar un diàleg amb les tres estudiants voluntàries que mostra una vegada més la tendència a proposar, d'entrada, preguntes inabordables amb la investigació de les quals s'aporten resultats (*Com podem fer més efectius els productes farmacèutics?*), o preguntes d'informació (*Per què la presència de clavulànic modifica l'activitat enzimàtica de la penicil·linasa?*), o bé preguntes

tautològiques, que ja es poden respondre amb la informació facilitada (*Per què la penicil·lina de vegades no és efectiva?*). Tot seguit es mostra aquest diàleg que figura en la publicació Ferrés, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), p. 419:

Professora- *La penicil·lina és un antibiòtic utilitzat contra moltes infeccions bacterianes, però alguns bacteris produeixen enzim penicil·linasa, que la inactiva. El gràfic del qüestionari representa l'activitat enzimàtica de la penicil·linasa i també les activitats de la penicil·linasa a les mateixes concentracions de penicil·lina però en presència d'àcid clavulànic. Quina pregunta es plantejaven els investigadors que van fer aquesta recerca?*

Estudiant 1- *La pregunta era: Com podem fer més efectius els productes farmacèutics?*

Professora- *Et sembla que amb una sola investigació podem obtenir la resposta a aquesta pregunta?*

Estudiant 2- *Jo crec que es preguntaven: Per què la penicil·lina de vegades no és efectiva?*

Professora- *Si llegim amb atenció el qüestionari ja tenim la resposta a la teva pregunta...*

Estudiant 2- *És veritat, ja ens diuen que hi ha bacteris que produeixen enzim penicil·linasa...*

Estudiant 3- *Jo crec que es preguntaven com es pot millorar el rendiment de la penicil·lina sabent que hi ha bacteris que produeixen penicil·linasa...volien saber per què la presència de clavulànic modifica l'activitat de la penicil·linasa...*

Professora- *Et sembla que amb les dades del gràfic pots saber per què es modifica l'activitat?*

Estudiant 3- *...no podem saber per què; en tot cas podem saber si es modifica...*

Professora- *Us demano que em concreteu quina era la pregunta investigable que es plantejaven en fer l'experiment. Hem comentat que una pregunta investigable és la que es pot respondre recollint dades. Les preguntes que proposeu, es poden respondre amb les dades del gràfic?*

Estudiant 3- *Ja veig que no...nosaltres plantejem preguntes molt generals...com les preguntes teòriques dels exàmens...o preguntes que podríem respondre buscant informació sobre la molècula de penicil·linasa i la molècula d'àcid clavulànic...i veure com interactuen...*

Professora- *Pots concretar la pregunta si tens en compte les dades del gràfic i la taula?*

Estudiant 3- *...si miro les dades, a la pregunta hi hauria de sortir l'àcid clavulànic...*

Estudiant 2- *La pregunta potser seria: com influirà l'àcid clavulànic en la penicil·lina...*

Professora- *Recordeu quins factors poden influir en l'activitat enzimàtica? Podríeu millorar la formulació de la pregunta pensant en algun d'aquests factors?*

Estudiant 3- *Ah! Ja ho sé: hi ha inhibidors de l'activitat enzimàtica...la pregunta dels investigadors era si l'àcid clavulànic actua com a inhibidor de l'enzim penicil·linasa.*

També en aquest cas s'observa la influència dels comentaris de la professora en el progrés de les estudiants fins que aconsegueixen concretar la pregunta investigable. Aquesta intervenció de la professora està focalitzada en la definició de què és una pregunta investigable i insisteix en el fet que, per tal d'identificar-la, cal centrar l'atenció en allò que és possible respondre amb les dades obtingudes.

Els resultats del seguiment de les tres estudiants va mostrar que les dificultats es presentaven en les diverses habilitats d'indagació. A les Figures 13, 14 i 15 es poden observar els resultats d'una de les tres estudiants (l'única que va fer el procés complet, responnent els deu QIS i intercanviant comentaris per correu electrònic amb la investigadora), referits a la identificació de la variable independent, la variable dependent i a la formulació de la pregunta investigable. La codificació de les respostes inicials (punts blaus) i de les respostes revisades (punts vermells), utilitzant QNP-TAI, va permetre constatar força sovint la millora en el diàleg amb la professora. Quan en el gràfic només apareix un punt, que és de color vermell, indica que, o bé l'estudiant no va revisar la seva resposta inicial, o bé va donar una nova resposta que es va codificar amb la mateixa categoria de la rúbrica. I, de fet, en alguns casos, pocs, la revisió va donar una resposta que va ser codificada en una categoria inferior (com per exemple, en la identificació tant de la VI, com de la VD en el QIS 'Virus i Informació genètica', on el punt blau està en posició més alta que el vermell).

És remarcable, i no s'esperava, la persistència de les dificultats en les respostes inicials en diferents QIS i la poca tendència a evolucionar en el domini d'habilitats d'indagació a mesura que es proposaven nous QIS al llarg de diversos mesos, amb l'excepció de la identificació de la variable dependent, l'única de les habilitats analitzades en què es va observar progrés. És a dir, en canviar el context, diferent en cada un dels QIS, es reproduïen les dificultats que el diàleg havia ajudat a superar en un nombre significatiu dels casos en les respostes dels QIS previs.

Per exemple, en la Figura 13 s'observa que l'estudiant, després de realitzar els cinc primers QIS i de proposar respostes revisades, codificades amb la categoria màxima de la rúbrica (4), quan se li demana la identificació de la VI en el QIS 'Factor transformant' dona una resposta codificada a la jerarquia 2 (Identifica la VI però també esmenta altres variables implicades sense una descripció clara) i no la millora en la revisió; en el següent QIS dona una resposta inicial de jerarquia 4

(Identifica la VI que encaixa amb el disseny metodològic i la hipòtesi i ho fa de manera precisa) i, quan la revisa, baixa a jerarquia 3 (Identifica la VI, però de manera imprecisa o sense fer explícita la variable), i en els QIS proposats en vuitè lloc, 'Nivell de colesterol', torna a donar una resposta inicial de jerarquia 2, que encara baixa de nivell en el QIS 'Llangardaixos' en què la seva resposta és de jerarquia 0 (No identifica la VI) i no millora amb la revisió, no és capaç d'identificar la VI.

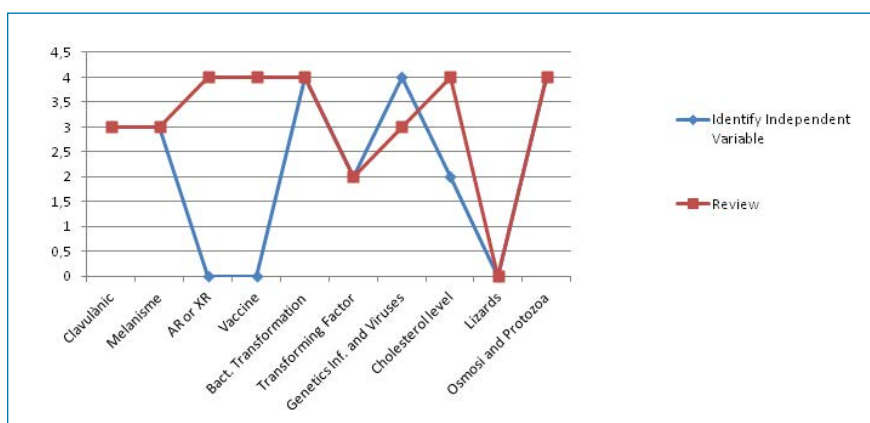


Figura 13. Evolució en la identificació de VI en les respostes als deu QIS (Ferrés, Marbà i Sanmartí. Student's scientific inquiry ability: rubric validity and reliability to evaluate it. *International Conference ESERA 2015, Helsinki*)

La Figura 14 mostra que en la identificació de la VD, com ja s'ha comentat prèviament, s'observa una millora en els últims QIS, tot i les oscil·lacions inicials.

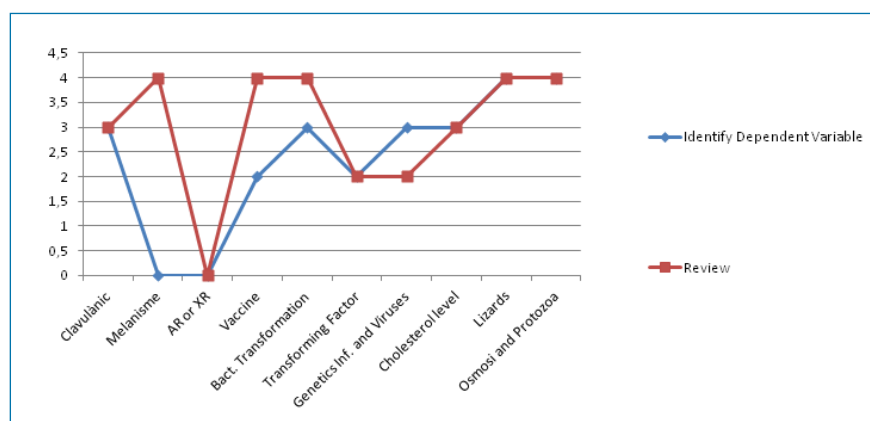


Figura 14. Evolució en la identificació de la VD en les respostes als deu QIS (Ferrés, Marbà i Sanmartí. Student's scientific inquiry ability: rubric validity and reliability to evaluate it. *International Conference ESERA 2015, Helsinki*)

El resultat més remarcable en relació a l'evolució en la identificació de la pregunta investigable (Figura 15) és la influència positiva del diàleg estudiant-investigadora, que en la majoria dels casos aconsegueix que la resposta revisada correspongui a la jerarquia 3 o 4 de la rúbrica.

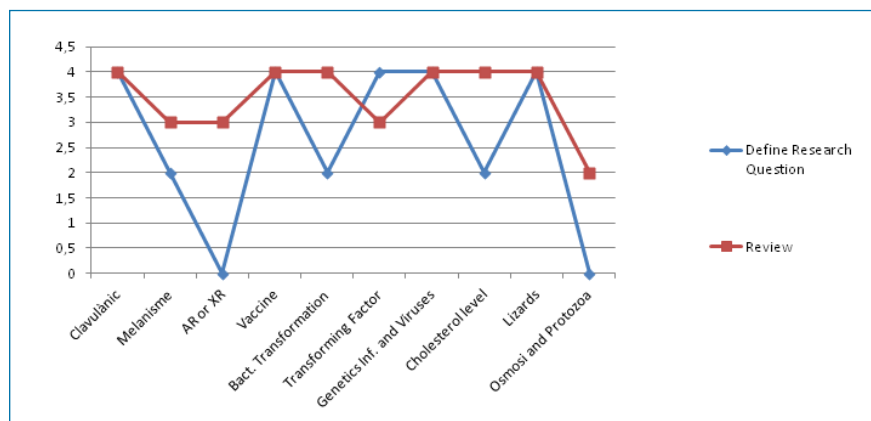


Figura 15. Evolució en la identificació de la pregunta investigable en les respostes als deu QIS (Ferrés, Marbà i Sanmartí. Student's scientific inquiry ability: rubric validity and reliability to evaluate it. *International Conference ESERA 2015*, Helsinki).

La relació que és mostra a la Taula 20, de respostes inicials de la identificació per part de l'estudiant de preguntes investigables dels diversos experiments proposats com a context en els deu QIS, evidencia que, en canviar el context, es reproduïen les dificultats que semblava que el diàleg i la realització repetida de QIS haurien d'haver ajudat a superar:

L'oscil·lació en el nivell de competència mostrat en aquestes respostes inicials va ser notòria:

4-2-0-4-2-4-4-2-4-0

Només va ser menor en les respostes revisades després del diàleg entre estudiant i investigadora (Figura 13):

4-3-3-4-4-3-4-4-4-2

En les respostes revisades es proposaven quasi sempre preguntes investigables codificades de jerarquia alta, 3 (Identifica els problemes, però no concreta interrogants que orientin la recerca) o 4 (Planteja problemes investigables i concreta preguntes adequades i que suggereixen aspectes metodològics), però que, sorprenentment, baixava a 2 en l'últim QIS (Planteja problemes relacionats amb el disseny metodològic, però amb formulació ambigua o genèrica i que no suggereixen metodologia).

Com a resum i a grans trets, observem que l'anàlisi qualitativa i interpretativa, amb una rúbrica específica, de totes les dades recollides de les respostes als deu QIS i dels comentaris de les tres estudiants en els diàlegs amb la investigadora, va aportar la descripció de la problemàtica relacionada amb les dificultats identificades, mostrada a la Taula 21.

Taula 20. Descripció dels 10 QIS de la pregunta plantejada pels investigadors i relació de les preguntes proposades per una de les estudiants i de la seva codificació utilitzant eines QNPTAI

QIS: CONTEXT	
PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS	
PREGUNTA PROPOSADA PER L'ESTUDIANT	CODIFICACIÓ DE LA RESPOSTA DE L'ESTUDIANT
<p>QIS 'Clavulànic': descriu els resultats d'un experiment per determinar la velocitat d'actuació de l'enzim penicil·linasa, i compara els resultats en dues situacions: presència o absència d'àcid clavulànic al medi. PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: L'àcid clavulànic pot actuar com a inhibidor de l'enzim penicil·linasa?</p>	
<i>L'àcid clavulànic pot actuar com a inhibidor de l'enzim penicil·linasa?</i>	(4) correspon a la pregunta investigable que plantejava l'experiment descrit
<p>QIS 'Melanisme': descriu un exemple de l'anomenat melanisme industrial i explica l'experiment en el qual s'alliberen el mateix nombre de papallones marcades clares i de papallones marcades fosques en dues zones, una rural i una contaminada, i al cap d'unes hores es recapturen. PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: A les zones contaminades, les papallones fosques es camuflen millor en front dels ocells insectívors i tenen més probabilitats de sobreviure, de manera que la selecció natural les afavoreix, mentre que a les zones no contaminades es camuflen millor les papallones clares?</p>	
<i>Per què el nombre de papallones negres va augmentar tan brusca-ment?</i>	(2) planteja un problema relacionat amb el disseny metodològic, però amb formulació genèrica i que es pot respondre utilitzant informació teòrica (referència a la selecció natural), però no concreta la pregunta que ha inspirat l'experiment: els investigadors, defensant la teoria evolutiva darwinista, suposaven que actuava la selecció natural com a mecanisme evolutiu i ho volien demostrar
<p>QIS 'AR o XR?': descriu un experiment amb el qual es vol determinar el patró d'herència d'una patologia hereditària que salta generacions, és a dir, és recessiva, i es vol saber si és AR o XR. Per això es proposa creuar mascles cecs i femelles normals, i també femelles cegues i mascles normals, havent comprovat que són de raça pura i mirant si a la F1 apareixen fills amb ceguesa. PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: Quin és el patró d'herència de la ceguesa progressiva que afecta els gossos, és AR o és XR? .La F1 dona els mateixos resultats si és el pare l'afectat que si ho és la mare? Neixen fills afectats només quan la cega és la mare i aquests afectats són mascles?</p>	
<i>Per què els gossos fills de pares amb visió normal poden presentar ceguesa?</i>	(0) perquè no identifica la pregunta investigable sinó que proposa una pregunta d'informació que, de fet, l'estudiant ja hauria de poder respondre amb els seus coneixements: com que la patologia hereditària salta generacions, és d'herència recessiva i els individus sans però portadors poden tenir fills afectats.
<p>QIS 'Vacunes': Descriu una situació en què un criador de porcs encarrega un estudi per avaluar l'eficàcia de tres vacunes diferents -A, B o C- contra la pesta porcina clàssica. PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: Quina de les tres vacunes és més eficaç i, per tant, protegirà millor els porcs enfront de la pesta?</p>	
<i>Quina de les tres vacunes és més eficaç i, per tant, protegirà millor els porcs enfront de la pesta?</i>	(4) perquè correspon a la pregunta investigable que plantejava l'experiment descrit i suggereix aspectes metodològics
<p>QIS 'Transformació bacteriana': descriu l'experiment de Griffith, de principis del segle XX, en el qual va utilitzar dues soques de pneumococ per infectar ratolins, una soca tipus S (amb càpsula que la protegeix del sistema immunitari i virulenta) i una altra soca tipus R (sense càpsula i menys virulenta). Va utilitzar tres preparats per injectar als ratolins de tres grups diferents: soca S, soca R i soca R viva amb restes de soca S tractada amb temperatura elevada. PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: La presència en el medi de molècules de bacteris S morts pot modificar genèticament els bacteris R i fer que originin bacteris S virulents que causin la mort dels ratolins, mentre que els bacteris R no cultivats en presència de restes de bacteris S morts no es modifiquen i són menys virulents?</p>	
<i>Poden morir els ratolins als quals s'injecten cèl·lules de la soca S mortes amb cèl·lules de la soca R vives?</i>	(2) perquè planteja un problema relacionat amb el disseny metodològic però de manera genèrica, sense concretar la pregunta clau, de si es produeix o no modificació genètica per acció de molècules del medi, ni suggerir aspectes metodològics

QIS: CONTEXT	
PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS	
PREGUNTA PROPOSADA PER L'ESTUDIANT	CODIFICACIÓ DE LA RESPOSTA DE L'ESTUDIANT
<p>QIS 'Factor transformant': descriu la repetició, anys més tard, de l'experiment de Griffith, però separant l'ADN de les proteïnes provinents dels bacteris S morts per temperatures elevades.</p> <p>PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: Quin és el factor transformant: és la proteïna o és l'ADN de les restes de bacteris S morts, que produeix la modificació genètica dels bacteris R vius i fa que esdevinguin S? I, per tant, quina molècula és portadora de la informació genètica?</p>	
<p><i>Quin és el factor transformant, és la proteïna o és l'ADN de les restes de bacteris S morts que produeix la modificació genètica dels bacteris R vius i fa que esdevinguin S? I, per tant, quina molècula és portadora de la informació genètica?</i></p>	<p>(4) correspon a la pregunta investigable que plantejava l'experiment descrit</p>
<p>QIS 'Virus i Informació genètica': descriu la utilització de virus bacteriòfags marcats, o bé amb S* a les proteïnes de la càpsida, o bé amb P* al genoma víric, per infectar bacteris, i explica la posterior comprovació de quina molècula vírica ha fet penetració i, per tant, és la que conté informació genètica</p> <p>PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: Quina molècula vírica marcada entra en el bacteri? És a dir, la informació genètica està en les proteïnes o en l'ADN?</p>	
<p><i>Quina molècula vírica marcada entra en el bacteri? És a dir, la informació genètica està en les proteïnes o en l'ADN?</i></p>	<p>(4) correspon a la pregunta investigable que plantejava l'experiment descrit</p>
<p>QIS 'Nivell de colesterol': descriu un experiment en el qual dos grups de persones reben dietes diferents, una de mediterrània i l'altra rica en greixos vegetals, i se'ls determinen indicadors de risc cardiovascular com la colesterolèmia.</p> <p>PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: Les persones que segueixen una dieta mediterrània tenen la colesterolèmia més baixa que les que ingereixen molts greixos animals?</p>	
<p><i>Quina dieta és més saludable?</i></p>	<p>(2) perquè planteja un problema relacionat amb el disseny metodològic però de manera genèrica, que no suggereix aspectes metodològics</p>
<p>QIS 'Llangardaixos': Descriu el material disponible per realitzar un experiment (diversos terraris en els quals es pot modificar la T ambiental, la humitat i les condicions de llum) per estudiar la influència que tenen les condicions de llum sobre l'activitat de la sargantana de paret.</p> <p>PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: Què succeirà si utilitzem terraris amb llum intensa, llum atenuada o fosc i observem els moviments de les sargantanes?</p>	
<p><i>Què succeirà si utilitzem terraris amb llum intensa, llum atenuada o fosc i observem els moviments de les sargantanes?</i></p>	<p>(4) perquè correspon a la pregunta investigable que plantejava l'experiment descrit i suggereix metodologia</p>
<p>QIS 'Osmosi i protozoosi': descripció d'un experiment en què peixos amb una parasitosi a les escates són submergits en aquaris amb concentracions salines ascendents.</p> <p>PREGUNTA PLANTEJADA PELS INVESTIGADORS: Quina és la concentració salina de l'aquari que no altera o altera poc els peixos, però que mata els protozoous paràsits?</p>	
<p><i>Per què desapareixen els paràsits en posar els peixos en aigua salada?</i></p>	<p>(0) perquè planteja una pregunta d'informació que els investigadors ja coneixen i que està en la base del disseny metodològic però no és investigable</p>

Taula 21. Resultats d'anàlisi dels diàlegs estudiants-investigadora per descriure les dificultats identificades

DESCRIPCIÓ DE LA PROBLEMÀTICA RELACIONADA AMB LES DIFICULTATS IDENTIFICADES	%
EN RELACIÓ AMB LA IDENTIFICACIÓ DE LES PREGUNTES CIENTÍFIQUES INVESTIGABLES	
L'estudiant proposa preguntes d'informació que formen part de conceptes científics relacionats amb el context, però que no es poden respondre amb les dades	32
L'estudiant proposa preguntes d'investigació mal formulades o que inclouen errors en els conceptes científics	6
La falta de domini dels conceptes científics implicats sembla que explica les dificultats per identificar preguntes investigables	6
La pregunta és investigable però no suggereix metodologia	23
EN RELACIÓ AMB LA FORMULACIÓ D' HIPÒTESIS	
Les hipòtesis es formulen com a simple predicció	12
La falta de referència a conceptes científics o la seva incomprensió dificulten la formulació de les hipòtesis	12
Emergeixen errors conceptuals en la formulació d'hipòtesis	18
EN RELACIÓ AMB LA IDENTIFICACIÓ DE VARIABLES DE LA METODOLOGIA DESCRITA O IMPLÍCITA	
L'estudiant no té clars els conceptes de variable independent, variable dependent i variables controlades	10
La no formulació d'hipòtesis en forma de deducció sembla originar les dificultats en la identificació de VI i VD	15
L'estudiant confon el concepte de grup control amb el concepte de variables controlades	10
L'estudiant confon la variable dependent -allò que es mesura- amb les variables controlades -allò que s'ha de controlar	10
La incomprensió de conceptes científics dificulta la identificació de variables	20
La incomprensió del disseny dificulta la identificació de variables	25

Els resultats mostren que, en un de cada tres casos (32%), la pregunta proposada no era una pregunta investigable sinó una pregunta d'informació i, en un de cada quatre casos (23%), la pregunta era investigable però no suggeria metodologia.

En relació amb les hipòtesis, els problemes que explicaven les dificultats eren la tendència a formular-les com a simple predicció (12%), la falta de referència a conceptes científics o la seva incomprensió (12%), i la constatació que l'estudiant arrossegava errors conceptuals en relació amb el tema plantejat com a context de la investigació descrita, errors que emergien en la formulació de les hipòtesis (18%).

Quant a la identificació de les variables, les dificultats més habituals identificades com a causa dels errors eren, en un de cada quatre casos (25%), la incomprensió del disseny metodològic descrit en la investigació proposada com a context i, en un de cada cinc (20%), la incomprensió de

conceptes científics en relació amb el tema plantejat. També s'han identificat com a causes de les dificultats el fet que l'estudiant no tenia clars els conceptes procedimentals de variable independent, variable dependent i variables controlades (10%); la no formulació de la hipòtesi en forma de deducció (15%); la confusió entre els conceptes procedimentals de grup control i de variables controlades (10%); i la confusió entre allò que es mesura, és a dir, la variable dependent, i allò que s'ha de controlar, és a dir, les variables controlades (10%).

Així doncs, a grans trets, els resultats en relació amb l'Objectiu 2, amb el qual ens proposàvem identificar dificultats dels batxillers en habilitats d'indagació quan es feien activitats d'aula, han coincidit tant en l'activitat puntual proposada a un grup-classe de batxillers, com en les activitats de seguiment al llarg de diversos mesos realitzades amb tres estudiants voluntàries. Aquests resultats també van mostrar que les dificultats, quan es plantegen activitats d'aula relacionades amb habilitats d'indagació, són molt similars a les identificades en la realització de treballs de recerca oberta i autònoma: problemes en la identificació de preguntes científiques investigables, confusió de preguntes investigables amb preguntes d'informació, propostes de preguntes investigables que no suggerien metodologia; dificultats en la formulació d'hipòtesis que, a més, no es fa amb referència a conceptes científics o que fa emergir incomprensions conceptuals; confusions en la identificació de variables, tant per incomprensió dels conceptes procedimentals que les defineixen, com per confusions entre allò que es mesura, allò que s'ha de controlar i el grup control característic dels dissenys experimentals; i dificultats manifestes per fer propostes de disseny metodològic o incomprensió de dissenys metodològics descrits que causaven dificultats per identificar variables. També és remarcable la constatació que el domini dels conceptes científics implicats en una investigació és una condició necessària però no suficient per poder identificar preguntes científiques investigables, i també per formular hipòtesis coherents. I, com a resultat molt significatiu, es va observar la dificultat per transferir coneixement procedimental quan canviava el context de les investigacions descrites.

A la vista d'aquests resultats i donada la influència que tenen en les activitats d'ensenyament i aprenentatge, ens preguntàvem per les característiques de les qüestions d'indagació en les proves d'accés a la universitat i pels resultats que hi obtenien els estudiants. La resposta la podem observar en els resultats de les preguntes plantejades en l'Objectiu 3.

4.3. Resultats en relació amb l'Objectiu 3: Anàlisi de característiques i resultats d'avaluació d'habilitats d'indagació científica en les proves d'accés a la universitat

En relació amb l'Objectiu 3 es van plantejar cinc preguntes, la primera sobre les característiques de les qüestions i les altres quatre referides als resultats obtinguts pels estudiants en aquests exàmens:

Quines característiques tenen les qüestions?

Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació, segons les característiques de la demanda?

Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació i de contingut, plantejades en un mateix ítem a partir del mateix context o estímul?

Són diferents les qualificacions d'indagació i les notes globals, comparant les diverses proves?

Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?

4.3.1. Resultats en relació amb la pregunta: Quines característiques tenen les qüestions? Es relacionen coneixement conceptual i coneixement procedimental?

La descripció de les característiques de les qüestions proposades en els exàmens de biologia de PAU els últims anys dona uns resultats molt estables. En la Figura 16 podem observar que les qüestions, any per any, des de 2011 fins a 2015, mostren una gran constància en les demandes que proposen en relació a les tres competències: avaluar i dissenyar indagació científica, interpretar dades i evidències, i explicar fenòmens científicament. Hi predominen les demandes de dues de les habilitats de la competència d'explicar fenòmens científicament (RK recordar informació i D&I&E descriure o interpretar fenòmens i proporcionar explicacions) i s'hi observa una presència molt menor de les altres dues habilitats d'aquesta competència (P&J fer i justificar prediccions i FH formular hipòtesis). És també molt menor la freqüència de demandes relacionades amb habilitats de la competència d'avaluar i dissenyar indagació científica (IQ identificar preguntes investigables, PM proposar metodologia, IV identificar variables, R&C importància de rèpliques i control, i GI gestionar i tractar informació, aquesta última una mica més freqüent per la presència habitual de pedigrís). També és baixa la freqüència de demandes d'habilitats de la competència d'interpretar dades (A&C). Respecte a l'obertura de les qüestions, les preguntes tancades es van incrementant any a any, des del 30% de 2011, fins al 40% dels dos últims anys.

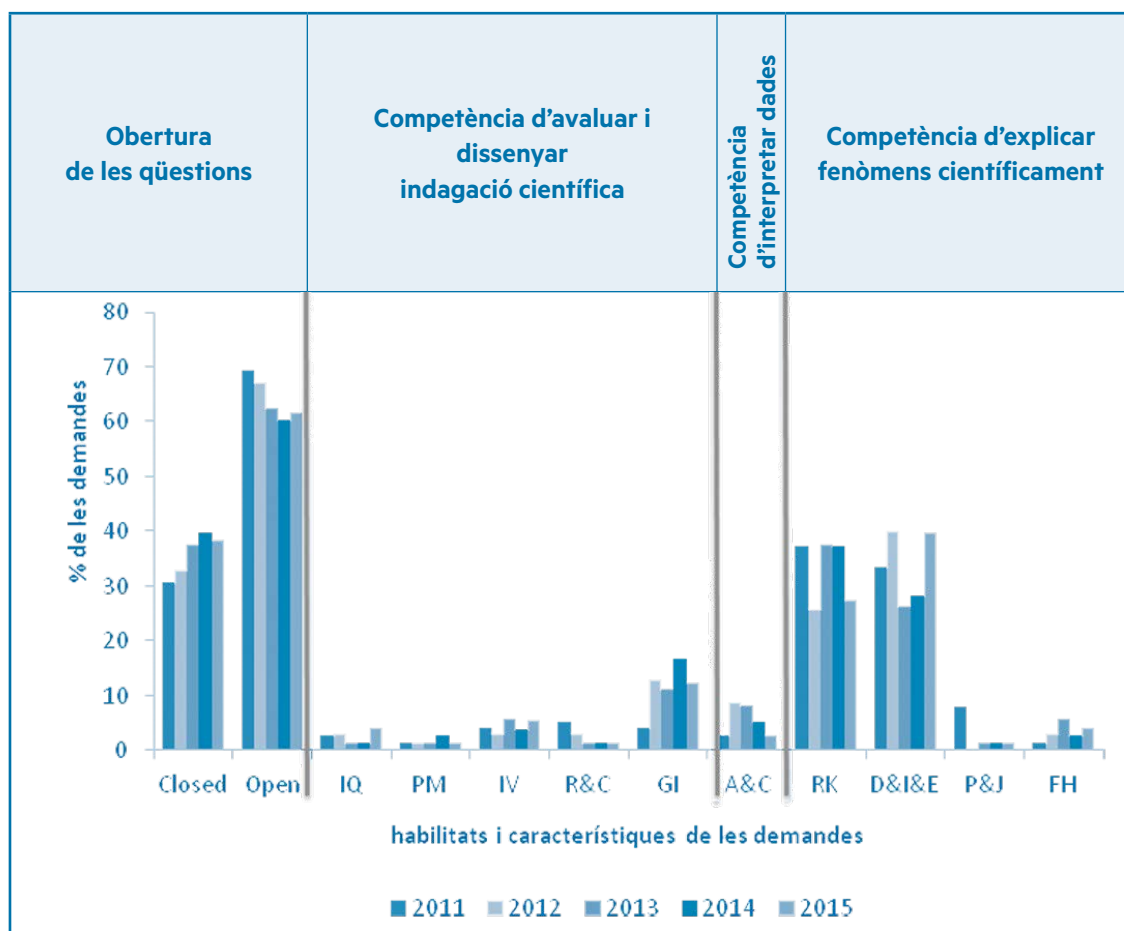


Figura 16. Característiques de demanda de les qüestions de biologia PAU del període 2011-2015

La comparació de demandes de les qüestions dels blocs de coneixement conceptual i de les qüestions del bloc d'indagació evidencia que aquests exàmens aborden de manera separada l'avaluació de coneixement conceptual i l'avaluació d'habilitats d'indagació, tal com mostra la Figura 17. Les demandes d'indagació quasi mai no impliquen la mobilització de coneixement conceptual, perquè la competència d'explicar fenòmens científicament es limita a l'habilitat de formular hipòtesis (16%), i només en el 8% dels casos es refereix a descriure o interpretar fenòmens i donar explicacions; a més, en la meitat dels casos són de resposta tancada i no demanen justificació. Per exemple, en el context dels resultats d'un experiment per determinar l'efecte de la concentració d'un herbicida sobre l'eficiència fotosintètica de les algues, es demana a l'estudiant que identifiqui la variable independent i la variable dependent i que esmenti algunes de les variables controlades. O, en un context que proposa dissenyar metodologia per determinar si la producció de raïms és més elevada amb els ceps emparats, demana a l'estudiant la formulació de la hipòtesi, la qual, com és notori, no implica coneixement científic. En canvi, sí que s'aborda l'avaluació conjunta de coneixement conceptual i coneixement procedimental quan, en el context d'un experiment per

determinar l'eficàcia d'una vacuna, es demana a l'estudiant per què es fa una anàlisi prèvia dels individus per determinar si tenen o no anticossos enfront de l'antigen implicat, i se li pregunta a quina estratègia correspon aquest procés; però aquest tipus de demandes són molt excepcionals.

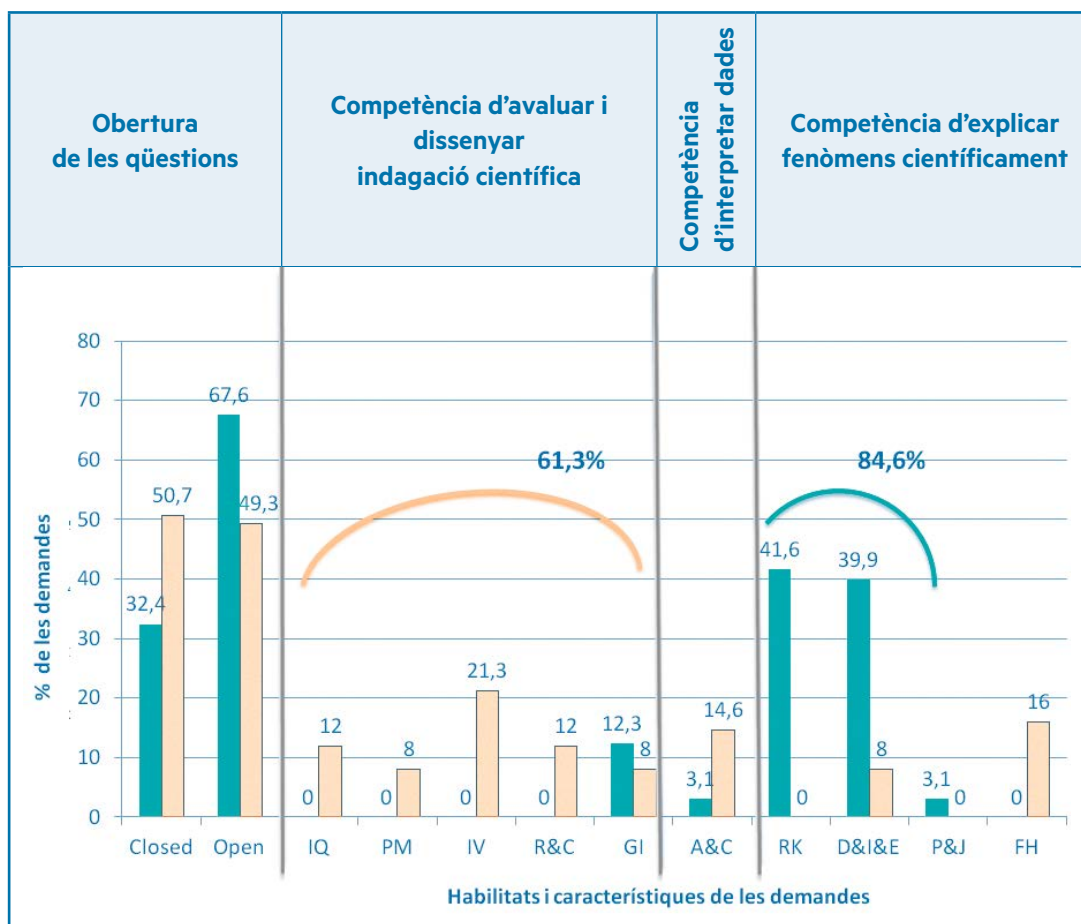


Figura 17. Comparació de les demandes en les **qüestions d'indagació** i en les de **coneixement conceptual**

La Taula 22 mostra l'anàlisi de les característiques de les demandes de totes les qüestions plantejades en els cinc anys, considerant tres categories i donant tant els resultats del conjunt de les qüestions de biologia com, per separat, els de les qüestions de contingut conceptual i els de les qüestions d'indagació. Els resultats per a les tres categories considerades són els següents:

En relació amb l'obertura de les qüestions, les demandes de resposta tancada són més freqüents en les qüestions d'indagació que en les qüestions de contingut conceptual: el 50,7% de les preguntes d'indagació són de resposta tancada, mentre que només ho són el 32,4% de les de contingut conceptual.

En realció amb les competències i habilitats, en el conjunt de les qüestions predomina la demanda d'explicar fenòmens científicament, amb un 72,4%. Aquesta demanda és encara més freqüent en les qüestions de contingut conceptual, en les quals arriba al 84,6%, mentre que només és del 24,0% en les qüestions d'indagació: les demandes d'indagació, com ja s'ha comentat, es poden respondre quasi sempre sense mobilitzar coneixement conceptual. En concret es veu que aquesta demanda d'explicar fenòmens científicament en les qüestions de contingut conceptual es refereix quasi sempre a recordar coneixement (41,6%) o a l'habilitat de descriure o interpretar fenòmens i proposar explicacions (39,9%). En contrast, en les qüestions d'indagació, on aquesta demanda d'explicar fenòmens científicament és menys freqüent, l'habilitat demanada que predomina és la formulació d'hipòtesis (16%), però ja s'ha esmentat que, pels contextos proposats, quasi sempre les hipòtesis es poden formular sense fer referència a coneixement científic.

Taula 22. Comparació de demandes en totes les qüestions, en les conceptuals i en les d'indagació

		Freqüència en %					
		Totes les qüestions de biologia 368 demandes		Qüestions de contingut conceptual 293 demandes		Qüestions d'indagació 75 demandes	
Primera categoria: OBERTURA DE LES QÜESTIONS							
Preguntes obertes		35.9		32.4		50.7	
Preguntes tancades		64.1		67.6		49.3	
Segona categoria: CARACTERÍSTIQUES I HABILITATS DE LA COMPETÈNCIA CIENTÍFICA							
Avaluar i dissenyar indagació científica SI	Identificar preguntes investigables	2.5	22.4	0.0	12.3	12.0	61.3
	Proposar metodologia	1.6		0.0		8.0	
	Identificar variables	4.4		0.0		21,3	
	Valorar rèpliques i control	2.5		0.0		12.0	
	Gestionar i elaborar informació	11.4		12.3		8.0	
Interpretar dades i evidències	Analitzar dades i proposar conclusions	5.4		3.1		14.6	
Explicar fenòmens científicament SK	Recordar coneixement	33.2	72.4	41.6	84.6	0.0	24.0
	Descriure o interpretar fenòmens i proposar explicacions	33.4		39.9		8.0	
	Fer i justificar prediccions	2.5		3.1		0.0	
	Formular hipòtesis	3.3		0.0		16.0	
Tercera categoria: CARACTERÍSTIQUES DE LES INVESTIGACIONS							
Investigacions experimentals						77	
Investigacions no-experimentals						23	

La demanda d'habilitats de la competència d'avaluar i dissenyar indagació representa només el 22,4% de les demandes del conjunt de les qüestions, i la freqüència es redueix al 12,3% en les qüestions de contingut conceptual. Es pot observar que aquesta demanda, en les qüestions de contingut conceptual, és categoritzada exclusivament en l'habilitat de gestionar i processar informació. En contrast, en les qüestions d'indagació, la demanda d'avaluar i dissenyar indagació és la més freqüent, amb el 61,3%, i és categoritzada en les diverses habilitats de la competència, amb el predomini de l'habilitat d'identificació de variables; de fet, aquesta freqüència seria encara més alta (77,3%) si es considerés l'habilitat de formular hipòtesis dins la competència d'avaluar i dissenyar indagació (61,3% + 16%), com fan molts autors.

La demanda d'interpretar dades i evidències científicament és la menys freqüent, tant en el conjunt de les qüestions de biologia, on només suposa el 5,4%, com en les qüestions de contingut conceptual, on és encara menys freqüent, amb només el 3,1%. Només en les qüestions d'indagació és una mica més elevada la freqüència d'aquesta demanda, amb el 14,6%.

En relació amb les característiques del context en les qüestions d'indagació, s'observa que les investigacions proposades corresponen majoritàriament a investigacions experimentals, que suposen el 77% del total d'investigacions descrites.

Així doncs, la descripció de les característiques de les qüestions proposades en els exàmens de biologia de les proves d'accés a la universitat mostra que les qüestions d'indagació plantegen demandes en què el coneixement procedimental està deslligat del coneixement conceptual. A més, hi ha grans diferències entre les qüestions de contingut conceptual i les de coneixement procedimental. En les qüestions de contingut conceptual, vuit de cada deu demandes corresponen a la competència d'explicar fenòmens científicament, mentre que només una de cada quatre demandes de les qüestions d'indagació és atribuïble a aquesta competència, que inclou l'habilitat de formular hipòtesis. També és remarcable la diferència en el predomini de demandes de resposta tancada, que ho és en la meitat dels casos en les qüestions d'indagació i només en tres de cada deu de les qüestions de coneixement conceptual. I és remarcable que les demandes de les qüestions d'indagació són molt repetitives, amb predomini de l'habilitat d'identificar variables, i estan referides, en tres de quatre casos, a investigacions experimentals.

4.3.2. Resultats en relació amb la pregunta: Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació segons les característiques de la demanda?

Els resultats obtinguts en l'anàlisi de les característiques de les qüestions, que van mostrar que les preguntes d'indagació plantegen demandes en què el coneixement procedimental està sovint deslligat del coneixement conceptual i no demana explicació, van suggerir l'interès d'analitzar els resultats dels estudiants en funció d'aquesta característica. Això vol dir que es pretenia examinar si eren més fàcils per a l'alumnat les qüestions focalitzades en habilitats d'indagació en contextos de poc pes del coneixement conceptual o que es podien respondre sense mobilitzar coneixement conceptual. Els resultats mostren que, quan les demandes de les preguntes d'indagació són obertes, és a dir, demanen justificació i explicació, i impliquen coneixement conceptual, com en la qüestió 2013 4A1, els estudiants obtenen qualificacions més baixes que quan se'ls plantegen qüestions d'indagació tancades i deslligades de les idees científiques. Per evidenciar-ho s'ha estimat la probabilitat d'obtenir qualificació 10 d'indagació en les diferents preguntes d'aquest tipus i es mostra a la Figura 18: la probabilitat és més baixa en la qüestió 2013 4A1 que en les qüestions 2014 3B1, 2015 3A2 i 2015 4B1, tancades, estrictament procedimentals i que no precisen coneixement conceptual; i les diferències són estadísticament significatives (Wald Chi-square=149.35; p_valor<0.0001).

També es va estimar la probabilitat en les dues qüestions d'un mateix ítem, 2013 4A1 i 2013 4A2, que comparteixen el context i han estat contestades pels mateixos estudiants: la resposta a la primera necessita domini de coneixement conceptual, mentre que la resposta a la segona demana només coneixement procedimental. La probabilitat d'obtenir qualificació 10 és més baixa en la qüestió 2013 4A1 i les diferències són estadísticament significatives (Wald Chi-square = 84.09; p_valor < 0.0001). La Figura 16 mostra aquestes estimacions de probabilitat d'obtenir la qualificació màxima.

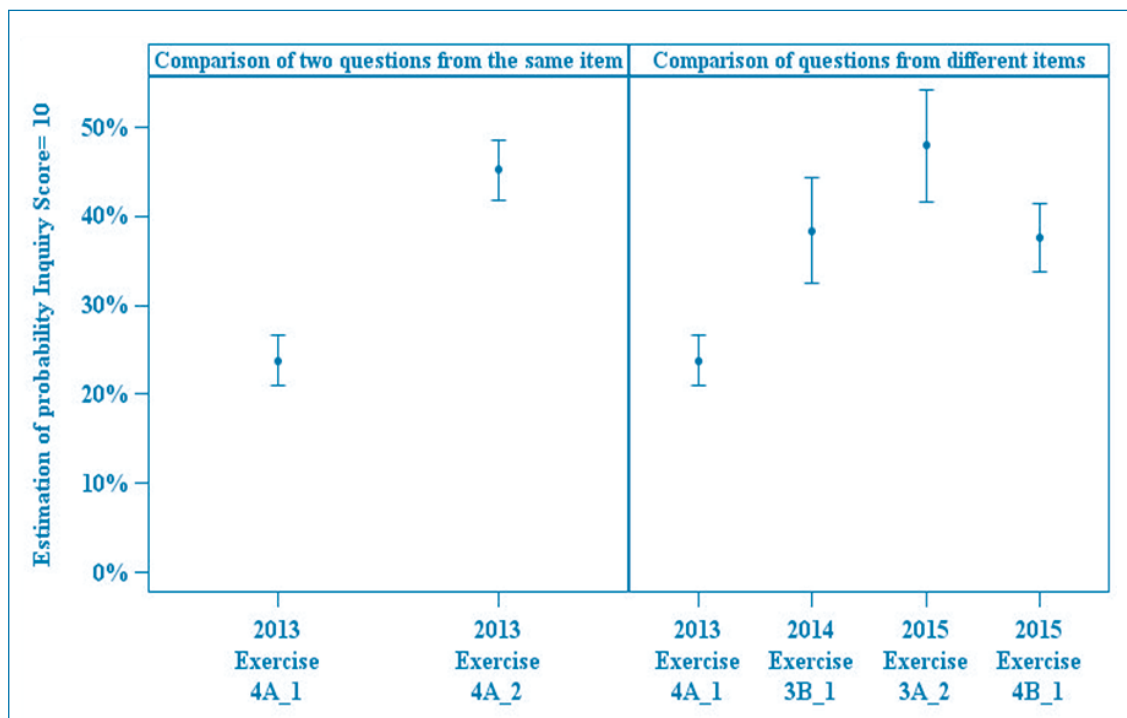


Figura 18. Probabilitat d'obtenir nota d'indagació (ED) 10

Per determinar la significativitat d'aquestes diferències es va utilitzar el test Odds Ratio. La comparació d'aquestes notes d'indagació modelant la probabilitat d'ocurrència de nota '10' (Taula 23) ha donat en tots els casos Odds Ratios majors que 1. Això indica que l'odds d'ocurrència (treure un 10) en la prova 2013 4A1 és menor que l'odds d'ocurrència en les altres quatre de 2013 4A2, 2014 3B1, 2015 3A2 i 2015 4B1. Per exemple, l'Odds Ratio 2.97 entre els resultats de 2015 3A2 i 2013 4A1 significa que l'odds d'obtenir nota 10 el 2015 3A2 s'estima 3 vegades l'odds de treure-la el 2013 4A1.

Taula 23. Odds Ratio Test

any opció	any opció	Odds Ratio Estimate			Contrast	
		Odds Ratio Estimate	Lower 95% Confidence Limit for Odds Ratio	Upper 95% Confidence Limit for Odds Ratio	z Value	Pr > z
2013 4A2	2013 4A1	2.66	2.16	3.28	9.17	<.0001
2014 3B1	2013 4A1	2.00	1.48	2.69	4.55	<.0001
2015 3A2	2013 4A1	2.97	2.20	4.00	7.15	<.0001
2015 4B1	2013 4A1	1.94	1.54	2.44	5.67	<.0001

Aquestes dades mostren que les diferències identificades són significatives i, per tant, que els resultats obtinguts en els exàmens de biologia de les PAU permeten afirmar que les qüestions d'indagació plantejades en contextos de domini general, despallades de coneixement de conceptes científics, semblen ser de resposta més fàcil per als estudiants, perquè les responen millor i obtenen qualificacions més altes.

4.3.3. Resultats en relació amb la pregunta: Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació i de contingut plantejades en un mateix ítem a partir del mateix context o estímul?

En un mateix ítem d'un examen de biologia de les proves d'accés a la universitat, totes les qüestions deriven d'un mateix context personal, local, nacional o global, i estan referides a unes determinades àrees de coneixement conceptual. Això significa que, en aquest aspecte, les qüestions que formen part d'un mateix ítem, i per tant deriven d'un mateix context o estímul, comparteixen en gran mesura el grau de familiaritat i comprensió per part de l'alumnat. Per aquest motiu va semblar que tenia interès comparar els resultats obtinguts pels estudiants en aquestes qüestions.

La comparació de qualificacions obtingudes pels estudiants en les diverses qüestions d'un mateix ítem (Taula 24), algunes de les quals corresponen a blocs de coneixement conceptual, mentre que d'altres són qüestions d'indagació, mostra que les qualificacions d'indagació són més altes. La tria d'aquestes dades es va fer, com ja s'ha comentat, perquè com que en un mateix ítem totes les qüestions es plantegen a partir d'un mateix context, s'evita o es minimitza la influència d'altres variables no controlades, com succeeix en comparar qualificacions d'ítems diversos.

S'observa que les diferències són significatives, i que són sempre més altes les notes d'indagació. Els valors de les medianes de les qüestions d'indagació estan entre 8 i 9,5, mentre que en les de contingut conceptual tenen valors entre 5 i 7,3. Les mitjanes de les qüestions d'indagació tenen valors entre 7,4 i 8,1, mentre que presenten valors entre 4,9 i 6,4 en les de contingut conceptual. El percentatge de qualificacions màximes (10) està entre 38 i 48% en les qüestions d'indagació, i entre 13 i 29% en les qüestions focalitzades en conceptes d'immunologia, ecologia o metabolisme.

Taula 24. Notes de qüestions d'indagació versus notes de contingut conceptual d'un mateix ítem

Any	Opció	Exercici	contingut	Estadístics Descriptius Nota						estudiants amb 10
				N	Mitjana	Std	Q1	Mediana	Q3	%
2014	B	3B1	Indagació	256	7.4	2.8	5	8	10	38%
		3B2	Immunologia	256	5.8	2.9	4	6.0	8	13%
		3B3	Immunologia	256	5.9	3.6	2.8	6	10	29%
2015	A	3A1	Ecologia	242	6.4	3.3	4	7.3	9	19%
		3A2	Indagació	242	7.5	3.2	5	9	10	48%
		3A3	Ecologia	242	4.9	3.5	2	5	8	13%
	B	4B1	Indagació	607	8.1	2.5	6.0	9.5	10	38%
		4B2	Metabolisme	607	5.5	3.5	2	6	9	18%

El test Signed Rank mostra que les diferències entre qualificacions d'indagació i qualificacions de contingut d'un mateix ítem per a un mateix estudiant són significatives en tots els casos (p -valor < 0.0001), indicant que les qualificacions d'indagació són sempre més elevades.

Aquestes qualificacions marcadament més elevades en el bloc de 'Disseny experimental' (que avalua indagació) es fan evidents quan s'utilitzen gràfics de caixa per representar-les (Figura 19): destaca el desplaçament cap a la part superior de les tres caixes de descriptors estadístics de les notes de 'Disseny Experimental'.

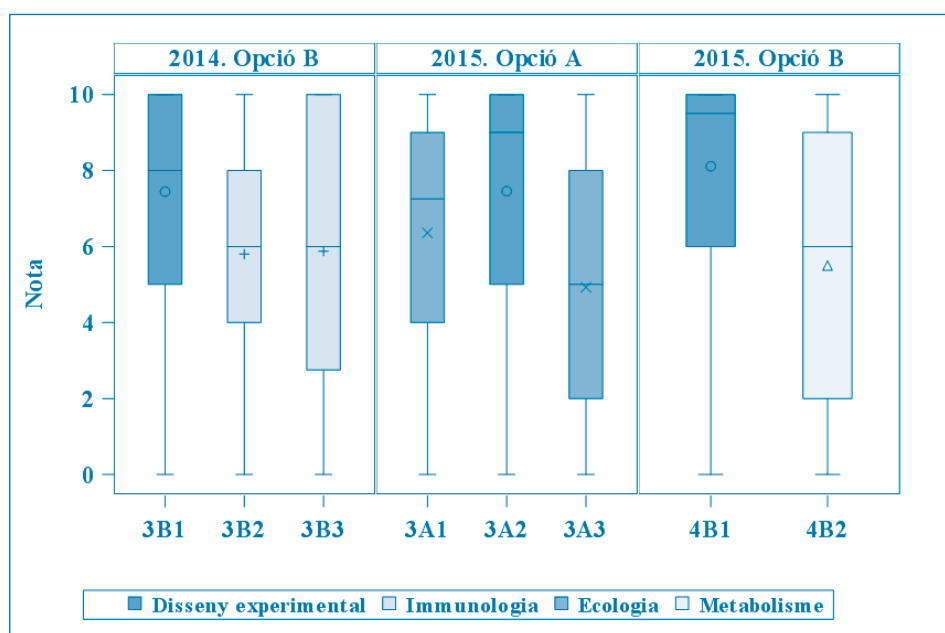


Figura 19. Comparació de qualificacions en les qüestions d'un mateix ítem

4.3.4. Resultats en relació amb la pregunta: Són diferents les qualificacions d'indagació i les notes globals, comparant les diverses proves?

Una altra manera d'analitzar els resultats dels estudiants és considerant les notes globals que obtenen en l'examen de biologia de PAU i que són la suma de les notes obtingudes en els diversos ítems. Això permet comparar la nota global obtinguda en l'examen, amb la nota parcial derivada de les qüestions focalitzades en la indagació científica.

A la Figura 20 es poden observar, a la columna de la dreta, els histogrames amb les sèries de dades de les qualificacions globals (Overall Score) de 0 a 10: mostren una distribució d'aquestes qualificacions amb percentatges molt baixos d'estudiants que van obtenir qualificacions altes, i un predomini de qualificacions en la zona central, entre 5 i 7,5 sobre 10.

En canvi, a la columna de l'esquerra de la Figura 20, les sèries de dades de qualificacions d'indagació (Inquiry Score) mostren percentatges alts, de l'ordre del 40% o superiors, d'estudiants que van obtenir la nota màxima. Aquest percentatge només és més baix en la prova de 2013 A, en què els estudiants que van obtenir una qualificació de 10 en les qüestions d'indagació estan entre el 10 i el 20%: la freqüència de la nota màxima en les qualificacions d'indagació no és tan elevada com en les altres tres proves, però és significativament més alta que en les qualificacions globals.

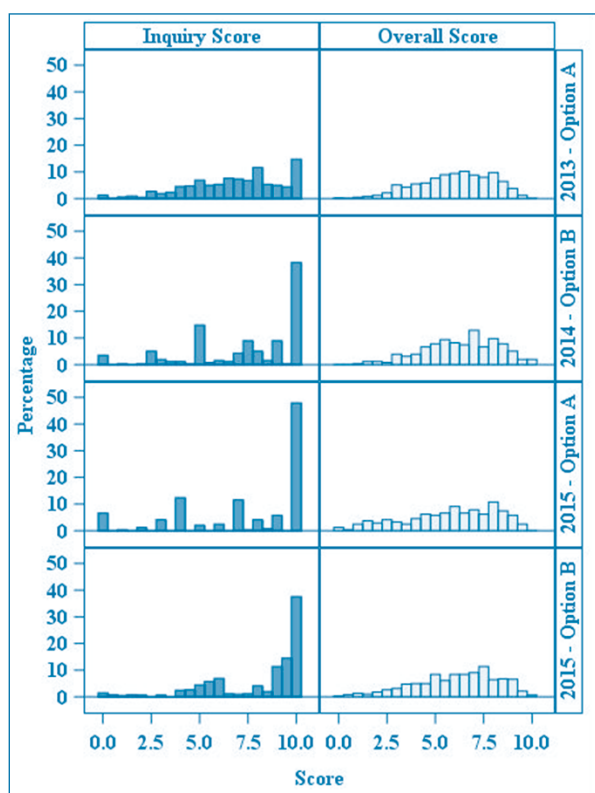


Figura 20. Distribució de Notes d'Indagació (Inquiry Score) i de Notes Globals (Overall Score) als exàmens de biologia de PAU

La Taula 25 recull els estadístics descriptius calculats tant de les qualificacions globals com de les qualificacions d'indagació, i es pot observar que Q1, mediana, Q3 i nota màxima tenen valors més alts en les qualificacions d'indagació.

Taula 25. Comparació d'estadístics descriptius de nota global i nota d'indagació

		Nota Global						Nota d'Indagació				
		N	Min	Q1	Mediana	Q3	Max	Min	Q1	Mediana	Q3	Max
2013	A	840	0.00	4.70	6.10	7.50	9.95	0.00	5.00	7.00	8.50	10.00
	B	285	0.15	5.10	6.50	7.50	9.75					
2014	A	1009	0.30	5.75	6.95	8.10	10.00					
	B	256	0.75	5.00	6.53	7.75	9.90	0.00	5.00	8.00	10.00	10.00
2015	A	242	0.00	4.20	6.03	7.80	9.55	0.00	5.00	9.00	10.00	10.00
	B	607	0.20	4.65	6.25	7.60	9.80	0.00	6.00	9.50	10.00	10.00

Per dur a terme aquesta anàlisi s'han utilitzat els quartils, que són mesures de posició que divideixen en quatre parts percentuals iguals la sèrie de dades de les qualificacions obtingudes pels estudiants:

- > quartil 1 o Q1, que, en un conjunt de dades numèriques ordenades de menor a major, és el valor que en té el 25% per sota i el 75% per sobre.
- > quartil 2 o Q2 que és la mediana (perquè el 50% de la sèrie de notes està per sota d'aquest valor i el 50% està per sobre; donat un conjunt de dades numèriques, si les ordenem de forma creixent i considerem la que queda en el centre, aquesta dada és la mediana)
- > quartil 3 o Q3, que, en un conjunt ordenat de dades, és el valor que en té el 75% per sota i el 25% per sobre.
- > nota màxima

Així, per exemple, en els resultats de la Taula 25 s'observa que:

- > el quartil 1 o Q1 (és a dir, la mediana de la meitat d'estudiants amb qualificacions més baixes), que indica que el 25% dels estudiants té qualificacions per sota i el 75% les té per sobre d'aquesta nota, mostra valors entre 4.20 i 5.75 en la nota global, mentre que en les qualificacions d'indagació els valors del Q1 són més alts i estan entre 5.00 i 6.00
- > el quartil 2 o Q2 o mediana (és a dir, el valor que ocupa el lloc central de totes les qualificacions quan estan ordenades de menor a major) té valors que estan entre 6.03 i 6.95 en la nota global, mentre que en les qualificacions d'indagació estan entre 7.00 i 9.50
- > els valors de Q3 (és a dir, la mediana de la meitat d'estudiants amb qualificacions més altes) estan entre 7.50 i 8.10 en la nota global, i entre 8.50 i 10.00 en la d'indagació
- > en les qualificacions d'indagació s'hi observen màxims de 10 sempre, mentre que només apareixen aquests màxims de 10 en la nota global de 2014 A

Els gràfics de caixa de la Figura 21 mostren un desplaçament molt marcat cap a la part superior de les caixes de les qualificacions de '*Disseny experimental*' o indagació, en relació amb les dels altres blocs de coneixement conceptual i a les qualificacions globals en les convocatòries de 2014 i 2015. L'anàlisi de les característiques de les qüestions d'indagació de 2014 i 2015 mostra que les seves demandes són tancades, i no exigeixen ni implícitament ni explícitament el domini de conceptes científics. En canvi, les qüestions d'indagació de 2013 impliquen la demanda d'explicar fenòmens científicament i per això el gràfic és diferent als dels altres dos anys.

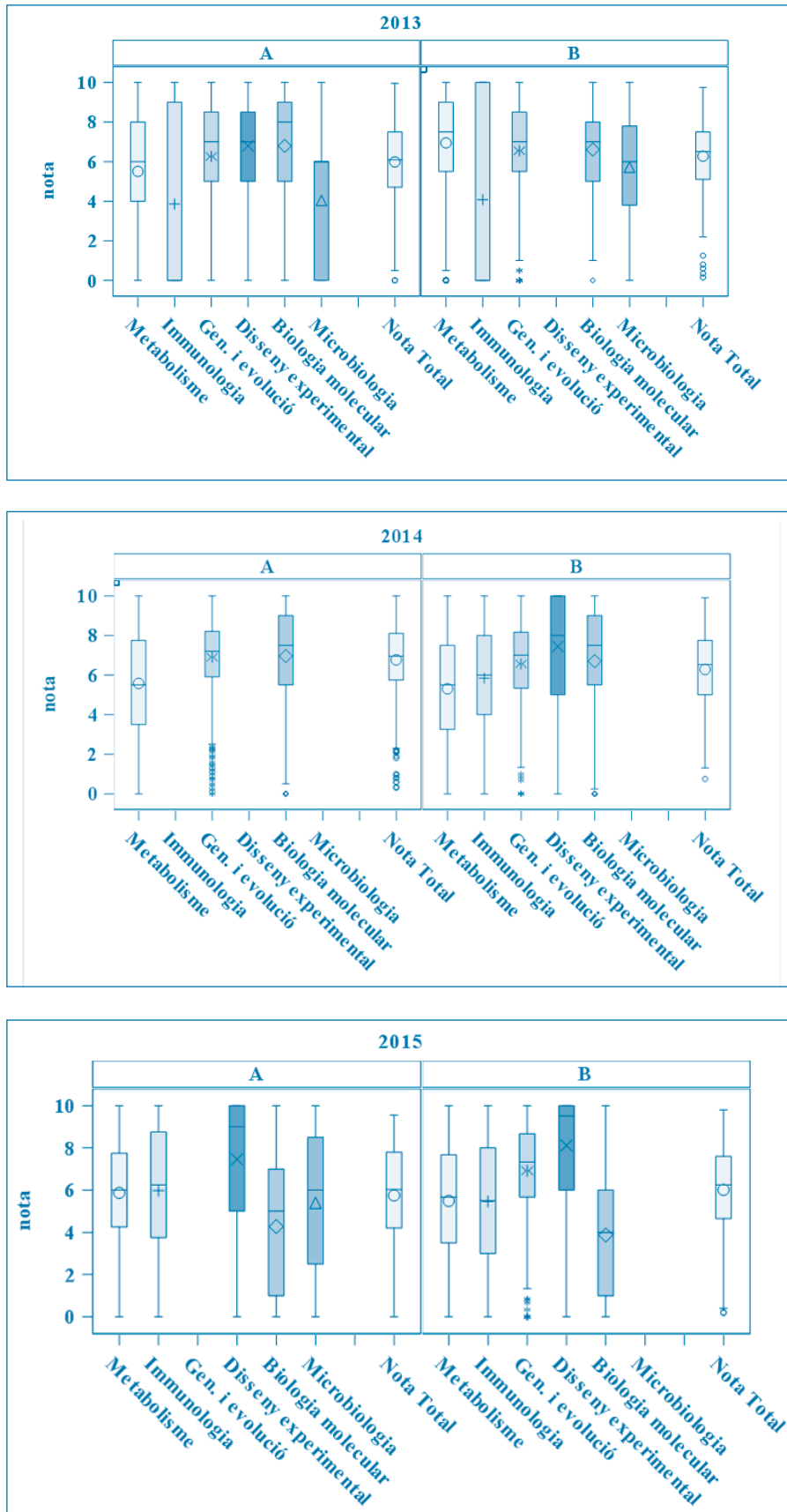


Figura 21. Comparació de qualificacions en els set blocs de continguts

La significativitat estadística d'aquestes diferències entre les qualificacions d'indagació i les qualificacions globals comparant les diverses proves va ser establerta amb dos procediments: la proporció d'estudiants amb nota > 9 en nota d'indagació i nota global, i la determinació de percentils:

- > La proporció d'estudiants amb nota superior a 9 és més elevada en les qualificacions d'indagació que en les qualificacions globals, en les quals té més pes el coneixement conceptual i els intervals de confiança no estan solapats (Taula 26). En la prova 2013 A, només el 2,62% dels estudiants va obtenir una nota global superior a 9, cosa que indica que la nota global igual a 9 correspon al percentil 97, mentre que aquesta mateixa nota de 9 correspon al percentil 81 en el cas de les qualificacions d'indagació. Les diferències són encara més pronunciades en les altres cinc proves, especialment en la prova 2014 B (9 corresponent al percentil 94 en nota global i al percentil 61 en nota d'indagació), en la prova 2015 A (9 corresponent al percentil 95 en nota global i al percentil 52 en nota d'indagació), i en la prova 2015 B (9 corresponent al percentil 96 en nota global i al percentil 48 en nota d'indagació).

Taula 26. Comparació de nota >9 i <9 en les notes d'indagació i en les notes globals (*diferències significatives)

Year	Option	Nota	Nota Global		Nota d'Indagació	
			%	CI	%	CI
2013	A*	Nota <= 9	97.38%	[96.30%, 98.46%]	80.83%	[78.17%, 83.50%]
		Nota > 9	2.62%	[1.54%, 3.70%]	19.17%	[16.50%, 21.83%]
	B	Nota <= 9	94.04%	[91.29%, 96.78%]	.	.
		Nota > 9	5.96%	[3.22%, 8.71%]	.	.
2014	A	Nota <= 9	92.57%	[90.95%, 94.19%]	.	.
		Nota > 9	7.43%	[5.81%, 9.05%]	.	.
	B*	Nota <= 9	94.14%	[91.26%, 97.02%]	61.33%	[55.36%, 67.29%]
		Nota > 9	5.86%	[2.98%, 8.74%]	38.67%	[32.71%, 44.64%]
2015	A*	Nota <= 9	94.63%	[91.79%, 97.47%]	52.07%	[45.77%, 58.36%]
		Nota > 9	5.37%	[2.53%, 8.21%]	47.93%	[41.64%, 54.23%]
	B*	Nota <= 9	95.72%	[94.11%, 97.33%]	47.94%	[43.97%, 51.92%]
		Nota > 9	4.28%	[2.67%, 5.89%]	52.06%	[48.08%, 56.03%]

- > A la Figura 22 es poden observar els gràfics de percentils, amb intervals de confiança, que comparen la nota global amb la nota d'indagació per a cada un dels tres anys, 2013, 2014 i 2015, i per a les dues opcions A i B que ofereix l'examen de cada any. Els exàmens de 2013 opció B i de 2014 opció A no proposaven cap qüestió d'indagació (Disseny Experimental) i per això en els gràfics d'aquests anys i opcions només s'hi veu una línia, que és la dels percentils de notes globals.

El percentil és una mesura de posició utilitzada en estadística que indica, quan s'han ordenat les dades de menor a major, el valor per sota del qual es troba un percentatge donat dels valors: per exemple, en aquest estudi el percentil 20 és la qualificació per sota de la qual hi ha el 20% de les qualificacions.

Es pot observar que els gràfics de percentils de nota global són molt similars en totes les proves analitzades, amb qualificacions de l'ordre de 6 en el percentil 50, és a dir, medianes similars a 6. Els gràfics de percentils de notes d'indagació estan per sobre i al percentil 50 li corresponen generalment qualificacions de 8 o superiors

Aquests gràfics ofereixen informació comparativa detallada: així, s'hi pot identificar a quin percentil correspon una determinada qualificació per a la nota global i per a la nota d'indagació. Per exemple, en les proves 2014 B, el 2015 A i 2015 B, s'hi identifiquen notes màximes, de 10, d'indagació en percentils propers al 60, mentre que les notes globals màximes no apareixen fins al percentil 100: en altres paraules, el 40% de l'alumnat ha obtingut un 10 en la qualificació d'indagació. En un mateix percentil, els estudiants obtenen notes d'indagació més altes que la nota global; per exemple, en la prova 2015 B el percentil 40 té una qualificació global que no arriba a 5 i una qualificació d'indagació superior a 8. Però en la prova 2013 A, el gràfic de percentils d'indagació s'assembla molt al de percentils de notes globals.

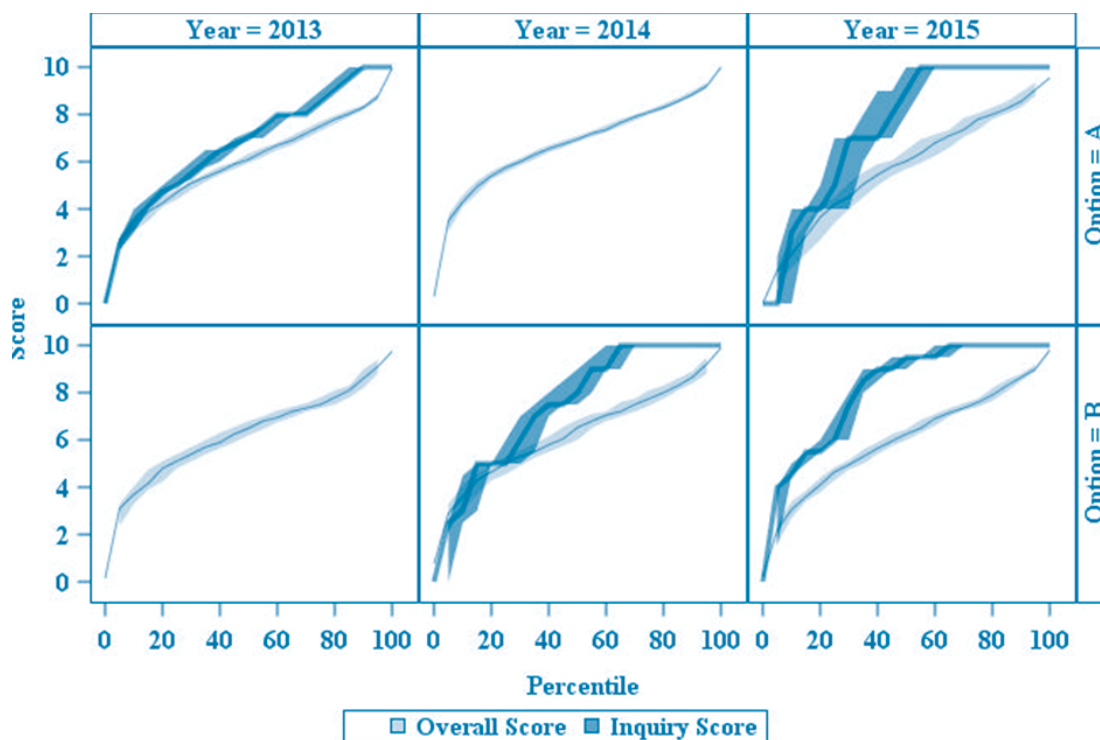


Figura 22. Comparació de percentils de nota d'indagació (Inquiry Score) i de nota global (Overall Score)

4.3.5. Resultats en relació amb la pregunta: Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?

Es va dur a terme l'anàlisi de l'associació entre la qualificació global i la qualificació d'indagació, categoritzant les qualificacions d'indagació en quatre grups: categoria de 0 a 2,5; categoria de 2,5 a 5; categoria de 5 a 7,5; i categoria de 7,5 a 10. Els resultats mostren, en general, que les qualificacions globals són més altes en els estudiants que han obtingut qualificacions altes d'indagació, i les diferències són estadísticament significatives (2013A: F Valor=185.14; 2014B: F Valor=23.49; 2015A: F Valor=68.32; 2015B: F Valor=102; p-valor < 0.0001). D'aquesta manera es demostra que hi ha associació entre la nota global i la nota d'indagació: per exemple, els gràfics de caixa de la Figura 23 mostren que els estudiants de la categoria 7,5-10 d'indagació tenen la caixa en una posició més alta, és a dir, tenen qualificacions globals més altes; i també es demostra que els estudiants de categoria 0-2,5 tenen la caixa en posició més baixa, és a dir, tenen qualificacions globals més baixes. Sembla, doncs, que una qualificació alta d'indagació permet inferir una qualificació global també alta i, a la inversa, una qualificació d'indagació baixa indicaria que l'estudiant també té una qualificació global baixa.

De tota manera, en la prova 2014 B quasi no hi ha diferència entre les notes globals de les categories 7,5-10 i 5-7,5 de qualificacions d'indagació; i també en aquesta mateixa prova 2014 B, són molt similars les qualificacions globals de les dues categories inferiors de qualificacions d'indagació de 0 a 2,5 i de 2,5 a 5. És a dir, en la prova 2014 B l'associació entre qualificació global i qualificació d'indagació només es pot establir considerant dues categories de qualificacions d'indagació: baixa, de 0 a 5 i alta de 5 a 10.

De totes maneres, fent una observació acurada dels gràfics es pot observar que hi ha notes globals molt diferents de les notes d'indagació de la corresponent categoria. En la categoria de qualificacions d'indagació de nivell més alt (7.5-10) la mitjana de nota global està entre 6.12 (2014B) i 6.76 (2013A). Aquesta discordança es pot explicar per la major facilitat per obtenir qualificacions altes d'indagació, evidenciada en els apartats anteriors de resultats. En canvi, el fet que en les categories d'indagació de nivell baix (0-2.5 i 2.5-5) hi hagi estudiants amb notes globals altes, és una discordança més inesperada: per exemple, en la categoria d'indagació '0-2.5' hi ha màxims de nota global entre 6.00 (2013A) i 7.5 (2015B); en la categoria '2.5-5', hi ha màxims de nota global entre 7.05 (2015A) i 8.6 (2015B); en la categoria '0-2.5' el Q3 de la nota global és en tots els casos més alt que 2.5, amb valors entre 3.05 i 5.53. El coneixement conceptual d'aquests estudiants és molt superior a les seves habilitats d'indagació.

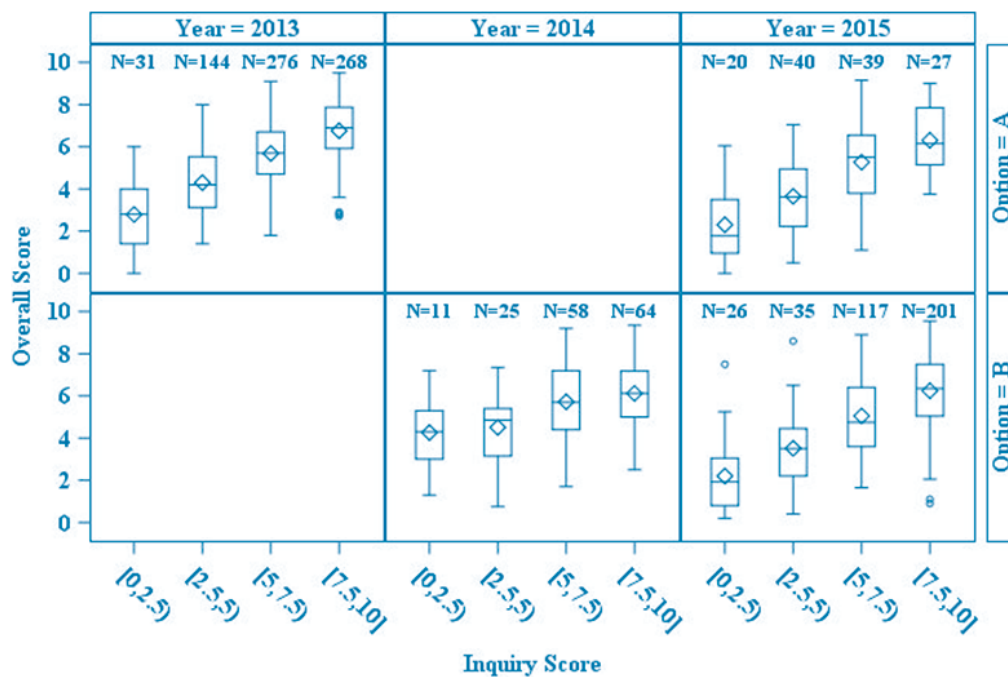


Figura 23. Associació entre nota global (Overall Score) i nota d'indagació (Inquiry Score) categoritzada

Així doncs, a grans trets, els resultats en relació a l'Objectiu 3, amb el qual ens proposàvem analitzar les característiques i els resultats d'avaluació de la indagació científica en les proves d'accés a la universitat han mostrat que plantegen una avaluació separada del coneixement conceptual i el coneixement procedimental, amb predomini de preguntes tancades en les qüestions d'indagació que, a més, són repetitives i es poden respondre de manera mecànica. I s'ha posat de manifest que els resultats que obtenen els estudiants en aquestes preguntes són poc discriminadors, amb notes que s'acumulen a la banda alta, i molt diferents de les obtingudes en les qüestions de coneixement conceptual.

SECCIÓ V.

RESUM I DISCUSSIÓ

DELS RESULTATS

169

- 5.1.** Dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma
- 5.2.** Dificultats dels batxillers en activitats d'indagació a l'aula
- 5.3.** Característiques i resultats de l'avaluació de la indagació en les proves d'accés a la universitat

Aquesta recerca de tesi ha realitzat tres aproximacions a l'avaluació de la indagació per mirar d'entendre què passa, per què passa i què es podria fer per millorar-ho, tres mirades a moments i processos d'ensenyament i aprenentatge diferents:

- > la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma
- > les activitats d'indagació d'aula
- > l'avaluació de la indagació científica en les proves d'accés a la universitat

A partir dels resultats de cada una d'aquestes tres aproximacions que s'han descrit en l'apartat anterior, en aquesta Secció V es presenta el resum i discussió d'aquests resultats, que fonamenten les conclusions i implicacions didàctiques que constitueixen la Secció VI

5.1. Dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma (Objectiu 1)

Per abordar aquesta anàlisi es va desenvolupar la rúbrica NPTAI, amb diverses categories que corresponen a processos habituals dels treballs d'indagació oberta, i amb descriptors jerarquitzats per a cada categoria. La rúbrica va ser considerada vàlida per un grup d'experts que la van utilitzar en la codificació de memòries de treballs de recerca i que van afirmar que disposar d'aquest instrument d'anàlisi de dades qualitatives, com són aquestes produccions dels estudiants, que permet al mateix temps qualificar-les quantitativament, era útil per l'estandardització que suposaven de l'avaluació i perquè n'augmentaven l'objectivitat (Tamir, Nussinovitz i Friedler, 1982). Els docents afirmaven que l'ús de la rúbrica ajudava a focalitzar l'avaluació en les habilitats i característiques pròpies de la competència d'indagació. Per això, i si es té en compte el fet referenciat a la literatura que l'avaluació condiona de manera transcendent els processos d'ensenyament i aprenentatge (Donnelly, Buchan, Jenkins, Laws i Welford, 1996; Green i Oates, 2007; Pollard i Triggs, 2000; Liang i Yuan, 2008), es pot inferir que posar el focus en les habilitats de la competència d'indagació contribuiria a promocionar aquesta competència. La comprovació en aquesta recerca de tesi del fet que alguns dels treballs no mostraven cap de les característiques pròpies de la indagació científica, va confirmar aquesta potencialitat.

A més, la rúbrica NPTAI va mostrar que permetia una avaluació fiable, tant en ser aplicada diverses vegades per un mateix codificador, com també en ser utilitzada per diversos codificadors. També es va comprovar la seva utilitat com a instrument d'avaluació formativa, perquè ajudava a identificar les dificultats i a posar en evidència en quins aspectes convindria posar èmfasi per afavorir el progrés dels estudiants.

Els resultats de codificació dels treballs de recerca utilitzant aquesta rúbrica van mostrar que les dificultats apareixien ja des dels primers processos: per exemple, es va constatar que als batxillers els costava identificar preguntes investigables: en les memòries de treballs de recerca analitzades, només 8 dels 23 estudiants (35 %) plantejaven problemes investigables i concretaven preguntes adequades, basades en fets i que suggerien aspectes metodològics. En una primera sessió de treball amb el seu professor/a assessor/a quan iniciaven el treball, només 5 dels 38 estudiants d'un

grup de primer de batxillerat (13 %) a qui es va fer el seguiment plantejaven preguntes d'aquestes característiques; i després de tres sessions de treball plantejaven preguntes acurades 17 dels 38 (45 %). Cal tenir en compte, però, que 5 d'aquests 38 estudiants van tenir l'assessorament d'una mateixa professora que, d'acord amb els suggeriments de la recerca d'aquesta tesi, en les tres sessions de treball els va definir què era una pregunta investigable, va insistir que les preguntes proposades havien de ser preguntes científiques, i els va remarcar que calia buscar fonaments teòrics i precedents per refinar les preguntes proposades, i que les preguntes havien de suggerir aspectes metodològics. Aquests 5 estudiants, a la tercera sessió, tots van aconseguir proposar preguntes investigables acurades. Per tant, si s'analitzen els resultats restant aquests estudiants del grup de 38, s'observa que són 12 dels 35 restants els que van proposar preguntes investigables en la tercera sessió, el 34 %, percentatge que coincideix amb els resultats obtinguts de l'anàlisi de 23 memòries de treballs de recerca.

Estudis com els de Furman, Barreto i Sanmartí (2006) i d'Oliveras, Márquez i Sanmartí (2012) ja van constatar que l'alumnat tenia dificultats en la formulació d'una pregunta científica investigable. En els resultats d'aquesta recerca de tesi, la tendència dels estudiants a proposar preguntes d'informació, en lloc de preguntes d'investigació, quan inicien el treball de recerca (22 dels 38 estudiants, el 58 %) semblava evidenciar la persistència a les aules de models didàctics de transmissió de coneixement en què el docent habitualment planteja preguntes no investigables a les quals es respon basant-se en continguts teòrics (Domènech, 2014). En general, es posava de manifest que proposar preguntes científiques acurades, és a dir, que fossin investigables, suggerissin metodologia i establissin relació entre variables, era un fet excepcional (Graves i Rutherford, 2012).

També es van identificar dificultats en el disseny de metodologia d'investigació per respondre les preguntes: en les memòries de treballs de recerca analitzades, només 6 dels 23 estudiants (26 %) proposaven un disseny acurat, amb rèpliques i controls. Aquests resultats coincidien amb estudis com el de Zimmerman (2000), que va comprovar que l'alumnat tendia a elaborar dissenys experimentals que proporcionaven poca informació i a ser poc sistemàtics en la planificació d'experiments i en la recollida de dades. I en la mateixa línia, Kanari i Millar (2004) van mostrar que els estudiants solien recollir dades insuficients o inadequades i acostumaven a proposar

conclusions no recolzades en dades. En la recerca d'aquesta tesi les dades indicaven que només en el 30 % de les memòries dels 23 treballs de recerca analitzats les conclusions proposades estaven basades en les dades recollides; el 70 % restant van ser identificats com a exemples de nivells de competència d'indagació incipient, precientífic o acientífic, tots ells caracteritzats per proposar conclusions deslligades dels resultats.

Concretant les dificultats detectades en el disseny metodològic, es va observar que són freqüents les errades en la identificació de variables: només en 4 de les memòries dels 23 treballs (17 %) s'identificaven i definien de manera precisa les variables, tot i que aquest nombre s'incrementava a 7 si s'hi inclouïen els casos d'identificació imprecisa (30 %). Els errors més habituals es van detectar en l'estratègia de control de variables, possiblement per dificultats en la comprensió del seu impacte en els resultats d'un experiment (Grunwald i Hartman, 2010; Khun i Dean, 2005). En estudiants a l'inici dels estudis universitaris i, per tant, de nivell similar als batxillers, D'Costa i Schlueter (2013) també van apuntar a aquests problemes relacionats amb la identificació de variables i el disseny d'experiments; i Grunwald i Hartman (2010) remarcaven el fet que, dels estudiants del primer curs universitari, *a majority are uncertain about designing a controlled experiment and fail to understand the impact of the experimental variables on the result of the experiment* (p.19). Són nombrosos els estudis que coincideixen amb aquesta descripció de dificultats relacionades amb la identificació de variables i el disseny d'experiments (Brownell, Wenderoth, Theobald, Okoroafor, Koval, Freeman i Crowe, 2014; D'Costa i Schlueter, 2013; Khun i Dean, 2005; Khun, 2007). Una de les dades sorprenents dels resultats obtinguts en aquesta recerca de tesi va ser que alguns estudiants, que havien utilitzant metodologia acurada per recollir dades, una metodologia que implicava manipulació de variables, quan se'ls preguntava quines eren la variable independent i la variable dependent de les seves investigacions, responien que no en tenien: això evidenciava el desconeixement de conceptes de coneixement procedimental com ara aquests, relatius a les variables.

En relació a les hipòtesis, en les memòries de treballs de recerca es va observar que solien tenir el format de simples prediccions: no era habitual formular-les en forma de deducció, i menys encara fent referència a conceptes científics: només 9 dels 23 estudiants (39 %) formulaven hipòtesis en forma de deducció i suggerien variables, tot i que només un (4 %) ho feia fent

referència a conceptes científics. Com a dada d'interès per mirar d'identificar les causes d'aquesta situació, es pot comentar que, en les pautes de correcció dels exàmens de biologia de PAU, la formulació d'hipòtesis apareix com a predicció, amb un format com el que es desprèn d'aquests exemples: *Potser rentar-se les mans elimina els bacteris que puguin tenir* o *Potser les mosques no apareixen de la fruita espontàniament*. A més, els resultats també van mostrar el fet que sovint la metodologia proposada pels estudiants en els seus treballs de recerca no permetia abordar el contrast de les hipòtesis formulades, com ja havien descrit Hodson (1996) i Hofstein i Lunetta (2004).

Només 3 de les 23 memòries de TR (13%) mostraven una gran coherència entre les preguntes científiques, les hipòtesis formulades en relació a cada pregunta i la concreció de les dades recollides per abordar el contrast d'aquestes hipòtesis, i, en lògica conseqüència, presentaven conclusions ben fonamentades en les dades de recerca i relacionades amb conceptes científics i precedents.

Aquests resultats encaixaven amb el fet demostrat que les dificultats en les activitats d'indagació augmenten en activitats d'indagació obertes, en incrementar el grau d'autonomia dels estudiants, de manera que ells hagin de prendre decisions relacionades amb el disseny i la planificació del treball (Crujeiras i Jiménez Aleixandre, 2015; Grau, 1994).

És de suposar que una de les causes de les dificultats identificades en la realització dels treballs de recerca autònoma és el fet que els estudiants no hagin fet prèviament activitats d'aprenentatge de les habilitats que caracteritzen la indagació científica en nivells menors d'obertura. D'Costa i Schlueter (2013) afirmen taxativament: *Students should not be exposed to open inquiry until they have sufficient experience with the lower levels of inquiry*. I, en la mateixa línia, Bell et al. (2010) apunten que, sense aquest procés d'acompanyament previ pels nivells inferiors d'indagació, els estudiants tindran dificultats per fer treballs d'indagació oberta i autònoma. Diversos estudis han evidenciat que els treballs pràctics que se solen plantejar als estudiants tenen un nivell baix d'indagació: amb la rúbrica proposada per Fay, Grove, Towns i Bretz, (2007) es pot determinar que el nivell d'indagació d'aquests treballs és de 0 o 1, fet que ja constataren fa anys Tamir i García (1992) en l'anàlisi de les pràctiques en els llibres de text, i que no sembla que

hagi variat gaire en els textos actuals de batxillerat. Aquesta limitació també va ser constatada en estudis posteriors, com el de Chin i Malhotra (2002), en avaluar les activitats d'indagació en textos i publicacions didàctiques; el seu estudi va mostrar que la majoria no reflecteixen habilitats fonamentals d'indagació, com ara la formulació d'hipòtesis o el disseny de metodologia per contrastar-les. I el de Tiberghien, Veillard, Le Maréchal, Buty i Millar (2001) va comprovar que, entre el 80 i el 95% de les pràctiques proposades en els textos de nivell preuniversitari i universitari en tres matèries de ciències (química, física i biologia) de set països europeus, estaven absolutament pautades i que és el professor qui proposa la pregunta investigable, l'equipament que s'ha d'utilitzar, el procediment a seguir, els mètodes de tractament de dades i la interpretació dels resultats. En contraposició, una investigació oberta i autònoma com la que hauria de suposar el treball de recerca correspon al nivell 3 de l'esmentada rúbrica (Fay, Grove, Towns i Bretz, 2007), perquè l'estudiant hi ha d'escollir problemes per investigar i ha de desenvolupar procediments per investigar-los.

Una altra explicació de l'existència de les dificultats identificades és l'èmfasi que habitualment es posa en el coneixement conceptual, especialment en el batxillerat, i el fet que, quan es plantegen pràctiques, es fa sovint deslligant-les de la teoria i proposant activitats purament manipulatives (Garrido, 2016). Trumbull, Bonney i Grudens-Schuck (2005) esmentaven estudis d'autors com Hodson (1996) i Hofstein i Lunetta (2004) i argumentaven que els estudiants tenien dificultats per adquirir els hàbits necessaris per conduir indagacions científiques com ara la utilització coordinada de teoria i observacions per fonamentar hipòtesis. Els resultats d'aquesta recerca de tesi van evidenciar aquesta dificultat per relacionar els continguts científics amb les investigacions realitzades (Crujeiras i Jiménez Aleixandre, 2015; Girault, D'Ham, Ney, Sánchez i Wajeman, 2012) ja que mostraven que quasi la meitat dels estudiants havien fet treballs de nivells de competència d'indagació baixos (indagador incipient, precientífic i acientífic) que es caracteritzen per aquesta limitació.

5.2. Dificultats dels batxillers en activitats d'indagació d'aula (Objectiu 2)

Els resultats obtinguts amb la utilització d'activitats d'indagació simulada a l'aula van evidenciar que les dificultats que mostraven els estudiants quan se'ls proposaven descripcions d'investigacions i se'ls plantejaven demandes relacionades amb habilitats d'indagació eren molt similars a les que mostraven en la realització de treballs d'indagació oberta. Les dificultats no eren, com s'havia suposat, menors que les que els originava la realització del treball de recerca. Aquesta suposició es fonamentava en el fet que, a diferència del que pot succeir en les investigacions dels treballs de recerca dels estudiants, en aquestes activitats d'aula es proposaven com a context investigacions coherents. De fet, aquests resultats coincidien amb els recollits en un estudi recent de Di Mauro i Furman (2016), en el qual es fa una revisió de la literatura que descriu les dificultats en les investigacions experimentals per contrastar una o més hipòtesis manipulant una o més variables (Zimmerman, 2007). L'estudi remarcava que els estudiants tenien dificultats per reconèixer errors en dissenys experimentals, i recollia la demostració, descrita per Kuhn i Dean (2005), de les dificultats per identificar variables. I també el fet que aquestes dificultats persistien en estudiants universitaris de primer curs i, per tant, d'un nivell similar al dels batxillers, els quals consideraven difícil el disseny d'experiments i tenien concepcions poc acurades d'aquests processos (Brownell et al., 2014).

En la mateixa línia, en la recerca d'aquesta tesi es va demostrar que, quan es demanava als estudiants identificar les preguntes investigables que havien orientat la investigació descrita, tendien a proposar preguntes d'informació, repetint també en aquest cas, com en el seu treball de recerca, el procés habitual en els models didàctics de transmissió de coneixement, en què el docent habitualment planteja preguntes no investigables a les quals es respon basant-se en continguts conceptuals (Domènech, 2014). Fins i tot en casos en què l'alumnat demostrava domini dels conceptes científics subjacents a la investigació descrita, la tendència inicial era de proposar una pregunta d'informació: la comprensió dels conceptes relacionats amb la investigació es va demostrar, per tant, com a condició necessària (Furman, Barreto i Sanmartí, 2006) però no suficient per abordar la identificació de les preguntes investigables. Altres vegades proposaven preguntes amb formulació ambigua (Lombard i Schneider, 2013) o genèrica. En els casos en què

la investigació implicava conceptes científics complexos, com ara la cinètica enzimàtica, aquesta formulació ambigua de la pregunta es caracteritzava per l'absència de referència a aquests conceptes, com ara, en aquest exemple, el concepte d'inhibidor enzimàtic que era central en l'experiment descrit com a context. També era habitual que la pregunta formulada posés de manifest confusions conceptuals, com ara en aquest cas el concepte del substrat, la penicil·lina, amb el concepte d'enzim, la penicil·linasa que generava la resistència bacteriana a l'antibiòtic. En resum, es va poder comprovar que la inclusió d'activitats que implicaven habilitats procedimentals feia aflorar errors conceptuals. En aquest exemple concret, proposat a un grup de 36 estudiants, només el 17 % identificava el problema investigable de la recerca i ho feia sense errors conceptuals i de tal manera que suggeria metodologia.

També es van identificar dificultats per formular les hipòtesis que havia orientat la investigació descrita i per fer-ho en forma de deducció i fent referència a conceptes científics, tal i com és convenient per relacionar indagació i coneixement conceptual (Windschitl et al., 2008). Només el 22 % de l'alumnat formulava hipòtesis acurades. La tendència habitual era enunciar-les com a simples prediccions, i en la formulació afloraven incomprensions en relació amb els conceptes científics implicats. En aquesta habilitat de formulació d'hipòtesis sí que es va poder demostrar la influència positiva del domini de coneixement conceptual relacionat amb la investigació descrita: en els processos d'avaluació formativa, les intervencions de la professora en una activitat dialògica, ajudant l'estudiant a mobilitzar aquest coneixement, afavorien la proposta d'hipòtesis adequades i acurades.

En relació a la identificació de variables, l'alumnat semblava tenir menys dificultats en la identificació de la variable dependent, però tendia a enumerar de manera genèrica les variables controlades, sense fer referència a variables específiques de la investigació descrita. També es va identificar la confusió entre variable dependent (VD) i variables controlades: quan se'ls demanava quines eren les variables controlades, alguns estudiants confonien allò que calia controlar – aquelles variables diferents de la VI- amb allò que calia mesurar –la VD-; i el fet que, quan se'ls demanava la identificació de variables controlades, tendien a enumerar variables estereotipades i a ignorar-ne de transcendents en relació amb la investigació proposada. La identificació de la variable independent suposava més problemes als estudiants, fins i tot en aquells casos en què

les dades mostrades en la descripció de la investigació la feien evident: per exemple, en resultats comparatius d'actuació d'un enzim en presència o en absència d'un inhibidor.

Igualment es van comprovar les dificultats de l'alumnat per fer propostes acurades de disseny metodològic que permetessin obtenir dades com les presentades en la investigació descrita com a context. La demostració d'aquesta dificultat es va fer especialment evident quan es van mostrar a un grup d'estudiants els resultats de l'experiment ja esmentat per comprovar el possible efecte de l'àcid clavulànic com a inhibidor de l'enzim penicil·linaasa: la majoria no van ser capaços de descriure la metodologia de manera que fos coherent amb les dades recollides, i que inclogués grup control i rèpliques.

Per tant, en les activitats d'aula d'indagació simulada, com en la realització del treball de recerca, es van detectar mancances en la identificació de les preguntes investigables que havien orientat la investigació descrita, també a l'hora de proposar metodologies adequades en relació amb les preguntes i les hipòtesis formulades, així com problemes per identificar les variables, proposta estereotipada i deslligada del context de les variables a controlar, no inclusió de rèpliques, etc. A més, era remarcable, i no s'esperava, la persistència de les dificultats en habilitats d'indagació identificades en el procés de seguiment d'estudiants voluntàries que van fer, al llarg de sis mesos, diverses activitats d'indagació simulada: en les seves respostes inicials, prèvies al diàleg amb la investigadora, es repetien una vegada i una altra les mateixes dificultats, com ara la confusió entre preguntes d'investigació i preguntes d'informació, la incapacitat per formular hipòtesis en forma de deducció, la confusió entre variables controlades i variable depenent, o la falta de precisió en la identificació de la variable independent. Però també era igualment remarcable el progrés observat per la influència del diàleg entre estudiant i investigadora, que demostrava l'interès d'utilitzar activitats d'aquestes característiques en processos d'avaluació formativa, i la utilitat de les rúbriques jerarquitzades per afavorir la metareflexió. Aquests elements permetien identificar què succeïa, per què succeïa i què es podia fer per millorar-ho, com en el cas ja explicat de la identificació de les preguntes investigables: els estudiants no sabien identificar-les, les confonien repetidament amb preguntes d'informació, i calia recordar-los que les preguntes s'havien de poder respondre empíricament. O en la formulació d'hipòtesis: els estudiants les proposaven com a simple predicció, i necessitaven un procés de reflexió per estructurar-les en forma de deducció

i fent referència a conceptes científics en què fonamentar-les; i en aquest procés convenia fer aflorar els seus coneixements científics i fer-los conscients de la necessitat de mobilitzar-los en les activitats d'indagació.

Possiblement, com ja s'ha comentat, aquestes dificultats podrien tenir l'origen en la poca presència a les aules de les activitats relacionades amb la indagació i en el major èmfasi en els continguts conceptuals del currículum (Caamaño, 2012). Weiss, Pasley, Smith, Banilower i Heck (2003) en les seves observacions sobre l'educació científica a les aules van comprovar que la indagació oscil·lava entre el 15% a primària (K-5) i el 2% en els últims cursos de secundària (K-12). Les dificultats també són explicables pel fet, ja remarcat, que les activitats d'indagació, quan es proposen, són de nivell baix, amb tots els processos dirigits pel professor (Chinn i Malhotra, 2002; Fay, Grove, Towns i Bretz, 2007; Tamir i García, 1992; Tiberghien, Veillard, Le Maréchal, Buty i Millar, 2001) i fan poca referència al coneixement conceptual.

5.3. Característiques i resultats de l'avaluació de la indagació en les proves d'accés a la universitat (Objectiu 3)

Fins ara, en la discussió de resultats dels apartats anteriors s'ha comentat que possiblement les dificultats identificades en les habilitats d'indagació tenen el seu origen en la poca presència a les aules de les activitats didàctiques relacionades amb la competència d'indagació i en el major èmfasi que se sol posar en els continguts conceptuals del currículum. Però hi ha un altre condicionant de gran transcendència que pot estar també en l'origen de les dificultats identificades, i és el que fa referència als exàmens de selectivitat de biologia, perquè el pes que tingui en aquests exàmens el contingut conceptual, i l'enfocament que mostrin en l'avaluació del coneixement procedimental, poden permetre inferir quina serà la presència de les activitats d'indagació en els processos d'ensenyament i aprenentatge. Els resultats obtinguts en aquesta recerca en relació amb les característiques de les qüestions que proposen els exàmens de biologia de PAU i amb els resultats que hi obtenen els estudiants sembla que sostenen que una de les raons d'aquesta presència reduïda de les activitats d'indagació a les aules pot ser el fet que els exàmens de selectivitat atorguen un lloc menor a aquest tipus d'habilitats. De fet, la recerca es va centrar d'entrada en l'anàlisi dels resultats dels estudiants en els exàmens de selectivitat de biologia, comparant les notes globals amb les notes obtingudes en les qüestions d'indagació, perquè es volia analitzar si hi havia diferències. I van ser les diferències identificades en aquests resultats les que ens van suggerir l'interès d'analitzar què es preguntava en les qüestions d'indagació i com es preguntava, per mirar de trobar-hi una explicació.

5.3.1. Característiques de les qüestions

Per abordar la resposta d'aquesta suposició en relació a les PAU, ens preguntàvem: *Quines característiques tenen les qüestions? Es relacionen coneixement conceptual i coneixement procedimental?*

D'entrada, sembla remarcable que l'anàlisi de les qüestions dels exàmens de biologia de selectivitat va mostrar des de 2011 fins a 2015 una tendència cap a l'increment (del 30% al 40%) de les demandes tancades, que es responen amb una paraula o una frase, sense que calgui justificació o explicació. Possiblement aquesta tendència s'explica pel fet que l'ús de preguntes

de resposta tancada redueix les dificultats de correcció, així com els problemes de fiabilitat, però la validesa i l'autenticitat de l'avaluació també es redueixen (Rodger Bybee et al., 2009). Les preguntes tancades augmenten l'objectivitat de l'avaluació però, com afirmen Bybee et al.(2009) *“Open constructed-response items are expensive to code and introduce the problem of marker reliability, but they increase the range of cognitive processes that can be assessed and so add validity and authenticity to the assessment.”* p. 872. Aquestes consideracions fan pensar que convindria augmentar la utilització de preguntes obertes o, com a mínim, de preguntes tancades que incloguessin demanda de justificació.

A més, la descripció de les característiques de les qüestions posa de manifest que l'avaluació de conceptes científics és l'objectiu central dels exàmens d'accés a la universitat, amb predomini de la demanda d'explicar fenòmens científicament. Les competències d'interpretar dades i evidències, i d'avaluar i dissenyar indagació, tenen una presència molt menor, en contrast amb el fet que, d'acord amb les orientacions curriculars, els objectius de la biologia en els estudis preuniversitaris són no només donar als estudiants l'oportunitat d'estudiar els conceptes i teories fonamentals i la seva aplicació al món real, sinó també entrenar-los en la utilització de les pràctiques científiques. La contextualització de les qüestions permet afirmar que els exàmens de biologia de les proves d'accés a la universitat ofereixen als estudiants oportunitats per aplicar el coneixement conceptual al món real. Però les característiques de les qüestions semblen indicar que els exàmens sobretot representen el contingut conceptual i, en canvi, no semblen estimular el desenvolupament en els estudiants de les habilitats per realitzar indagació científica (Liang i Yuan, 2008). També és remarcable que les qüestions d'indagació proposades sovint escullen contextos o proposen demandes que no exigeixen el domini de coneixement conceptual per ser contestades, amb una aproximació que sembla buscar que l'estudiant es centri en els processos de la ciència (Friedler i Tamir, 1990; Gott i Roberts, 2008). Seria desitjable una altra aproximació, en la línia proposada pel National Research Council (2012), en la qual els conceptes i els processos de la ciència fossin avaluats conjuntament i d'acord amb el paradigma de la indagació basada en models (Windschitl et al., 2008).

Els resultats permeten afirmar que les qüestions es proposen de tal manera que no relacionen coneixement conceptual i coneixement procedimental. Les qüestions d'indagació habitualment

demanen la identificació de preguntes investigables, la formulació d'hipòtesis i la identificació de variables, sense demanar explicació de la seva relació amb conceptes científics. I l'anàlisi de dades i l'argumentació de conclusions són demandes poc freqüents. Tenint en compte que la transcendència de les proves permet suposar que condicionen els processos d'ensenyament i aprenentatge, convé preguntar-se si qüestions d'indagació sovint tancades, que no demanen justificació o argumentació, i amb coincidència en les seves demandes, no podrien comportar el risc que s'entreni els estudiants (Green i Oates, 2007; Jones et al., 2015) per respondre automàticament, sense afavorir una comprensió àmplia dels processos de la ciència. A més, el fet constatat que sovint les demandes d'indagació es poden respondre sense referència a coneixement conceptual, incrementa encara més aquest risc. Per reduir aquest efecte caldria plantejar preguntes obertes, amb diversitat de les demandes d'indagació i fent referència a conceptes científics; perquè els resultats dels estudiants mostren que, quan les demandes tenen aquestes característiques, les seves qualificacions en les qüestions d'indagació són similars a les obtingudes en les qüestions de coneixement conceptual.

Per altra banda, la majoria de les investigacions proposades com a context són de tipus experimental (Binns i Bell, 2015). En molts camps de la recerca científica, com l'evolució o l'epidemiologia, no és possible realitzar experiments controlats i la investigació es basa en el recull sistemàtic de dades, sense reproducció i manipulació controlada del fenomen. El component d'avaluació que Pellegrino (2003) anomena *cognició* (el model de coneixement que s'espera que desenvolupin els estudiants quan tenen competència en el domini) hauria de ser revisat, augmentant la presència de les investigacions no experimentals per, d'aquesta manera, donar una representació adequada de la varietat de mètodes usats per la ciència i evitar la idea que totes les investigacions són experimentals (Binns i Bell, 2015).

5.3.2. Característiques dels resultats dels estudiants

Els resultats obtinguts pels estudiants haurien d'oferir informació per descriure les seves habilitats, però semblen remarcables les limitacions de la informació que aporten els resultats dels exàmens de biologia de PAU en relació amb les habilitats d'indagació dels batxillers. Respecte a les dues preguntes que es plantejaven de si *Són diferents les qualificacions de les qüestions de contingut i d'indagació*, s'ha comprovat que els resultats de les qüestions d'indagació són molt diferents dels

resultats de les qüestions de contingut, tant les d'un mateix ítem com, en general, en relació amb totes les qüestions de l'examen. Els estudiants no responen de la mateixa manera les qüestions d'indagació i les dels blocs de coneixement conceptual, sinó que obtenen qualificacions més altes en les d'indagació i, com s'ha demostrat en estudis d'Ofqual, (2013) sobre avaluació del treball pràctic, els resultats de les qüestions d'indagació sembla que no donen informació significativa en relació amb les habilitats d'indagació dels estudiants, perquè les notes tendeixen a acumular-se prop de la nota màxima i, per tant, no són discriminatòries. Els elevats percentatges d'estudiants amb nota d'indagació alta i el fet que obtinguin nota màxima en percentils baixos evidencien la necessitat de fer anàlisis prèvies de pilotatge, per assegurar la capacitat de discriminació de les qüestions (Bybee et al., 2009). Presumiblement, com que el que es demana és molt acotat i amb escassa relació amb coneixement conceptual, els resultats mostren que els estudiants saben fer l'examen i que s'han adaptat bé a allò que se'ls pregunta, més que no pas quina és la seva competència d'indagació (Green i Oates, 2007).

Respecte a la pregunta *Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació segons les característiques de la demanda?* els resultats mostren que la influència de les característiques de la demanda en les qualificacions dels estudiants és una evidència. La major dificultat per obtenir qualificacions altes d'indagació de la prova 2013A pot explicar-se pel fet que la resposta és oberta i demana explicació i, a diferència d'altres qüestions, la seva resposta suposa una combinació d'habilitats d'indagació i de comprensió d'idees centrals de la biologia. Aquesta influència de la necessària comprensió de conceptes científics i l'obertura de les qüestions s'evidencia també en les qualificacions més altes en les altres qüestions que es poden respondre sense comprensió conceptual i que són de resposta tancada. Aquestes evidències abonen la proposta anterior, en el sentit de la conveniència de redissenyar les proves proposant ítems que avaluin habilitats d'indagació en contextos de contingut conceptual elevat, i que aquest sigui necessari per abordar les respostes. De totes maneres, cal fer més recerca per investigar la relació entre les característiques de les qüestions i els resultats dels estudiants, amb l'objectiu d'identificar la influència per separat de les dues variables implicades, demanda i obertura, utilitzant per exemple qüestions "*domain-general*" (que proposen tasques que no impliquen coneixement científic per minimitzar l'impacte del coneixement conceptual dels estudiants) i qüestions "*domain-specific*": o totes obertes o totes tancades, per controlar les variables implicades.

També es plantejava la pregunta: *Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?* Els resultats mostren que una qualificació alta d'indagació permet inferir una qualificació global també alta, i a la inversa, una qualificació d'indagació baixa indicaria que l'estudiant també té una qualificació global baixa. De totes maneres, fent una observació acurada de les dades es pot observar que hi ha estudiants amb notes globals molt diferents de les seves notes d'indagació. La discordança en relació amb qualificacions més altes d'indagació que qualificacions globals es pot explicar per la major facilitat per obtenir qualificacions altes d'indagació. En canvi, el fet que hi hagi estudiants amb qualificacions d'indagació baixes però qualificacions globals altes és una discordança més inesperada. El coneixement conceptual d'aquests estudiants és molt superior a les seves habilitats d'indagació i sembla evidenciar que la indagació no té a les aules, en tots els casos, el lloc que li correspondria.

Convé remarcar, però, que es poden identificar problemes relacionats amb la validesa i la fiabilitat dels resultats d'aquest estudi, perquè els necessaris canvis anuals en el contingut dels exàmens i en les característiques de les qüestions són variables que poden influir (Green i Oates, 2007). L'anàlisi de sèries més llargues de resultats dels estudiants en els exàmens de biologia de PAU podria minimitzar l'efecte d'aquestes variables no controlades. Ampliar la recerca didàctica en aquest àmbit sembla que pot tenir mot interès, donada la relació existent entre allò que es pregunta i la manera com es pregunta en els exàmens oficials, i allò que els professors fan a les aules: no es pot esperar que les pràctiques d'ensenyament i aprenentatge promocionin la competència d'indagació si aquesta no està més i millor representada en els exàmens d'accés a la universitat. Aquest exàmens poden jugar un paper clau en els esforços per portar la ciència escolar cap a una millor consideració de les pràctiques científiques.

SECCIÓ VI.
CONCLUSIONS I IMPLICACIONS
DIDÀCTIQUES

187

En aquesta secció es presenten les conclusions i implicacions didàctiques que es deriven de la discussió dels resultats de la recerca didàctica d'aquesta tesi, i s'estructuren fent referència als objectius proposats i a les preguntes plantejades en relació amb aquests objectius.

Els Objectiu 1 i 2 d'aquesta recerca es proposaven:

- > Identificar dificultats dels batxillers en la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma
- > Identificar dificultats dels batxillers en habilitats d'indagació en activitats d'aula

I es plantejaven les preguntes següents:

- Quines dificultats mostren els estudiants en la realització de treballs d'indagació?
- Quines dificultats mostren els estudiants en la formulació de preguntes investigables?
- En quines habilitats d'indagació mostren dificultats els estudiants?

Les conclusions i les implicacions didàctiques que se'n deriven en relació amb aquests objectius i preguntes es detallen tot seguit:

L'anàlisi de memòries i de presentacions orals de treballs de recerca de batxillerat, utilitzant una rúbrica per estandarditzar-la i augmentar l'objectivitat del procés, va mostrar que l'alumnat sovint es veu desbordat pel repte que li suposa realitzar un treball d'indagació oberta i autònoma que deixa a les seves mans tot el procés, i que li genera sensacions d'inseguretat, preocupació i desànim (Menoyo, 2013); i també va evidenciar que els estudiants tenen dificultats en el disseny d'experiments (Brownell et al., 2014).

En enfrontar-se a la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma, els estudiants mostren dificultats en les habilitats característiques de la competència d'indagació: confonen preguntes investigables amb preguntes d'informació, formulen hipòtesis com a simples prediccions i sense relació amb conceptes científics, proposen dissenys metodològics que són poc coherents amb les preguntes i les hipòtesis plantejades, els costa identificar les variables d'un disseny experimental, fan una descripció mecànica de les variables controlades sense relacionar-les amb la investigació en concret, solen recollir dades insuficients o inadequades i tendeixen a proposar conclusions no recolzades en dades.

La comprovació de la confusió entre preguntes d'informació i preguntes investigables és un dels resultats remarcables (Domènech, 2014; Kelsey i Steel, 2001). L'alumnat proposa d'entrada preguntes com *Què són les úlceres per pressió?* o *Què és el càncer?* o *Per què hi ha varietats de plantes de cultiu que s'adapten millor a una determinada zona?* que no permeten abordar una investigació sinó que orienten la informació prèvia que precisen. I és la reflexió entorn a la necessitat de buscar informació sobre el tema la que permet fer-los adonar, per una banda, de la necessitat de tenir aquesta informació i, per l'altra, que la investigació s'ha de plantejar preguntes més concretes i abastables, relacionades amb aquesta informació teòrica però centrades en aspectes que es puguin respondre amb l'obtenció de dades. Només així, en un procés lent i iteratiu (Lombard i Schneider, 2013), s'aconsegueix arribar a concretar preguntes investigables com *Què succeeix si comparem avaluacions obtingudes amb diverses escales de valoració de risc d'úlceres per pressió?* o *Són freqüents els mateixos tipus de càncer en famílies xineses i en famílies catalanes?* o *S'observen diferències si llavors de diverses varietats de plantes són sotmeses a estrès tèrmic i a estrès hídric?*

Autors com Reiser (2004) i Puntambekar i Kolodoner (2005) apunten la necessitat de proporcionar bastides als estudiants quan se'ls proposen activitats d'indagació obertes, per tal que puguin anar adquirint gradualment aquesta autonomia. Així, per exemple, Reiser (2004) proposa estratègies com ara descompondre l'activitat en diversos processos més manejables i ajudar els alumnes a refinar-los i a prendre decisions. Puntambekar i Kolodoner (2005) suggereixen la utilització de "diaris de disseny" i les interaccions a l'aula. I Crujeiras i Jiménez Aleixandre (2015) han analitzat el desafiament que suposa per a l'alumnat la connexió del coneixement teòric rellevant amb els coneixements pràctics i han descrit el paper que poden tenir estratègies de suport, com ara l'activació de coneixement teòric per resoldre el problema plantejat, o indicacions sobre el disseny metodològic.

En aquests aspectes concrets, relatius a alguns des processos característics dels treballs d'indagació, les dades obtingudes en aquesta recerca de tesi apunten a l'interès d'estratègies similars per superar les dificultats identificades. Així, per exemple, els resultats aconsellarien suggerir al professorat algunes intervencions didàctiques que havien demostrat la seva eficàcia en aquests primers passos del treball: definir explícitament què és una pregunta investigable, insistir que

s'ha de tractar d'una pregunta científica, remarcar que cal buscar fonaments teòrics i precedents i ajudar a refinar les preguntes proposades, de manera que suggerissin aspectes metodològics per respondre-les. En aquest sentit, el recull sistemàtic de les preguntes proposades pels estudiants va permetre disposar d'informació útil en processos d'avaluació formativa, i la seva anàlisi va ajudar a identificar què succeïa i per què succeïa, per així poder orientar les intervencions didàctiques per tal de superar les dificultats. Aquestes intervencions, com ja s'ha esmentat, consistien a afavorir la reflexió de l'alumnat sobre quines preguntes es podien respondre recollint dades, a fi d'examinar si es tractava de preguntes vàlides per iniciar un procés d'indagació (Domènech, 2014; Kelsey i Steel, 2001), i també a afavorir la reflexió relativa a què es necessitava per abordar la indagació que es proposaven (Windschitl, Thompson i Braaten, 2008). Autors com Lombard i Schneider (2013) assenyalen la necessitat d'aquests processos iteratius i sostinguts en el temps per elaborar preguntes científiques investigables; remarquen l'interès d'estratègies com ara la discussió entre iguals, i també la importància del diàleg estudiant-professor i de l'orientació, per part del professor, que s'hauria d'anar diluint al llarg dels successius cicles d'indagació fins a aconseguir la plena autonomia de l'estudiant.

En la mateixa línia de proposar intervencions didàctiques, possiblement les dificultats identificades en el disseny de la metodologia emprada en els treballs de recerca podrien reduir-se si els estudiants haguessin comprovat, amb activitats prèvies d'indagació guiada, l'interès de formular les hipòtesis no com una simple predicció, sinó de manera més elaborada, en forma de deducció (Friedler i Tamir, 1986) i utilitzant un heurístic com el proposat per Windschitl et al. (2008), que suposa la referència a models o conceptes científics. I també podria ajudar a progressar en la superació de les dificultats identificades la inclusió, a les pautes de correcció de les PAU, d'aquest heurístic. Així, utilitzant els dos exemples citats prèviament, en els quals les pautes de correcció de les proves de PAU proposaven formular les hipòtesis com a simples prediccions, amb el format *Potser rentar-se les mans elimina els bacteris que puguin tenir* o *Potser les mosques no apareixen de la fruita espontàniament*, seria aconsellable que les formulacions de les hipòtesis fossin les següents: *Partint de la idea que els sabons tenen efectes bactericides o bacteriostàtics, (MODEL), si es renten les mans amb sabó (VI) i es toca la superfície del medi de cultiu d'una placa per observar la formació de colònies (VD), en les plaques tocadetes amb les mans abans de rentar-les hi apareixeran més colònies;* o *Si es parteix del coneixement que els sers vius provenen de proge-*

niters i no s'originen per generació espontània a partir de molècules del medi (MODEL), llavors si els pots on es guarda fruita es tapen amb gasa en lloc de deixar-los oberts (VI), no apareixeran mosques (VD) en els pots tapats i, en canvi, sí que n'apareixeran en els que es deixin oberts. D'aquesta manera, seria fàcil per a l'alumnat proposar un disseny de metodologia que estigués en consonància amb les hipòtesis formulades i identificar les variables implicades en aquest disseny; i, a més, s'asseguraria la referència a models o conceptes científics.

Les incoherències identificades entre les preguntes investigables proposades, les hipòtesis formulades i el disseny metodològic per abordar-les, evidencien la importància d'incidir en aquest aspecte en l'assessorament dels treballs de recerca per part dels professors. En tres dels treballs de recerca d'estudiants de nivell de competència científica *indagador* es va observar que havien utilitzat una reixeta, en la qual relacionaven cada pregunta proposada amb conceptes científics i precedents d'investigació, amb la formulació de la corresponent hipòtesi i amb la concreció de les dades recollides per contrastar-la (Girault et al.2012). Aquesta sembla ser una bona estratègia didàctica per superar la tendència de l'alumnat a proposar dissenys experimentals que proporcionen poca informació i a ser poc sistemàtics en la planificació d'experiments i en la recollida de dades (Zimmerman, 2000), així com per afavorir que recullin dades adequades i suficients i proposin conclusions recolzades en elles (Kanari i Millar, 2004).

Aquestes diverses estratègies per proporcionar bastides a l'alumnat poden fer servir la rúbrica NPTAI en activitats de seguiment de la realització del treball de recerca, en activitats d'avaluació formativa o en els diàlegs estudiant-professor assessor: els diferents nivells jerarquitats en cada una de les categories de la rúbrica, que corresponen als processos habituals dels treballs d'indagació, són una bona eina per orientar en la descripció de les passes que poden seguir els estudiants per arribar al nivell màxim desitjable. Els resultats obtinguts en el seguiment de tres estudiants, utilitzant la rúbrica NPTAI com a referent en el desenvolupament dels diàlegs estudiant-professora/investigadora, van demostrar la seva idoneïtat.

A la llum d'aquests resultats, no sembla que tingui gaire sentit seguir proposant a l'alumnat un repte difícil, com és el de realitzar un treball d'indagació autònoma durant el batxillerat, si prèviament no ha tingut la possibilitat d'apropiar-se de les bases procedimentals i de comprensió

dels mètodes de la ciència, i, molt especialment, si les activitats habituals d'ensenyament separen l'aprenentatge procedimental de l'aprenentatge del coneixement conceptual, i estan totalment dirigides pel professor (Tiberghien, Veillard, Le Maréchal, Buty i Millar, 2001). Cal tenir experiència en nivells inferiors d'indagació (Bell, Maeng i Peters, 2010; D'Costa i Schlueter, 2013) per abordar aquest repte. És important remarcar la necessitat que, en la realització d'aquestes activitats prèvies d'indagació, hi tingui un paper central el marc teòric que ha de ser utilitzat, per exemple, per prendre decisions sobre quines preguntes investigables es poden plantejar, o en relació amb quines dades cal recollir (Grandy i Duschl, 2007), o per plantejar-se què sabem i què volem saber (Windschitl et al., 2008), evitant les propostes d'indagació deslligada de coneixement conceptual, que poden ser utilitzades puntualment per introduir els conceptes procedimentals com ara què és i què no és una pregunta investigable o quines variables estan implicades en un disseny experimental, però que no haurien de ser el model habitual a seguir.

Per tant, es fa evident que s'haurien de proposar activitats d'aula que suposessin una oportunitat per promoure l'aprenentatge de la indagació com a contingut. Caldria promoure activitats d'indagació real, en la línia de les propostes de Menoyo (2013) -el qual insisteix en la importància d'iniciar en aquests processos els estudiants des de nivells previs al batxillerat- i de Reigosa i Jiménez-Aleixandre (2007) -que es refereixen a fomentar la immersió continuada de l'alumnat en activitats d'indagació obertes-. I caldria també promoure l'interès de proposar activitats d'indagació simulada, que tenen l'avantatge que suposen una menor inversió de temps que la implementació de pràctiques de manipulació, com argumenten Wilke i Straits (2005). Es podria establir una progressió, des d'un entrenament inicial d'identificació de variables i tractament de dades de mostres d'investigacions, per després proposar a l'alumnat que dissenyi projectes d'indagació a partir de preguntes proposades pel professorat i, posteriorment, demanar als estudiants que proposin preguntes investigables i desenvolupin el seu propi projecte de recerca oberta i autònoma.

Ja fa una colla d'anys, Schwab (1966), en aquesta mateixa línia, proposava planificar activitats en nivells successius d'autonomia, i recomanava que els professors comencessin a treballar un tema o unitat didàctica fent activitats al laboratori, per comptes de començar amb classes teòriques. Per introduir la indagació científica, suggeria començar donant informació als estudiants sobre processos d'indagació perquè ells analitzessin quina pregunta es plantejaven els investigadors,

quina hipòtesi proposaven, quines eren les variables implicades, etc. En un segon pas, suggeria que els estudiants analitzessin processos d'investigació per trobar-hi errors i proposar canvis; o que creessin activitats pràctiques a partir de preguntes plantejades pel professor, però deixant oberts metodologia i resultats. Considerava que, només amb posterioritat a la realització d'aquestes activitats, es podien plantejar als estudiants problemes de recerca, i sempre oberts, per tal que ells concretessin preguntes investigables i dissenyessin metodologia. De fet, es tractava d'una gradació de les activitats, passant pels diversos nivells d'indagació descrits per Fay, Grove, Towns i Bretz (2007). Schwab (1966) també suggeria una altra aproximació i indicava l'interès de proposar als estudiants la lectura d'informes de recerca científica per discutir en grup aspectes com ara les preguntes plantejades, les dades recollides, la interpretació d'aquestes dades i les conclusions obtingudes. Considerava que, amb aproximacions d'aquestes característiques, els estudiants podien entendre de quina manera es produeix el coneixement científic. Propostes com aquesta semblen encara avui molt innovadores, vistos els models didàctics de transmissió de coneixement habituals en el nostre entorn, en què s'acostumen a proposar activitats de pràctiques deslligades de les classes teòriques i limitades a processos manipulatius i rutinaris, que no ajuden els estudiants a construir coneixement conceptual (Garrido, 2016).

També Fernández-López (2011) va fer una proposta similar de progressió des de la indagació guiada cap a la indagació autònoma, apuntant com es podrien programar les activitats al llarg d'un curs per proporcionar guies o bastides als batxillers amb l'objectiu de capacitar-los per afrontar amb garanties d'èxit la realització d'un treball de recerca autònoma: començar per aplicacions repetides, sobre el paper, amb exemples d'investigacions; fent un procés d'entrenament totalment dirigit pel docent; passant després a proposar que els estudiants, individualment o en grup, suggerissin projectes d'investigació senzills, inicialment en base a preguntes proposades pel professor, i posteriorment proposant ells les preguntes investigables, i formulant hipòtesis i dissenyant metodologia. Però, de fet, no es pot limitar la consideració dels mètodes de la ciència a un sol curs i Menoyo (2013), en la seva tesi doctoral, feia una proposta més ambiciosa, apuntant a la necessitat de programar activitats de recerca autònoma des dels primers cursos de l'Ensenyament Secundari Obligatori, per iniciar progressivament l'alumnat en les tècniques pròpies de la recerca *fent una gradació de les eines necessàries per portar a terme un treball d'investigació al llarg de tota la secundària i posteriorment al batxillerat* (p.327). I també assenyalava l'interès

d'afavorir que els estudiants participin en trobades de joves investigadors, fora del seu marc escolar, *per compartir i exposar les seves investigacions i tenir elements positius de reconeixement de les seves produccions* (p. 327), participació que hauria de ser propiciada des de l'administració educativa.

I encara es podria remarcar una altra estratègia didàctica que hauria d'acompanyar qualsevol de les propostes anteriors: no només cal programar activitats d'indagació científica sinó que, sobretot, convé acompanyar-les de la metareflexió. De fet, a primària i a secundària, els nens i nenes fan cada vegada més sovint petites recerques, però possiblement no s'acompanyen de la reflexió sobre com s'ha de fer la indagació científica ni sobre quins processos la caracteritzen.

Hi ha, però, una altra consideració important: com apuntava Menoyo (2013) en les conclusions de la seva recerca de tesi, centrada en els treballs de recerca de batxillerat, ... *qualsevol feina que depengui de la voluntarietat del professorat, i a secundària ho és el treball d'investigació, a la llarga no té un futur assegurat*.(p. 325). Per tant, l'autora afirma que és imprescindible que, des de l'administració educativa, es doni a la tasca d'assessorament dels treballs de recerca de batxillerat la dotació horària que la faci viable, i que es faciliti la formació del professorat perquè sigui capaç d'abordar activitats d'ensenyament que incorporin la indagació com a objecte d'aprenentatge i perquè desenvolupi estratègies per a l'assessorament de treballs d'indagació oberta i autònoma. Coincidint en aquest punt, i ampliant-lo a la recerca didàctica, ja fa anys que Cañal (2007), en un article sobre la investigació escolar, es referia a ...*la necesidad de promover procesos de investigación didáctica, de experimentación curricular y de formación del profesorado que, con el apoyo de las administraciones educativas, permitan su utilización generalizada, junto a otras estrategias, en las aulas escolares*. (p. 17).

Per tant, a partir dels resultats obtinguts en relació a les dificultats dels estudiants en la realització dels treballs de recerca autònoma –resultats que són coherents amb els referenciats a la literatura-, es considera que cal que el professorat assumeixi que el treball de recerca no pot ser una activitat aïllada del fluir habitual de les matèries de ciències; que s'hauria de partir del fet que no es pot ensenyar ciència amb la simple transmissió dels coneixements “acabats”, sinó contemplant simultàniament la comprensió dels mètodes que utilitza la ciència per obtenir aquests coneixe-

ments; i que s'hauria de considerar imprescindible programar activitats prèvies a la realització d'un treball de recerca autònoma, per tal d'introduir l'alumnat en la comprensió i aplicació de les habilitats pròpies de la indagació científica de manera progressiva, acompanyant-les de metareflexió sobre com es fa indagació i sobre quins processos la caracteritzen.

Les dificultats identificades en la realització d'activitats d'aula d'indagació simulada no són menors que les mostrades pels estudiants en la realització del seu treball de recerca oberta i autònoma, i semblen evidenciar la poca presència de la indagació en les activitats habituals d'ensenyament-aprenentatge

Els resultats obtinguts en aquesta recerca, recollint dades d'activitats d'indagació simulada i utilitzant qüestionaris contextualitzats en la descripció d'una investigació o dels seus resultats, van mostrar que l'alumnat tenia dificultats similars a les identificades en els seus treballs de recerca oberta i autònoma. S'havia pensat que el fet que les investigacions proposades com a context fossin coherents, reduiria les dificultats dels estudiants identificades en la realització de treballs d'indagació oberta, però els resultats no ho van confirmar. De fet, en la tesi de Menoyo (2013) i en dades recollides d'alumnat d'ESO i batxillerat utilitzant qüestions d'indagació proposades en exàmens de biologia de les PAU -similars a les plantejades en els qüestionaris utilitzats en aquesta tesi- es van identificar també dificultats en relació amb la formulació de preguntes investigables, i més encara en l'habilitat de dissenyar experiments, en què un de cada tres estudiants no responia o ho feia amb incorreccions notables.

Es pot argumentar que una de les causes de les dificultats identificades és, precisament, l'excepcionalitat que suposen per als estudiants les activitats d'aula d'indagació simulada proposades com a eina de recollida de dades. I, de fet, la poca o nul·la presència d'activitats pràctiques en què l'alumnat hagi de prendre decisions, perquè les que es proposen estan absolutament dirigides pel professor (Tiberghien et al., 2001) i són d'un nivell baix d'indagació (Fay et al., 2007). Així doncs, totes aquestes dificultats apunten a l'interès de proposar activitats habituals per promocionar les habilitats d'indagació, preferiblement des de cursos anteriors al batxillerat (Menoyo, 2013), perquè, si es fessin, suposarien un avenç cap a formes d'intervenció didàctica no centrades en

la transmissió de coneixements “acabats”, i perquè podrien ajudar els professors a saber com progressen i on s’entrebanquen els seus alumnes en la comprensió dels processos que utilitza la ciència per obtenir nous coneixements, de manera que podrien orientar la proposta d’activitats didàctiques per mirar de superar aquests entrebancs.

Els qüestionaris utilitzats en aquesta recerca de tesi, plantejats a partir de la descripció d’investigacions, podrien ser instruments vàlids per realitzar aquesta aproximació suggerida per Schwab (1966) i ajudarien a promocionar l’abordatge simultani de coneixement conceptual i coneixement procedimental, i a promocionar les habilitats de la competència d’indagació. Aquests qüestionaris, en contextos de complexitat conceptual elevada, demanen reconèixer les preguntes que han guiat una determinada investigació o quines hipòtesis tenien en ment els investigadors, i poden servir, a més, per promoure la reflexió tant en relació al coneixement procedimental com en relació al coneixement conceptual. Acompanyats de rúbriques per codificar les respostes dels estudiants, els qüestionaris servien com a eina d’avaluació formativa i autoavaluació, per identificar les confusions més habituals en relació a les habilitats d’indagació, i com a activitats d’aprenentatge prèvies a la realització de treballs de recerca oberta i autònoma.

Però, a més, els resultats han mostrat que aquestes activitats d’indagació simulada, plantejades en contextos de complexitat conceptual elevada, fan aflorar incomprensions en relació amb els conceptes científics associats a les investigacions proposades com a estímulo, i han demostrat l’interès de les activitats que aborden l’aprenentatge d’habilitats d’indagació lligat a l’aprenentatge conceptual. És il·lustratiu el resultat que mostra que batxillers que han estudiat cinètica enzimàtica, davant dels resultats d’una investigació que demostra que la presència d’àcid clavulànic redueix l’activitat de la penicil·linasa, no identifiquin que aquest àcid actua com a inhibidor; o que no esmentin que una de les variables a controlar quan es vol comparar l’activitat de l’enzim amb presència o absència d’àcid clavulànic és la concentració d’enzim penicil·linasa. O és igualment il·lustratiu que estudiants que saben resoldre problemes de genètica mendeliana quan se’ls proposen de manera “tradicional” (han obtingut notes excel·lents en els exàmens d’aquest tema en la matèria de biologia), no sàpiguen formular la hipòtesi que ha inspirat el disseny experimental en què es creuen femelles afectades de ceguesa amb mascles sans, i també mascles afectats amb femelles sanes, per tal d’establir quin és el patró d’herència; els costa mobilitzar el coneixement

conceptual lligant-lo a habilitats procedimentals i adonar-se que la clau està en si apareixen o no fills mascles afectats i només quan l'afectada és la mare.

A la llum dels resultats es pot dir que les activitats que aborden l'aprenentatge de les habilitats d'indagació conjuntament amb l'aprenentatge de coneixement conceptual semblen ser crucials, ja que, com afirma Zimmerman (2007), s'ha demostrat que es produeix un codesenvolupament dels dos tipus de coneixement i que abordar-los per separat no afavoreix el creixement del pensament científic. A més, com ja s'ha comentat prèviament, activitats d'aquestes característiques, d'indagació simulada, permetrien abordar l'aprenentatge d'habilitats d'indagació en menys temps que el que suposen les activitats que impliquen manipulació, com remarquen Wilke i Straits (2005). Això no significa, però, que no s'hagin de proposar activitats d'indagació real, perquè és important fomentar la immersió continuada de l'alumnat en activitats d'indagació obertes (Reigosa i Jiménez-Aleixandre, 2007). El que sembla evident és que la utilització habitual de la indagació en les activitats escolars podria reduir les dificultats identificades en els treballs de recerca dels batxillers. A més, podria constituir un element d'innovació i progrés cap a models de didàctica de les ciències no centrats exclusivament en la transmissió de coneixements i que persegueixen els objectius de l'enfocament competencial de l'ensenyament. Perquè, com afirma Cañal (2007) *'Aunque es innegable que la implementación real de este enfoque en las aulas es muy inferior al de su impacto teórico y curricular, hay que reiterar que en la actualidad existe un amplio consenso didáctico sobre la idoneidad de la opción investigadora, en sus distintas modalidades, en la educación científica escolar'*. (p.17).

Estratègies de pensament científic com les implicades en la indagació haurien de ser ensenyades explícitament i considerades com a objecte d'aprenentatge. En aquesta línia, diversos autors (Ben David i Zohar, 2009; Gott i Roberts, 2008) consideren que el component procedimental del currículum consisteix en un conjunt d'idees que poden ser ensenyades i compreses de manera similar a les tradicionals nocions dels conceptes, lleis i teories. I quan es diu *explícitament* no es fa referència a la mera transmissió d'informació, sinó a la realització d'activitats adreçades a proporcionar experiències que ajudin els estudiants a construir les seves pròpies estratègies en relació amb els processos d'indagació científica. Els resultats evidencien la importància d'aquest coneixement procedimental quan, per exemple, es posa de manifest la dificultat dels estudiants

per formular preguntes investigables que han inspirat un experiment, malgrat tenir un bon domini dels conceptes implicats en una investigació determinada (davant uns resultats que mostren la desaparició de protozous paràsits de les escates dels peixos en posar-los en aigua amb concentracions creixents de sals, i comentant que actuen fenòmens d'osmosi, proposen com a pregunta investigable *Per què desapareixen els paràsits?* en lloc de *Quina és la concentració de sals que fa desaparèixer els paràsits?*); o la seva incapacitat per identificar les variables que ells mateixos han utilitzat en els seus dissenys metodològics (en el seu treball de recerca han obtingut dades passant un test a persones sanes i a persones afectades per un tipus de distròfia, i quan se'ls pregunta per les variables de la seva investigació responen *No tinc variables*). Aquestes habilitats procedimentals haurien de tenir un lloc habitual en les activitats d'ensenyament i aprenentatge, perquè la competència científica demana no només coneixement dels conceptes i teories de la ciència, sinó també dels processos propis de la indagació científica que permeten obtenir i qüestionar aquest coneixement.

La promoció desitjable de la competència d'indagació no es pot assolir amb activitats puntuals, com és el treball de recerca de batxillerat, perquè és impensable que les activitats puntuals possibilitin que l'alumnat aprengui tot el que comporta investigar. Ni tampoc no s'assoliria la competència d'indagació aplicant només els canvis que podria significar la seva avaluació alineada amb les habilitats d'indagació. I tampoc no es pot esperar cap èxit en aquest sentit, com l'experiència didàctica a les nostres aules ja demostra, de la simple inclusió de la descripció dels processos de la ciència a la primera unitat didàctica de biologia, i menys encara si es limita a desgranar els passos estereotipats del 'Mètode Científic' (Windschitl et al., 2008). Menoyo (2013) remarca que als estudiants *no se'ls ha donat oportunitats per aplicar habilitats pròpies de la recerca, donant més valor als continguts conceptuals que als procedimentals i que a les actituds necessàries per tal de portar a terme una activitat científica.*(p. 306)

Per tot plegat, és molt important tenir en compte que l'avaluació s'hauria de plantejar de tal manera que contemplés tant els conceptes científics com les pràctiques de la ciència (National Research Council, 2012): cada demanda hauria de combinar una pràctica rellevant de la ciència amb una idea científica, perquè no s'haurien d'avaluar els conceptes de la ciència de manera separada de la utilització de pràctiques científiques. Per tant, l'avaluació hauria d'examinar no només si els estudiants coneixen conceptes científics, sinó també si poden utilitzar els

seus coneixements per investigar per mitjà de les pràctiques de la ciència o per entendre les investigacions científiques. Serà necessari conscienciar els professors de la conveniència d'utilitzar estratègies d'avaluació per promocionar la competència d'indagació fent servir activitats que impliquin coneixement conceptual. Els resultats obtinguts en aquesta recerca de tesi amb l'ús de qüestionaris per identificar les dificultats de l'alumnat en habilitats d'indagació han demostrat que aquests qüestionaris podrien ser instruments apropiats per promocionar l'avaluació formativa i l'autoavaluació, així com per afavorir una millor comprensió tant conceptual com procedimental dels continguts curriculars. Sovint, activitats d'indagació manipulatives, massa simples i de nivell baix d'indagació, no ajuden els estudiants a raonar científicament i, a més, poden promocionar una visió del raonament científic com a quelcom senzill, algorítmic, depenent només d'observacions (Hernández, 2012). En aquest sentit és remarcable el fet, evidenciat en les dades recollides i comentat prèviament, que els qüestionaris utilitzats en aquesta recerca de tesi no només són útils per identificar les dificultats dels estudiants en relació a habilitats d'indagació, sinó també per fer aflorar incomprensions en relació als coneixements científics implicats en la investigació descrita com a context o estímul dels qüestionaris

L'Objectiu 3 d'aquesta recerca de tesi es proposava:

- > Analitzar les característiques i resultats d'avaluació de la indagació científica en les proves d'accés a la universitat

I en relació a aquest objectiu es plantejaven les preguntes següents, dues referides a què es pregunta i com es pregunta, i les altres relacionades amb els resultats obtinguts pels estudiants:

- > Quines característiques tenen les qüestions? Es relacionen coneixement conceptual i coneixement procedimental?
- > Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació segons les característiques de la demanda?
- > Són diferents les qualificacions de qüestions d'indagació i de contingut plantejades en un mateix ítem a partir del mateix context o estímul? Són diferents les qualificacions d'indagació i les notes globals, comparant les diverses proves?
- > Hi ha associació entre nota global i nota d'indagació d'un mateix estudiant?

Les conclusions i les implicacions didàctiques que se'n deriven es detallen tot seguit:

Les dades recollides en relació amb els exàmens de PAU mostren que les qüestions de biologia, tot i que contextualitzades i competencials, no sembla que atorguin a les habilitats d'indagació el protagonisme esperat. Els exàmens avaluen de manera separada els conceptes de la ciència i les habilitats pròpies de la indagació, i aquestes tenen una presència menor. A més, les demandes relacionades amb habilitats d'indagació són sovint preguntes de resposta tancada, sense justificació i molt repetitives.

Encara que les característiques de l'avaluació de la indagació en el context de les proves de selectivitat poden ser considerades poc satisfactòries, l'avaluació dels coneixements procedimentals és necessària per assegurar que el coneixement de les pràctiques associades amb la indagació sigui considerat prioritari (Abd-El-Khalick et al., 2004; National Research Council, 2002), atès que avaluacions com les de les proves d'accés a la universitat condicionen de manera determinant els processos d'ensenyament i aprenentatge (Donnelly, Buchan, Jenkins, Laws i Welford, 1996; Green i Oates, 2007; Pollard i Triggs, 2000; Liang i Yuan, 2008). Per això convindria redissenyar les proves, de manera que les habilitats d'indagació s'avaluessin conjuntament amb els continguts conceptuals, en lloc de destinar un dels set blocs de la prova a l'avaluació d'indagació. L'aproximació a l'avaluació hauria de tenir en compte les propostes actuals de la literatura, amb demandes relacionades amb habilitats d'indagació, però també hauria d'implicar, implícitament o explícitament, coneixement d'idees centrals de la biologia. D'aquesta manera, l'avaluació oferiria resultats en què es combinarien l'impacte de les habilitats d'indagació dels estudiants i el seu nivell de coneixements en relació als continguts conceptuals (Schwchow et al., 2016).

En paraules de Pellegrino (2003), sembla que en l'avaluació de la competència científica de les PAU s'utilitzen formes d'observació limitades, que poden conduir a interpretacions també limitades dels coneixements dels estudiants. El component de l'avaluació que Pellegrino (2003) anomena *observacions* (tasques o situacions que permeten observar les capacitats o el rendiment dels estudiants) hauria de ser revisat amb un doble objectiu: per una banda, obtenir informació significativa de la competència d'indagació dels estudiants i, per altra banda, fomentar els canvis desitjables cap a un ensenyament que doni protagonisme a la indagació i que eviti la mera preparació per a l'examen.

De fet, i prenent com a referent el Framework 2015 PISA, es pot afirmar que la pròpia descripció de les característiques de les proves és qüestionable quan proposa que tenen preguntes referides a set blocs: 1 Metabolisme, 2 Immunologia, 3 Genètica i Evolució, 4 Biologia Molecular i Biotecnologia, 5 Microbiologia, 6 Ecologia i 7 Disseny Experimental, perquè separa coneixements de contingut (els dels blocs 1-6) i coneixement procedimental d'indagació científica (el bloc 7) que, a més, denomina de manera poc adequada, concretant només una de les seves diverses formes (l'experimentació). Com explica el Framework 2015 PISA (OECD, 2013), l'avaluació s'ha de proposar en contextos personals, locals, nacionals o globals que impliquin comprensió de ciències, demanant als estudiants d'explicar fenòmens, d'avaluar i dissenyar indagació i d'interpretar dades, utilitzant alhora els seus coneixements conceptuals i procedimentals. És a dir, la descripció de les característiques dels exàmens de biologia hauria de concretar que en ells s'avaluen les competències d'explicar fenòmens científicament, d'avaluar i dissenyar indagació científica i d'interpretar científicament dades utilitzant coneixements dels 6 blocs de domini de continguts; i també, i en tots ells, coneixements procedimentals d'indagació científica.

Per això convindria modificar les característiques de les preguntes de biologia de les PAU, tant perquè oferissin una informació significativa en relació amb la competència d'indagació dels estudiants, com per proposar-les de manera que promocionessin la inclusió de les pràctiques de la ciència a les aules, donada la innegable influència que tenen aquests exàmens en els processos d'ensenyament i aprenentatge en el batxillerat. Seria aconsellable que es proposessin qüestions adreçades a avaluar conjuntament coneixement conceptual i coneixement procedimental, evitant la simplificació que suposen les demandes de resposta tancada, sense justificació, referides només a habilitats d'indagació i formulades de tal manera o en tals contextos que la seva resposta es pugui abordar sense mobilitzar conceptes científics.

Prenent com a exemples algunes de les qüestions proposades en els exàmens de PAU de biologia analitzats, es poden suggerir modificacions en la línia de plantejar demandes sobre habilitats d'indagació però que també impliquin coneixement d'idees centrals de la biologia. Per exemple, en una pregunta corresponent al bloc anomenat en els exàmens de PAU de *Disseny Experimental*,

- > en lloc de demanar: *‘Digues tres exemples de variables que han de ser controlades en un estudi sobre l’eficàcia d’una vacuna’,* que és una pregunta tancada i que es pot respondre sense fer referència a conceptes científics (l’alumnat es pot limitar a respondre que cal utilitzar animals de la mateixa edat, de la mateixa raça i mantinguts en condicions similars),
- > la demanda podria proposar-se d’aquesta altra manera: *‘En un estudi sobre l’eficàcia d’una vacuna, per què es van fer anàlisis prèvies dels animals per determinar si tenien o no anticossos enfront del microorganisme causant de la infecció? Explica a quina estratègia metodològica correspon aquest procediment.’,* dues preguntes obertes i que demanen de l’alumne un coneixement conceptual en la seva resposta, perquè ha de fer referència al fet que la presència d’anticossos indica memòria immunològica prèvia a aquella que es pretén desenvolupar amb l’ús de la vacuna, i ha d’explicar l’estratègia de control de variables justificant que, en aquest context, cal que els individus de l’estudi no hagin estat prèviament en contacte amb l’antigen, no hagin fet resposta primària.

O en un altre exemple, a partir d’una pregunta del bloc d’Immunologia:

- > en lloc de demanar *Explica per què les persones vacunades de la grip pot ser que pateixin la grip aquest hivern,* una pregunta centrada en coneixement conceptual,
- > la demanda podria proposar-se d’aquesta altra manera: *La composició de la vacuna de la grip varia d’un any a l’altre (observa les informacions que s’adjunten de les vacunes dels dos últims anys). Per què creus que és així? Explica com es pot haver fet la recollida de mostres del procés d’investigació per decidir la composició de la vacuna.* Aquesta pregunta inclou dues demandes, una que comporta coneixement procedimental sobre indagació, per explicar l’obtenció de mostres d’afectats de grip a l’hivern de l’hemisferi sud per decidir la composició de les vacunes per als habitants de l’hemisferi nord; i l’altra que demana coneixement conceptual per explicar un fenomen científicament: el fet que hi ha variants antigèniques en els virus causants de la grip i que la memòria immunològica per a un antigen no confereix memòria immunològica per a un altre antigen diferent.

O encara un altre exemple: en el context de la investigació sobre la resistència bacteriana a la penicil·lina de l'ítem mostrat a la Figura 9,

- > en lloc de demanar *Quina és la variable dependent d'aquest experiment?* que suposa una resposta tancada i mecànica, que es pot deduir mirant l'eix d'ordenades del gràfic (*penicil·lina hidrolitzada per unitat de temps*),
- > la demanda podria proposar-se d'aquesta altra manera: *Explica per què la variable dependent d'aquest experiment és la velocitat d'hidrolització de la penicil·lina i per què, a partir d'una determinada concentració de penicil·lina, ja no augmenta la velocitat de la reacció?*. La pregunta formulada així inclou dues demandes, totes dues de resposta oberta, una d'indagació relativa a l'explicació que la variable dependent és la penicil·lina hidrolitzada per unitat de temps, perquè aquesta reacció ens indica l'activitat de l'enzim penicil·linasa produïda pels bacteris resistents a la penicil·lina; i una segona demanda que, en la seva resposta, demana mobilitzar coneixement conceptual sobre el fet que la penicil·linasa és un enzim michaelià, és a dir, un enzim que se satura i per això té una velocitat d'actuació màxima que, a partir d'un cert punt, ja no s'incrementa en augmentar la concentració de substrat, de penicil·lina.

Aquesta modificació de qüestions dels exàmens de biologia de les PAU estaria en la línia d'abordar l'avaluació d'acord amb els paradigmes actuals que proposen que '*... science assessments will not assess students' understandings of core ideas separately from their abilities to use the practices of science. These two dimensions of learning will be assessed together showing students not only "know" science concepts, but also that students can use their understanding to investigate the natural world through the practices of scientific inquiry.*(National Research Council, 2012). Però, a més, aquest enfocament diferent de l'avaluació de coneixement conceptual i coneixement procedimental en les PAU podria jugar un paper transcendent per assegurar la presència de la indagació a les aules, perquè està demostrat que l'avaluació indica i determina allò que professors i estudiants entenen que és desitjable i esperat (Black, Harrison, Lee, Marshall i William, 2003); així doncs, podria implicar la inclusió habitual d'activitats d'indagació a les aules, superant l'èmfasi excessiu en els coneixements conceptuals.

De la mateixa manera, és de suposar que afavoriria un enfocament de l'avaluació dels treballs de recerca autònoma que posés el punt de mira en les habilitats d'indagació, com es pretén amb les eines dissenyades en aquesta recerca, amb l'objectiu de promoure que aquests treballs fossin realment treballs de recerca científica.

L'anàlisi dels resultats obtinguts pels estudiants en els exàmens de biologia de PAU suggereix també l'interès d'aquests canvis en les característiques de les qüestions:

Els resultats dels estudiants en les qüestions que aborden l'avaluació d'habilitats d'indagació mostren qualificacions més altes que les obtingudes en qüestions de coneixement conceptual. La diferència és menys marcada en qüestions d'indagació obertes i que demanen mobilitzar coneixement conceptual. En general, les qualificacions de les qüestions d'indagació són poc discriminatòries i els estudiants tenen notes que s'acumulen en la franja de qualificacions altes.

A la llum d'aquests resultats sembla que les característiques de les preguntes d'indagació afavoreixen l'ensenyament per a l'examen, i també sembla que la significativitat de la informació que ofereixen en relació amb la competència d'indagació és reduïda (Ofqual, 2014). Els resultats dels estudiants són més explicables per allò que es pregunta i com es pregunta, que no pas per les seves habilitats d'indagació. Es pot suposar que els resultats indiquen que als estudiants els resulta més fàcil respondre les qüestions referides a habilitats d'indagació, sovint tancades i repetitives i amb contingut conceptual baix, que no pas aquelles qüestions centrades en l'avaluació conceptual, que demanen explicar fenòmens científicament, que exigeixen justificació i que són obertes, diverses i impliquen mobilització de coneixement científic complex.

Però l'anàlisi dels resultats individuals dels estudiants, comparant la seva qualificació en les qüestions d'indagació amb la seva qualificació global, va mostrar discrepàncies remarcables:

En general, una qualificació alta d'indagació permet inferir una qualificació global també alta o, a la inversa, una qualificació d'indagació baixa indicaria que l'estudiant també té una qualificació global baixa. Però hi ha estudiants amb notes globals molt diferents de les seves notes d'indagació. La discordança observada en relació amb qualificacions més altes d'indagació que les qualificacions globals es pot explicar per la major facilitat per obtenir qualificacions altes d'indagació. En canvi, el fet que hi hagi estudiants amb qualificacions d'indagació baixes i, tanmateix, hagin obtingut qualificacions globals altes, és una discordança més inesperada i, encara que no és molt freqüent, és significativa i sembla respondre a l'absència a les aules de la indagació científica.

Que aquests estudiants obtinguin qualificacions globals més altes que les que obtenen en qüestions d'indagació, indica que els seus coneixements conceptuals són molt superiors que les seves habilitats en aquest àmbit, i més encara si es té en compte la facilitat d'aquestes qüestions, atès que la seva resposta ha suposat menys dificultats a tota la resta de l'alumnat. Menoyo (2013) també va obtenir resultats similars en la seva recerca de tesi, i comentava *que no sempre els alumnes amb millors resultats són capaços de formular preguntes i dissenyar experiments; així doncs, els bons resultats són deguts als coneixements teòrics sobre la matèria, presentant mancances davant l'aplicació d'habilitats investigadores en situacions històriques de la ciència* (p. 309). Aquesta discordança inesperada sembla evidenciar que, si l'alumnat no és capaç de respondre bé aquestes qüestions d'indagació, deu ser perquè, en el seu cas, les activitats d'ensenyament i aprenentatge de biologia no han contemplat la indagació com a objecte d'aprenentatge, i confirma aquesta mancança com una de les causes de les dificultats identificades tant en la realització dels treballs de recerca com en les activitats d'aula d'indagació simulada.

L'objectiu general d'aquesta recerca de tesi era identificar i descriure dificultats dels estudiants de batxillerat en relació a la competència d'indagació i analitzar la seva avaluació en les proves

d'accés a la universitat. A la llum dels resultats, la identificació de dificultats relacionades amb habilitats d'indagació porta a considerar que, si es vol promocionar aquesta competència, és important que es contemplin les habilitats que la caracteritzen, tant quan s'avaluen treballs de recerca autònoma, com en l'avaluació d'activitats d'aula al llarg de totes les unitats didàctiques, com també i de manera especial en l'avaluació sumativa que suposen les proves d'accés a la universitat, perquè aquestes proves influeixen i condicionen de manera extraordinària els processos d'ensenyament i aprenentatge en el batxillerat. Però, més enllà del focus de recerca d'aquesta tesi, potser hi ha un problema més d'arrel, com s'apunta en un article recent de Antink-Meyer i Brown (2017): malgrat els esforços de les reformes posant èmfasi en la indagació científica des de fa molts anys, aquest èmfasi no s'ha acompanyat d'actuacions per proporcionar als professors - que no solen tenir experiència en la realització d'indagació científica- la formació i l'orientació necessàries sobre les habilitats implícites en la indagació (Garrido, 2016; Herrington, Bancroft, Edwards i Schairer, 2016; Melville, Fazio, Bartley i Jones, 2008; Roehrig i Luft, 2004).

Pel que fa a possibles línies de recerca de futur, es podrien considerar les següents:

- > Ampliar la recerca qualitativa que permeti, ara que ja s'han identificat les dificultats dels estudiants en relació amb les habilitats d'indagació, conèixer i entendre quins factors les influeixen i assajar estratègies educatives per millorar la situació.
- > Caracteritzar les bones pràctiques docents, identificant les característiques metodològiques que afavoreixen la promoció de la competència d'indagació.
- > Analitzar les característiques dels llibres de text, per descriure les característiques de les activitats que proposen i així poder suggerir canvis en el seu enfocament, a fi d'afavorir la inclusió d'activitats de pràctiques autèntiques.
- > Analitzar les característiques competencials de les qüestions proposades en els exàmens de PAU en sèries més llargues, en les proves de Catalunya i també en les d'altres comunitats, perquè aquestes característiques poden jugar un paper clau en els esforços per portar la ciència escolar cap a una millor consideració de les pràctiques científiques.

- > Analitzar sèries més llargues de resultats dels estudiants en els exàmens de biologia de PAU, per l'interès que poden tenir aquestes dades, donada la relació existent entre allò que es pregunta i com es pregunta en els exàmens oficials i allò que els professors fan a les aules.
- > Investigar la relació entre les característiques de les qüestions i els resultats dels estudiants, amb l'objectiu d'identificar la influència per separat de les dues variables implicades, demanda i obertura, utilitzant per exemple qüestions '*domain-general*' (que proposen tasques d'indagació que no impliquen coneixement científic, per minimitzar l'impacte del coneixement conceptual dels estudiants) i qüestions '*domain-specific*', o totes obertes o totes tancades. D'aquesta manera es podria identificar què té més pes, si el nivell del contingut conceptual o l'obertura de la demanda.

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. i Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419. <http://doi.org/10.1002/sce.10118>
- Alsina Masmitjà, P. et al. (2013). *Rúbriques per a l'avaluació de competències. Quaderns de Docència Universitària* (Vol. 26). © ICE i Ediciones OCTAEDRO, S.L.
- Antink-Meyer, A. i Brown, R. A. (2017). Second-career science teachers' classroom conceptions of science and engineering practices examined through the lens of their professional histories. *International Journal of Science Education*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2017.1338787>
- Barrow, L. H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265–278. <http://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>
- Bell, R., Smetana, L. i Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30–33. <http://doi.org/Article>
- Bell R., Maeng, J. i Peters, E. (2010). *VMSC Scientific Inquiry and NOS Task Force Report*. Virginia.
- Ben David, A. i Zohar, A. (2009). Contribution of Meta-strategic Knowledge to Scientific Inquiry Learning. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1657–1682. <http://doi.org/10.1080/09500690802162762>
- Bernholt, S. et al. (2010). Learning Progressions - German and Swiss Studies on Models of Competence Development.
- Binns, I.C. i Bell, R. L. (2015). Representation of Scientific Methodology in Secondary Science Textbooks. *Science & Education*, 24, 913–936.
- Binns, I. C. (2013). Academic freedom legislation: The latest efforts to undermine the integrity of science and science education. *Journal of Science Teacher Education*, 24, 589–595.

- Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B. i William, D. (2003). *Assessment for Learning: putting it into practice*. Maidenhead, U.K: Open university Press. Retrieved from <http://www.mcgraw-hill.co.uk/html/0335212972.html>
- Blanco, A., Morales, P. i Torre, J. C. (2008). *La enseñanza universitària centrada en el aprendizaje. Estrategias útiles para el profesorado*. Barcelona: Octaedro/ICE-UB.
- Bogner, F., Boudalis, A.K. i Sotiriou, S. (Eds. . (2012). *Pathway. Best Practices of Inquiry-Based Science Education. Methods and Activities*. Athens: Epinoia.
- Brownell, S. E., Wenderoth, M. P., Theobald, R., Okoroafor, N., Koval, M., Freeman, S. i Crowe, A. J. (2014). How students think about experimental design: Novel conceptions revealed by in-class activities. *Bioscience*, 64(2), 125–137.
- Bybee, R. (2002). *Learning science and the science of learning*. Arlington, VA: NSTA press.
- Bybee, R., McCrae, B. i Laurie, R. (2009). PISA 2006: An assessment of scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 865–883. <http://doi.org/10.1002/tea.20333>
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? *Alambique. Didáctica de Las Ciencias*, 70, 83–91.
- Cano, E. (2015). Las rúbricas como instrumento de evaluación de competencias en educación superior: ¿uso o abuso? *Profesorado. Revista de Currículum Y Formación Del Profesorado*, 19(2).
- Cañal, P. (2007). La investigación escolar hoy. *Alambique*, 52, 9–19. Retrieved from Corwin Press ISBN 0-7619-3937-7
- Cañal, P. (2012). Saber ciencias no equivale a tener competencia profesional para enseñar ciencias. In *11 Ideas clave: el desarrollo de la competencia científica* (pp. 217–239). Barcelona.
- Chen, Z. i Klahr, D. (1999). All other things being equal: Children's acquisition of the control of variables strategy. *Child Development*, 70, 1098–1120.

- Chiappetta, E. L., Ganesh, T. G., Lee, Y. H. i Phillips, M. C. (2006). *Examination of science textbook analysis research conducted on textbooks published over the past 100 years in the United States. A paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. San Francisco, CA.
- Chinn, C.A. i Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools:A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/sce.10001>
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica.
- Crujeiras, B. i Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de Las Ciencias*, 33(1), 63–84.
- Crujeiras, B. (2014). *Competencias e prácticas científicas no laboratorio de química. Participación do alumnado de secundaria na indagación*. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.
- D’Costa, A. i Schlueter, M. (2013). Scaffolded Instruction Improves Student Understanding of the Scientific Method and Experimental Design. *The American Biology Teacher*, 75, 18–28.
- Decret de Batxillerat LOE, 5183DOG 59055-59062-59119 (2008).
- Di Mauro, M. F. i Furman, M. (2016). Impact of an inquiry unit on grade 4 students’ science learning. *International Journal of Science Education*, 38(14), 2239–2258. <http://doi.org/10.1080/09500693.2016.1234085>
- Domènech, J. (2014). Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 76, 17–27.
- Donnelly, J., Buchan, A., Jenkins, E., Laws, P. i Welford, G. (1996). *Investigations by order. Policy, curriculum ans science teachers’ work under the Education Reform Act*. Nafferton: Studies in Education Ltd.

- Driver, R., Leach, J., Millar, R. i Scott, P. (1996). *Young People's Image of Science*. Philadelphia: Open University Press.
- Duschl, R. i Bybee, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: an entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education*, 1(1), 12. <http://doi.org/10.1186/s40594-014-0012-6>
- Eglen, J. R. i Kempa, R. F. (1974). Assessing manipulative skills in practical chemistry. *School Science Review*, 56, 737–740.
- Fay, E., Grove, N., Towns, M.H. i Bretz, S. L. (2007). A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 212–219.
- Fernández-López, L. (2011). Los proyectos de investigación del alumnado y las competencias básicas y científicas. In *Cuaderno de Indagación en el Aula y Competencia Científica* (pp. 17–31). Madrid: Ministerio de Educación.
- Ferrés-Gurt, C. i Marbà, A. (2017). Problems students' experience with inquiry processes in the study of enzyme kinetics. *Journal of Biological Education*.
- Ferrés-Gurt, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 14(2), 410–426.
- Ferrés, C. i Marbà, A. i Sanmartí, N. (2015). ¿Cómo evaluar los trabajos de indagación del alumnado? *Alambique*, 80, 1–10.
- Ferrés C., Marbà A. i Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 12(1), 22–37.
- Friedler, Y. i Tamir, P. (1986). Teaching basic concepts of scientific research to high school students. *Journal of Biological Education*, 20(4), 263–269.

- Friedler, Y. i Tamir, P. (1990). *Basic Concepts in Scientific Research*. Jerusalem: Hebrew University of Jerusalem. Retrieved from <http://books.google.es/books?id=svuztgAACAAJ>
- Furman, M., Barreto, M.C. i Sanmartí, N. (2006). El procés d'aprendre a plantejar preguntes investigables. *Educación Química EduQ*, 14, 1–8.
- Ganiel, U. i Hofstein, A. (1982). Objective and continuous assessment of student performance in the physics laboratory. *Science Education*, 66, 581–591.
- Garrido, A. (2016). *Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica*. Universitat autònoma de Barcelona.
- Giddings, G. J., Hofstein, A. i Lunetta, V. N. . (1991). Assessment and evaluation in the science laboratory. In *In B. E. Woolnough (Ed.), Practical science* (pp. 167–178). Milton Keynes: Open University Press.
- Girault, I., D'Ham, C., Ney, M., Sánchez, E. i Wajeman, C. (2012). Characterizing the experimental procedure in science laboratories: a preliminary step towards students experimental design. *International Journal of Science Education*, 34(6), 825–854. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.569901>
- Goodrich, H. (2000). Understanding rubrics. Retrieved from <http://learnweb.harvard.edu/alps/thinking/docs/rubricar.htm>
- Gott, R., Duggan, S., Roberts, R. i Hussain, A. (2015). *Research into Understanding Scientific Evidence*. Retrieved from <http://www.dur.ac.uk/rosalyn.roberts/Evidence/cofev.htm>
- Gott, R. i Roberts, R. (2008). *Concepts of evidence and their role in open-ended practical investigations and scientific literacy ; background to published papers*.
- Grandy, R. i Duschl, R. A. (2007). Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science: Analysis of a Conference. *Science Education*, 16, 141–166. <http://doi.org/10.1007/s11191-005-2865-z>

- Grau, R. (1994). ¿Qué es lo que hace difícil una investigación? *Alambique*, 2, 27–35.
- Graves, C. i Rutherford, S. (2012). Writing a Scientific Research (“Testable”) Question: The First Step in Using Online Data Sets for Guided Inquiry Assignments. *Journal of College Science Teaching*, 41, 46–51.
- Green, S. i Oates, T. (2007). *How to promote educational quality through national assessment systems*. Cambridge.
- Grunwald, S. i Hartman, A. (2010). A Case-Based Approach Improves Science Students’ Experimental Variable Identification Skills. *Journal of College Science Teaching*, 39(3 (Jan/Feb 2010)), 28–33. Retrieved from <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/recordDetail?accno=EJ872471>
- Harms, N.C. i Yager, R. E. (1981). *What research says to the science teacher*. (R. E. Harms, N.C. i Yager, Ed.). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Hernández, M.I. (2012). *Desenvolupament iteratiu d’una seqüència d’ensenyament i aprenentatge sobre Propietats Acústiques dels Materials*. UAB Universitat Autònoma de Barcelona.
- Herrington, D. G., Bancroft, S. F., Edwards, M. M. i Schairer, C. J. (2016). I want to be the inquiry guy! How research experiences for teachers change beliefs, attitudes, and values about teaching science as inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 27(2), 183–204. Retrieved from doi: 10.1007/s10972-016-9450-y
- Hodson, D. (1996). Practical work in school science: Exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18(7), 755–760.
- Hofstein, A., Levi-Nahum, T. i Shore, R. (2001). Assessment of the learning environment of inquiry-type laboratories in high school chemistry. *Learning Environments Research*, 4, 193–207.
- Hofstein, A. i Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundation for the 21st century. *Science Education*, 88, 28–54. <http://doi.org/doi:10.1002/sce.10106>

- Hofstein, A. (1988). Practical work and science education. In P. Fensham (Ed.), *Development and dilemmas in science education* (pp. 189–217). London: Falmer Press.
- Hosmer, D. W. i Lemeshow, S. (2013). *Applied Logistic Regression*. New York: Wiley.
- Jones, H., Black, B., Green, J., Langton, P., Rutherford, S., Scott, J. i Brown, S. (2015). Indications of Knowledge Retention in the Transition to Higher Education. *Journal of Biological Education*, 49(3), 261–273. <http://doi.org/10.1080/00219266.2014.926960>
- Jonsson, A. i Svingby, G. (2007). The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences. *Educational Research Review*, 2, 130–144.
- Jürgen, P., Lederman, N. G. i Groß, J. (2016). Learning experimentation through science fairs. *International Journal of Science Education*, 38(15), 2367–2387. <http://doi.org/10.1080/09500693.2016.1243272>
- Kanari, Z. i Millar, R. (2004). Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748–769. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20020>
- Kelsey, K. i Steel, A. (2001). *The Truth about Science*. Arlington, Virginia.
- Khun, D. i Dean, D. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16(11), 866–870.
- Khun, D. (2007). Jumping to conclusions. *Scientific American Mind*, 18(1), 44–51.
- Klahr, D. i Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661–667.
- Klahr, D. (2000). *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M. i Fredricks, J. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3/4), 313–350. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/10508406.1998.9672057>
- Kuo, C.-Y., Wu, H.-K., Jen, T.-H. i Hsu, Y.-S. (2015). Development and Validation of a Multimedia-based Assessment of Scientific Inquiry Abilities. *International Journal of Science Education*, 37(14), 2326–2357. <http://doi.org/10.1080/09500693.2015.1078521>
- Lederman, N. G. (2004). *Laboratory experiences and their role in science education, In America's lab report*. Washington, D.C.
- Lederman, N. G., Antink, A. i Bartos, S. (2014). Nature of Science, Scientific Inquiry, and Socio-Scientific Issues Arising from Genetics: A Pathway to Developing a Scientifically Literate Citizenry. *Science & Education*, 23(2), 285–302. <http://doi.org/10.1007/s11191-012-9503-3>
- Liang, L. L. i Yuan, H. (2008). Examining the Alignment of Chinese National Physics Curriculum Guidelines and 12th-grade Exit Examinations: A case study. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1823–1835. <http://doi.org/10.1080/09500690701689766>
- Libarkin, J. (2008). *Concept Inventories in Science: Manuscript prepared for the National Research Council*. Washington DC.
- Llewellynd, D. (2005). *Teaching High School Science Through Inquiry*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Lombard, F. i Schneider, D. (2013). Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 47(3), 166–174. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00219266.2013.821749>
- Lorch, Jr., R. F., Lorch, E. P., Calderhead, W. J., Dunlap, E. E., Hodell, E. C. i Freer, B. D. (2010). Learning the Control of Variables Strategy in Higher and Lower Achieving Classrooms: Contributions of Explicit Instruction and Experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 90–101. <http://doi.org/10.1037/e578392011-004>

- Lunetta, V. N. i Tamir, P. (1979). Matching lab activities with teaching goals. *The Science Teacher*, 46, 22–24.
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining Inquiry. *The Science Teacher*, 69, 34–37.
- Menoyo, M. (2013). *Anàlisi del procés de realització i tutorització dels treballs de recerca a secundària*. UAB.
- Mertler, C. A. (2001). Designing scoring rubrics for your classroom. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 7(25). Retrieved from <http://pareonline.net/getvn.asp?v=7&n=25>
- Millar, R. (1998). Student's Understanding of the Procedures of Scientific Enquiry . Section C4. In *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. York: An I.C.P.E. Book © International Commission on Physics Education 1997,1998.
- Millar, R. (2006). Twenty First Century Science: Insights from the Design and Implementation of a Scientific Literacy Approach in School Science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499–1521. <http://doi.org/10.1080/09500690600718344>
- Millar, R. i Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33–62.
- Ministrell, J. (2000). Implications for Teaching and Learning Inquiry: A Summary. In J. i van Z. E. H. Ministrell (Ed.), *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science* (pp. 471–495). New York: American Association for the Advancement of Science.
- Minner, D. D., Levy, A. J. i Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction – What Is It and Does It Matter ? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496. <http://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Möller, A. i Mayer, J. (2010). Learning progressions in biological inquiry skills. In *Learning Progressions. German and Swiss Studies on Models of Competence Development*.
- Möller, A., Grube, C., Hartmann, S. i Mayer, J. (2009). Increase of Inquiry Competence: a Longitudinal Large Scale Assessment of Students' Performance From Grade 5 to 10 (pp. 1–7).

Moore, D. S. (2010). *The Basic Practice of Statistics*. W.H. Freeman and Company.

Moskal, B. M. i Leydens, J. . (2000). Scoring rubric development: validity and reliability. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 7(10). Retrieved from <http://pareonline.net/getvn.asp?v=7&n=10>

National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington DC: The National Academies Press. <http://doi.org/10.17226/4962>

National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.

National Research Council. (2002). *Scientific Research in Education*. Washington DC: National Academies Press. <http://doi.org/10.17226/10236>

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: National Academy Press. <http://doi.org/10.17226/13165> <https://doi.org/10.17226/13165>

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington: National Academies Press.

Nowak, K. H., Nehring, A., Tiemann, R. i Upmeier zu Belzen, A. (2013). Assessing students' abilities in processes of scientific inquiry in biology using a paper-and-pencil test. *Journal of Biological Education*, 47(3), 182–188. <http://doi.org/10.1080/00219266.2013.822747>

OECD. (2013). *PISA 2015 Draft Science Framework*.

OECD-PISA. (2006). Marco de la evaluación.

Ofqual. (2013). Review of controlled assessment in GCSEs, (June), 2012–2013.

Ofqual. (2014). *Consultation on the Assessment of Practical Work in GCSE Science covering :*

- Oliveras, B., Márquez, C i Sanmartí, N. (2012). Aprender a leer críticamente. *Alambique*, 70, 37–45.
- Oliveras, B., Márquez, C. i Sanmartí, N. (2013). The Use of Newspaper Articles as a Tool to Develop Critical Thinking in Science Classes. *International Journal of Science Education*, 35(6), 885–905. <http://doi.org/10.1080/09500693.2011.586736>
- Olson, S. i Loucks-Horsley, S. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. (S. Olson, Steve i Loucks-Horsley, Ed.) *Science Education*. Washington DC.
- Osborne, J. i Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation*. London.
- Panadero, E. (2012). 10 preguntes entorn a les rubriques. Retrieved from <http://www.xtec.cat/web/curriculum/2241>
- Pellegrino, J. W. (2003). Knowing what students know. *Issues in Science and Technology*, 19(2).
- Pickett, N. i Dodge, B. (2007). Rubrics for Web lessons. Retrieved from <http://webquest.sdsu.edu/rubrics/weblessons.htm>
- Pine, J., Aschbacher, P., Roth, E., Jones, M., McPhee, C., Martin, C., Phelps, S, Kyle, T. i Foley, B. (2006). Fifth graders' science inquiry abilities: A comparative study of students in hands-on and textbook curricula. *Journal or Research in Science Teaching*, 43(5), 467–484. <http://doi.org/doi:10.1002/tea.20140>
- Pollard, A. i Triggs, P. (2000). *What Pupils Say: Changing Policy and Practice in English Primary Education*. (Cassell, Ed.). London.
- Pozo, J. A. (2012). *Competencias profesionales. Herramientas de evaluación: el portafolis, la rúbrica y las pruebas situacionales*. Madrid: Narcea.
- Puntambekar, S. i Kolodoner, J. K. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185–271. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20048>

- Quintana, A.J. i Higuera, A. E. (2009). *Las webquests, una metodología de aprendizaje cooperativo, basada en el acceso, el manejo y el uso de información de la red*. Barcelona: Octaedro. Retrieved from <http://www.octaedro.com/ice/pdf/11CUADERNO.pdf>
- Reddy, M. i Andrade, H. (2010). A review of rubric use in higher education. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 35(4), 435–448.
- Reeves, S. i Stanford, B. (2009). Rubrics for the Classroom Assessments for Students and Teachers. *Delta Kappa Gamma Bulletin*, 76(1).
- Reigosa, C. i Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). Scaffolded problem-solving in the physics and chemistry laboratory: Difficulties hindering students' assumptions of responsibility. *International Journal of Science Education*, 29(3), 307–329. <http://doi.org/doi.org/10.1080/09500690600702454>
- Reiser, B. J. (2004). Scaffolding Complex Learning: The Mechanisms of Structuring and Problematizing Student Work. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 273–304.
- Roca, M., Marquez, C. i Sanmartí, N. (2013). Las preguntas de los alumnos : Una propuesta de análisis. *Enseñanza de Las Ciencias*, 31.1, 95–114.
- Roehrig, G. H. i Luft, J. A. (2004). RESEARCH REPORT: Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, 26(1), 3–24.
- Roesch, F., Nerb, J. i Riess, W. (2015). Promoting experimental problem-solving ability in sixth-grade students through problem-oriented teaching of ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37(4), 1–22.
- Ruiz-Primo, M. A. i Shavelson, R. J. (1996). Rhetoric and reality in science performance assessments: An update. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), 1045–1063.
- Sánchez Espinoza, J., Couso, D. i Hernández, M. (2015). *Evaluación de Competencias Científicas en Pruebas Sumativas: Construcción y Refinamiento de Criterios de Diseño*.


- Sanmartí, N i Oliveras, B. (2011). Leer críticamente las ideas y pruebas científicas que aportan artículos periodísticos. In *Cuaderno de Indagación en el aula y Competencia Científica* (pp. 54–77).
- Sanmartí, N. (2007). *Evaluar para aprender: 10 ideas clave*. (Editorial Graó, Ed.) (DL: B-934-). Barcelona: Graó. Retrieved from <http://books.google.es/books?id=BuAkkhRUtYgC>
- Sanmartí, N. (2010). Aprender a evaluarse: motor de todo aprendizaje. *Aula de Innovación Educativa*, 192, 26–29. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11162/87011>
- Sanmartí, N. i Merchán-Carvajal, I. (2014). ¿Cómo elaborar una prueba de evaluación escrita? *Alambique*, 78(cuadro 1), 1–10.
- Schwab, J. (1966). *The teaching of science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T. i Härtig, H. (2015). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 1–27. <http://doi.org/10.1016/j.dr.2015.12.001>
- Schwichow, M., Zimmerman, C., Croker, S. i Härtig, H. (2016). What students learn from hands-on activities. *Journal of Research in Science Teaching*, n/a-n/a. <http://doi.org/10.1002/tea.21320>
- Songer, N.B., Lee, H.S. i McDonald, S. . (2003). Research towards expanded understanding of inquiry science beyond one idealized standard. *Science Education*, 87(4), 490–516.
- Stern, L. i Roseman, J. E. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from Project 2061's curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 538–568.
- Strippel, C. G. i Sommer, K. (2015). Teaching Nature of Scientific Inquiry in Chemistry: How do German chemistry teachers use labwork to teach NOSI? *International Journal of Science Education*, 693(January), 1–22. <http://doi.org/10.1080/09500693.2015.1119330>

- Tamir, P., Nussinovitz, R. i Friedler, Y. (1982). The design and use of Practical Tests Assessment Inventory. *Journal of Biological Education*, 16, 42–50.
- Tamir, P. i Lunetta, V. N. (1981). Inquiry-related tasks in high school science laboratory handbooks. *Science Education*, 65, 477–484.
- Tamir, P i García, M. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de Las Ciencias*, 10(1), 3–12.
- Tamir, P. (1972). The practical mode a distinct mode of performance. *Journal of Biological Education*, 6, 175–182.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J. F., Buty, C. i Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483–508. <http://doi.org/10.1002/sce.1020>
- Torres, J.J. i Perera, V. H. (2010). La rúbrica como instrumento pedagógico para la tutorización y evaluación de los aprendizajes en el foro online en educación superior. *PíxelBit. Revista de Medios Y Educación*, 36, 141–149.
- Trumbull, D. J., Bonney, R. i Grudens-schuck, N. (2005). Developing Materials to Promote Inquiry : Lessons Learned. *Science Education*, 89(6), 879–900. <http://doi.org/10.1002/sce.20081>
- Weiss, I. R., Pasley, J. D., Smith, P. S., Banilower, E. R. i Heck, D. J. (2003). *Looking inside the classroom: A study of K–12 mathematics and science education in the United States*. Chapel Hill, NC: Horizon Research.
- Wenning, C. J. (2007). Assessing inquiry skills as a component of scientific literacy. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 4(2), 21–24.
- Wilke, R. R. i Straits, W. J. (2005). Practical Advice for Teaching Inquiry-Based Science Process Skills in the Biological Sciences. *The American Biology Teacher*, 67(9), 534–540. [http://doi.org/10.1662/0002-7685\(2005\)067\[0534:PAFTIS\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1662/0002-7685(2005)067[0534:PAFTIS]2.0.CO;2)

- Windschitl, M., Thompson, J. i Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. <http://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Wu, P.-H., Wu, H.-K. i Hsu, Y.-S. (2014). Establishing the Criterion-related, Construct, and Content Validities of a Simulation-based Assessment of Inquiry Abilities. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1630–1650. <http://doi.org/10.1080/09500693.2013.871660>
- Zachos, P., Hick, T. L., Doane, W. E. i Sargent, C. (2000). Setting theoretical and empirical foundations for assessing scientific inquiry and discovery in educational programs. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 938–962. [http://doi.org/10.1002/1098-2736\(200011\)37:9<938::AID-TEA5>3.0.CO;2-S](http://doi.org/10.1002/1098-2736(200011)37:9<938::AID-TEA5>3.0.CO;2-S)
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20, 99–149. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1006/drev.1999.0497>
- Zimmerman, C. (2005). *The development of scientific reasoning skills: What psychologists contribute to an understanding of elementary science learning*. Washington, DC.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223. <http://doi.org/10.1016/j.dr.2006.12.001>
- Zion, M., Michalsky, T. i Mevarech, Z. R. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), 957–983. <http://doi.org/10.1080/09500690500068626>
- Zoller, U. i Tsapalis, G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. *Research in Science Education*, 27(1), 117–130.

Disseny gràfic i maquetació
Marta Isorna i Martirà Pagès

Il·lustració de la coberta
Ester Montjer



L'objectiu d'aquesta tesi és identificar i descriure dificultats dels batxillers en relació a la competència d'indagació en la realització del treball de recerca de batxillerat i en activitats d'indagació d'aula. També es proposa analitzar l'avaluació de la competència d'indagació en les proves d'accés a la universitat per la influència que aquests exàmens tenen en les activitats d'ensenyament, de tal manera que poden condicionar la major o menor consideració a les aules de la indagació com a objecte d'aprenentatge.

Per dur a terme aquesta recerca s'han analitzat memòries i presentacions orals de treballs de recerca d'un grup d'estudiants. També s'han utilitzat activitats d'indagació simulada, amb qüestionaris contextualitzats en a descripció d'una investigació o dels seus resultats a partir dels quals es plantegen preguntes relacionades amb habilitats d'indagació com ara la identificació de preguntes investigables, la formulació d'hipòtesis, el disseny de metodologia o la identificació de variables. S'han desenvolupat rúbriques per codificar aquestes produccions de l'alumnat. I també s'han analitzat les característiques de les qüestions dels exàmens de biologia de PAU des de 2011 fins a 2015 i els resultats dels exàmens d'una mostra d'estudiants dels anys 2013, 2014 i 2015.

Els resultats evidencien que en enfrontar-se a la realització de treballs d'indagació oberta i autònoma, els estudiants mostren dificultats en les habilitats característiques de la competència d'indagació: confonen preguntes investigables amb preguntes d'informació, formulen hipòtesis com a simples prediccions i sense relació amb conceptes científics, proposen dissenys metodològics que són poc coherents amb les preguntes i les hipòtesis plantejades, els costa identificar les variables d'un disseny experimental, solen recollir dades insuficients o inadequades, i tendeixen a proposar conclusions no recolzades en dades. Les dificultats identificades en la realització d'activitats d'aula d'indagació simulada no són menors que les mostrades pels estudiants en la realització del seu treball de recerca oberta i autònoma i semblen evidenciar la poca presència de la indagació en les activitats habituals d'ensenyament-aprenentatge.

Les dades recollides en relació als exàmens de PAU mostren que les qüestions de biologia, tot i que contextualitzades i competencials, no sembla que atorguin a les habilitats d'indagació el protagonisme esperat. Els exàmens avaluen de manera separada els conceptes de la ciència i les habilitats pròpies de la indagació, i aquestes tenen una presència menor. A més, les demandes relacionades amb habilitats d'indagació són sovint preguntes de resposta tancada, sense justificació, i molt repetitives. Els resultats dels estudiants en aquestes qüestions que aborden l'avaluació d'habilitats d'indagació mostren qualificacions més altes que les de qüestions de coneixement conceptual. La diferència és menys marcada en qüestions d'indagació obertes i que demanen mobilitzar coneixement conceptual. En general les qualificacions de les qüestions d'indagació són poc discriminatòries i els estudiants tenen notes que s'acumulen en la franja de qualificacions altes.

anàlisi
preguntes

9