

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:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

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:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

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>

Estudiants que aprenen ensenyant quan creen materials didàctics per a altres persones

Aprensenyar de forma indirecta en contextos naturals

Tesi doctoral per compendi de publicacions amb menció internacional
Departament de Psicologia Bàsica, Evolutiva i de l'Educació
Doctorat Interuniversitari de Psicologia de l'Educació
Universitat Autònoma de Barcelona, 2023

Jesús Ribosa Martínez (autor), David Duran Gisbert (director)





Estudiants que aprenen ensenyant quan creen materials didàctics per a altres persones

Aprensenyar de forma indirecta en contextos naturals

Tesi doctoral per compendi de publicacions

Menció Doctor Internacional

Autor: Jesús Ribosa Martínez

Director: David Duran Gisbert

Doctorat Interuniversitari de Psicologia de l'Educació (DIPE)

Departament de Psicologia Bàsica, Evolutiva i de l'Educació

Universitat Autònoma de Barcelona

2023

Imatge de la portada: *Pati d'escola* (1935), del pintor Zygmunt Waliszewski.



Ribosa, J. (2023). *Estudiants que aprenen ensenyant quan creen materials didàctics per a altres persones: Aprensenyar de forma indirecta en contextos naturals* [Tesi doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona].

Aquest treball es troba sota una llicència Creative Commons Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 4.0. Permet la descàrrega del document i que es pugui compartir amb la gent sempre que se'n reconegui l'autoria, però no pot ser modificat de cap manera ni ser emprat amb finalitat comercial.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Finançament. Tesi doctoral finançada pel Ministeri d'Educació i Formació Professional a través del contracte FPU18/01663 per a la formació de professorat universitari, amb l'ajuda complementària de mobilitat EST21/00147.

Taula de continguts

Agraïments.....	vii
Resum.....	ix
Abstract	x
1. Introducció	1
1.1. Una anàlisi temporal de les publicacions sobre <i>aprensenyar</i>	2
1.2. La infantesa del concepte d' <i>aprensenyar</i> : Des de l'inici de la humanitat?	4
1.2.1. Les publicacions més antigues sobre <i>aprensenyar</i> en recerca educativa.....	5
1.2.2. L'origen del concepte d' <i>aprensenyar</i>	6
1.3. Les situacions primàries d' <i>aprensenyar</i>	7
1.3.1. Aprendre preparant-se per a ensenyar	9
1.3.1.1. Les evidències d'efectivitat sobre l'aprenentatge	9
1.3.1.2. El perquè de l'efectivitat	11
1.3.2. Aprendre exposant sense intervenció verbal de l'audiència	17
1.3.2.1. Les evidències d'efectivitat sobre l'aprenentatge	17
1.3.2.2. El perquè de l'efectivitat	22
1.3.2.2.1. La hipòtesi de l'evocació	22
1.3.2.2.2. La hipòtesi de l'aprenentatge generatiu	24
1.3.2.2.2.1. L'anàlisi dels processos cognitius	25
1.3.2.2.2.2. L'anàlisi dels processos metacognitius.....	35
1.3.2.2.3. La hipòtesi de la presència social	40
1.3.2.2.3.1. La perspectiva de la pragmàtica del discurs	41
1.3.2.2.3.2. La perspectiva afectiva	43
1.3.2.2.3.3. La perspectiva de la motivació	45
1.3.3. Aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència	46
1.3.3.1. Les evidències d'efectivitat sobre l'aprenentatge	46
1.3.3.2. El perquè de l'efectivitat	48
1.3.3.3. Les aportacions de la recerca sobre agents ensenyables	51

1.3.4. Conclusions sobre les evidències d' <i>aprensenyar</i>	56
1.4. Justificació i estructura de la tesi doctoral.....	58
2. Còpia dels articles publicats	63
2.1. Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field.....	65
2.2. Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching ...	83
2.3. Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity	101
2.4. Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: Conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas	139
2.5. Students' feelings of social presence when creating learning-by-teaching educational videos for a potential audience	159
3. Resum de resultats i discussió	171
3.1. Primer objectiu: Revisar la literatura sobre la creació de materials didàctics per part d'estudiants	171
3.2. Segon objectiu: Planificar, implementar i avaluar una proposta d'intervenció pràctica basada a <i>aprensenyar</i> de forma indirecta a educació primària	174
Summary of findings and discussion (in English).....	177
4. Conclusions	183
4.1. Primer objectiu: Revisar la literatura sobre la creació de materials didàctics per part d'estudiants	183
4.1.1. Contribucions i limitacions.....	183
4.1.2. Línies futures de recerca	189
4.2. Segon objectiu: Planificar, implementar i avaluar una proposta d'intervenció pràctica basada a <i>aprensenyar</i> de forma indirecta a educació primària	190
4.2.1. Contribucions i limitacions.....	190
4.2.2. Línies futures de recerca	194
Conclusions (in English).....	197
Referències	211

Agraïments

A tothom qui se cerqui en aquestes línies, i a tothom qui les llegeixi. I, especialment, al professor David Duran, director d'aquesta tesi doctoral, i als companys del Grup de Recerca sobre Aprenentatge entre Iguals (GRAI).

Estudiants que aprenen ensenyant quan creen materials didàctics per a altres persones*Aprensenyar de forma indirecta en contextos naturals***Resum**

La recerca ha evidenciat que qui ensenya pot millorar el propi coneixement sobre el contingut gràcies al fet d'ensenyar-lo —és a dir, pot aprendre ensenyant. El potencial d'aprendre ensenyant també el poden aprofitar els estudiants a les aules, com ara quan fan presentacions orals davant d'una audiència. Sembla que, fins i tot quan l'audiència no és present en fer l'exposició, els estudiants poden aprendre ensenyant. La investigació s'ha referit a aquesta mena de pràctiques com a aprendre ensenyant de forma indirecta. A la pràctica, ens hi podem referir com a aprendre ensenyant a través de la creació de materials didàctics. Ara per ara, aquesta línia de recerca té dues limitacions importants. En primer lloc, no se sap quants estudis analitzen aquesta mena de pràctiques, encara que no facin servir explícitament el concepte d'aprendre ensenyant. En segon lloc, la majoria d'estudis que fan servir aquest concepte s'han fet amb estudiants universitaris en contextos experimentals. D'aquestes dues limitacions, se'n desprenen els dos objectius d'aquesta tesi doctoral: 1) revisar la literatura sobre la creació de materials didàctics per part d'estudiants, i 2) planificar, implementar i avaluar una proposta d'intervenció pràctica basada a aprendre ensenyant de forma indirecta a educació primària. Quant al primer objectiu, s'han identificat 280 estudis a una revisió panoràmica, amb diferents productes, fonts d'informació, resultats d'aprenentatge i explicacions teòriques. Els resultats d'una meta-anàlisi amb 23 articles confirmen que crear materials didàctics és beneficiós per a l'aprenentatge sobre el contingut que s'ensenya. Tanmateix, tres factors en condicionen els resultats: la mena de producte, l'accés a la font d'informació original quan es crea el material didàctic i el tipus de grup de control. L'efecte no sembla variar entre àrees de coneixement ni etapes educatives, però pocs estudis han analitzat intervencions a educació primària. És per això que, per al segon objectiu de la tesi, s'ha desenvolupat un projecte en què parelles d'estudiants de sisè formulen una pregunta sobre el món i creen un videotutorial per a donar-hi resposta, amb l'objectiu que altres persones puguin aprendre a través del videotutorial. Els resultats mostren que els estudiants elaboren el contingut i milloren el coneixement sobre les preguntes. En analitzar la interacció dels estudiants, s'identifiquen comentaris sobre l'audiència que el veurà, tot i que no sempre els duen a elaborar més profundament el contingut. En conclusió, les evidències assenyalen que els estudiants poden aprendre ensenyant en crear materials didàctics. Aquestes pràctiques tenen un destacat valor social i comunitari, perquè contribueixen a la democratització del coneixement, en una societat en què hem de ser capaços d'aprendre els uns dels altres —i, per tant, d'ensenyar-nos els uns als altres.

Paraules clau: aprendre ensenyant; audiència; educació primària; materials didàctics; vídeo educatiu.

Students who learn by teaching when creating teaching materials for others

Learning by indirect teaching in natural contexts

Abstract

Research has shown that those who teach can improve their own knowledge of the content thanks to teaching it —that is, they can learn by teaching. The potential of learning by teaching can also be harnessed by students in class, such as when they give oral presentations before an audience. Even when the audience is not present when presenting, it seems that students can learn by teaching. Research has referred to this kind of practice as learning by indirect teaching. In practice, we can refer to it as learning by creating teaching materials. At this moment, this line of research has two important limitations. Firstly, it is not known how many studies analyse this kind of practice, even if they do not explicitly use the concept of learning by teaching. Secondly, most studies using this concept have been carried out with university students in experimental contexts. From these two limitations, the two aims of this doctoral thesis emerge: 1) to review the literature on student-generated teaching materials, and 2) to plan, implement, and assess an intervention proposal based on learning by indirect teaching in primary education. Regarding the first aim, 280 studies have been identified in a scoping review, with different products, information sources, learning outcomes, and theoretical explanations. The findings of a meta-analysis with 23 articles confirm that creating teaching materials is beneficial for learning about the content that is taught. However, three factors condition the findings: the kind of product, the access to the original source of information when the teaching material is being created, and the type of control group. The effect does not seem to differ between subject areas or educational stages, but few studies have analysed interventions in primary education. Thus, for the second aim of the doctoral thesis, a project has been developed in which pairs of grade-6 students formulate a question about the world and create a video tutorial to answer the question, with the aim that other people can learn through the video tutorial. Results show that students elaborate on the content and improve their knowledge about the questions. When analysing student interaction, comments referring to the potential audience are identified, although these comments do not always lead students to more deeply elaborate on the content. In conclusion, evidence points out that students can learn by teaching when creating teaching materials. These practices have an important social and communal value because they contribute to the democratisation of knowledge, in a society in which we must be able to learn from each other —and thus to teach each other.

Keywords: learning by teaching; audience; primary education; teaching materials; educational video.

1. Introducció

Aquest treball se centra en el concepte d'aprendre ensenyant —en anglès, *learning by teaching*. Es tracta d'un terme format a partir dels dos conceptes centrals de la psicologia de l'educació. *Aprendre*: un procés de construcció activa de significat, a partir de la reorganització mental i la integració de la nova informació als coneixements previs —des d'una perspectiva constructivista d'orientació cognitiva— (Fiorella & Mayer, 2016) o a partir de la internalització d'eines culturals en forma de símbols, que reconstrueixen l'activitat psicològica —des d'una perspectiva constructivista d'orientació sociocultural— (Kaptelinin & Nardi, 2006; Vigotski, 1978).¹ I *ensenyar*: una activitat intencional que es duu a terme per a fer augmentar el coneixement o la comprensió d'algú altre que té un coneixement nul, parcial o erroni (Strauss & Ziv, 2012), a través dels mecanismes d'influència educativa (Coll et al., 2008). El concepte d'aprendre ensenyant fa referència a les oportunitats d'aprenentatge que l'activitat d'ensenyar genera per a la persona que ensenya quelcom a algú altre. Al llarg del text, ens hi referirem amb el terme *aprensenyar*, tal com encunya Duran (2016).

Una cerca a Scopus del concepte de *learning by teaching* —usant les cometes al cercador, per a tots els camps— mostra un total de 2219 resultats fins l'any 2022: 1166 articles (52,5%), 691 comunicacions a congressos (31,1%), 166 capítols de llibre (7,5%), 93 revisions (4,2%), 66 llibres (3%) i 34 resultats d'altres tipus. La majoria de resultats provenen de les àrees de ciències socials —incloent-hi psicologia— (41%) i ciències de la computació (26,4%). La distinció entre aquestes dues línies de recerca provinents d'àrees de coneixement diferents la podem trobar en la caracterització que fan d'aquest *algú altre* a qui es dirigeix l'ensenyament. Mentre que als estudis provinents de ciències socials es tracta d'una audiència real, potencial o imaginària, que normalment pren la forma

¹ De fet, la complexitat de l'aprenentatge humà fa que hàgim de tenir en compte múltiples perspectives teòriques, com ara les que recull Jonassen (2009): el processament, l'emmagatzematge i la recuperació d'informació; l'activitat bioquímica del cervell; el canvi en el comportament; l'ontogènesi de la construcció del coneixement; el canvi conceptual; la resolució de problemes; la negociació social; l'activitat; l'afinament de les percepcions a les possibilitats de l'entorn.

d'un company de l'ensenyant (e. g., Fiorella & Mayer, 2013), en el cas de les ciències de la computació el destinatari pren la forma d'un agent ensenyable — en anglès, *teachable agent*—, un robot social o programa d'ordinador a qui els estudiants han d'ensenyar (e. g., Biswas et al., 2005; Jamet et al., 2018; Schwartz, Chase, et al., 2009).

A la línia provinent de les ciències socials, la majoria d'estudis sobre *aprensenyar* s'ha centrat en l'aprenentatge conceptual (e. g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014), i encara són pocs els estudis que n'han analitzat l'efecte sobre l'aprenentatge procedimental (e. g., Fiorella et al., 2017; Hoogerheide, Renkl, et al., 2019) i d'habilitats motrius (e. g., Daou, Buchanan, et al., 2016; Daou, Lohse, & Miller, 2016; Rhoads et al., 2019). En canvi, a la línia provinent de les ciències de la computació, molts estudis examinen l'aprenentatge procedimental (e. g., Chandra et al., 2020; Jacq et al., 2016; Yadollahi et al., 2018) o d'ambdós tipus — conceptual i procedimental— (e. g., Brophy et al., 1999; Matsuda et al., 2020; Pareto et al., 2022), i d'altres se centren en l'aprenentatge conceptual (e. g., Biswas et al., 2005; Biswas et al., 2016; Tanaka & Matsuzoe, 2012).

1.1. Una anàlisi temporal de les publicacions sobre *aprensenyar*

En una anàlisi temporal dels resultats de la cerca a Scopus, els gràfics mostren una tendència creixent del nombre de publicacions que fan referència al concepte de *learning by teaching*, especialment a partir de l'any 2000 (Figura 1). Cal tenir en compte que aquesta tendència creixent és compartida pel conjunt de publicacions científiques, independentment de l'àrea de coneixement (Figura 2).

Figura 1

Nombre anual de publicacions d'aprensenyar a Scopus, total i per a les dues àrees principals

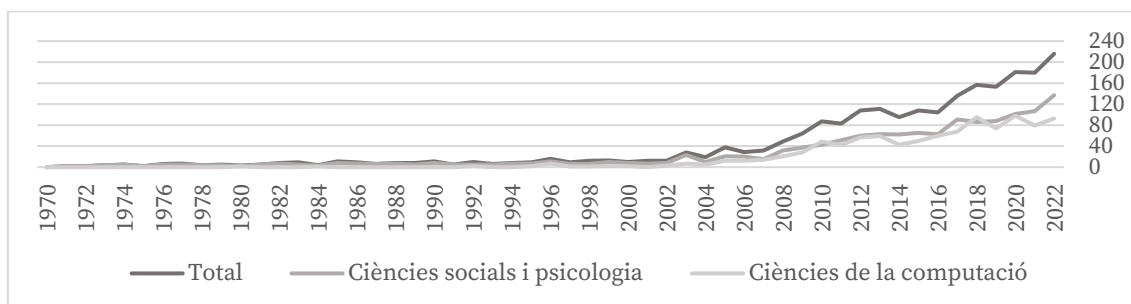
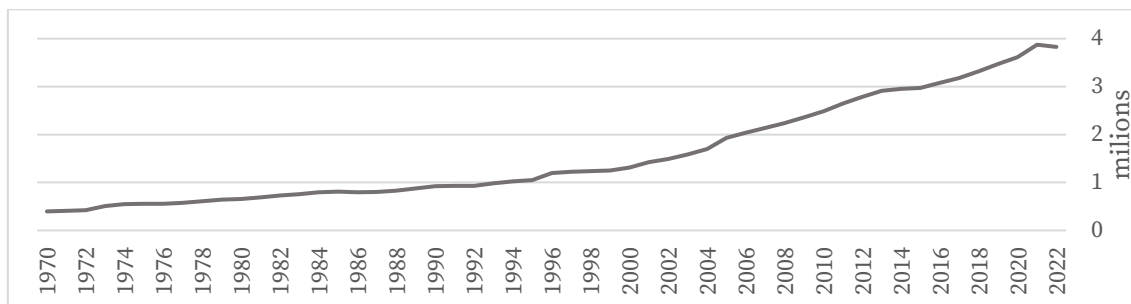


Figura 2

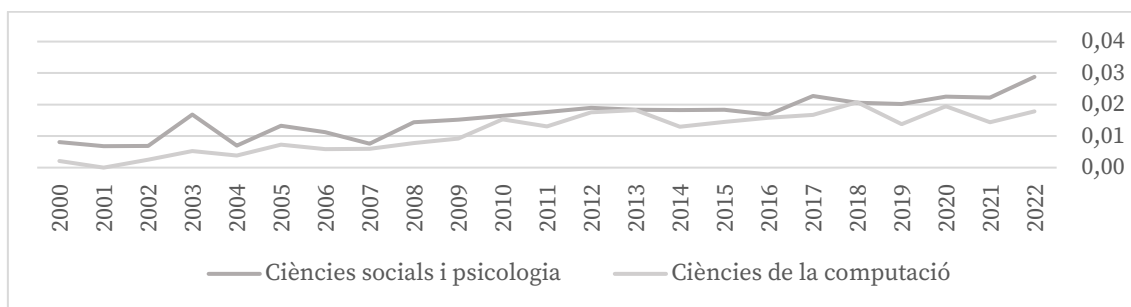
Nombre anual de publicacions de totes les àrees a Scopus



En termes relatius, entre el 2000 i el 2022, la publicació d'articles d'*aprensenyar* sobre el total d'articles de cadascuna de les dues àrees principals mostra una tendència ascendent (Figura 3). Aquestes dades suggereixen que el camp d'investigació d'*aprensenyar* es troba en creixement.

Figura 3

Percentatge de publicacions d'aprensenyar per àrea sobre el total anual de publicacions per àrea



Només l'any 2022, Scopus recull la publicació de 216 documents sobre *aprensenyar*, dels quals 148 són articles publicats a revistes indexades. Tres d'aquests són articles de revisió que duen *learning by teaching* al títol: la revisió de Kobayashi (2022b) al voltant de la hipòtesi de l'evocació a la recerca sobre *aprensenyar*; la revisió de Lachner et al. (2022) sobre *aprensenyar* sense la presència de l'audiència ni interacció (i. e., *aprensenyar* de forma no interactiva), i la meta-anàlisi de Ribosa i Duran (2022a) —que forma part d'aquesta tesi doctoral— sobre la creació de materials didàctics com una manera d'*aprensenyar* de forma indirecta.

Per a la tesi doctoral, ens interessa especialment la distinció entre situacions d'ensenyament directe i indirecte. Kobayashi (2019a) usa el terme d'ensenyament directe per a referir-se a les situacions d'ensenyament cara a cara, mentre que l'ensenyament indirecte fa referència a situacions en què

s'ensenya a través d'un vídeo, un escrit o un altre producte.² Lachner et al. (2022) fan servir el concepte d'ensenyament no interactiu de forma semblant, però amb un matís: no només deixen fora d'aquest concepte les situacions d'ensenyament en presència o interacció de l'audiència, sinó també la interacció amb altres persones durant la preparació del material o l'elaboració del producte. Potser perquè la preparació del material es pot dur a terme en col·laboració amb altres persones (Kobayashi, 2021), Kobayashi (2019a) rectifica les etiquetes d'una meta-anàlisi anterior (Kobayashi, 2019b) i opta per usar els conceptes d'ensenyament directe i indirecte —i, en aquest cas, reserva el concepte d'ensenyament no interactiu per a les situacions d'autoexplicació.

Sembla que el camp d'*aprensenyar* es troba actualment en una etapa de maduresa, amb la publicació d'aquestes revisions que intenten organitzar les troballes dels estudis en un marc teòric ordenat, que permeti avançar en la comprensió dels mecanismes que n'expliquen l'efectivitat. A continuació, es presenta una revisió de la literatura sobre *aprensenyar*, per tal d'entendre l'evolució de la recerca al voltant d'aquest concepte. Ens centrarem especialment en les publicacions de l'àrea de ciències socials i psicologia, en què s'emmarca aquesta tesi doctoral.

1.2. La infantesa del concepte d'*aprensenyar*: Des de l'inici de la humanitat?

D'acord amb Fiorella i Mayer (2013) i Duran (2017), les primeres evidències d'*aprensenyar* provenen de l'anàlisi de les pràctiques de tutoria entre iguals, quan s'analitza l'aprenentatge de l'estudiant tutor (e. g., Allen, 1976; Cloward, 1967; Cohen et al., 1982; Devin-Sheehan et al., 1976; Goodlad & Hirst, 1989). La tutoria entre iguals és un mètode d'aprenentatge cooperatiu que es caracteritza per la distribució dels rols de tutor i tutorat entre dos membres d'una parella, amb un objectiu curricular compartit i procediments clars per a estructurar la interacció (Duran & Vidal, 2004; Ismail & Alexander, 2005; King et al., 1998; Topping, 2005).

² Tenint en compte les possibilitats que ofereixen les tecnologies digitals, potser seria pertinent no limitar la definició d'ensenyament directe a situacions cara a cara, sinó a situacions síncrones (i. e., presencials o a distància), mentre que l'ensenyament indirecte faria referència a situacions asíncrones (i. e., en què el destinatari no és present en el moment en què es fa l'exposició, sinó que s'espera que hi accedeixi més endavant). El mateix Kobayashi (2019a) ho suggereix quan assenyala que cal explorar els diferents modes d'interacció que ofereixen les tecnologies digitals, com ara les videotrucades (e. g., Pi, Liu, et al., 2022) o les plataformes virtuals (e. g., Rienovita et al., 2018).

A l'inici de la dècada de 1970, es publica el llibre *Children teach children* (Gartner et al., 1971a), àmpliament citat des de llavors (e. g., Duran, 2017; Fiorella & Mayer, 2014; Koh et al., 2018; Matsuda et al., 2020). Així mateix, es publiquen els primers estudis experimentals que fan servir explícitament el concepte de *learning by teaching* (Anderson & Thompson, 1971; Frager & Stern, 1970; Morgan & Toy, 1970). A mitjan 1970, s'edita també el llibre *Children as teachers: Theory and research on tutoring* (Allen, 1976) i l'article *Research on children tutoring children: A critical review of research* (Devin-Sheehan et al., 1976).

Per a referir-se a les evidències d'aprenentatge que obtenen els tutors, Roscoe i Chi (2007) encunyen el concepte d'efecte d'aprenentatge del tutor —en anglès, *tutor learning effect*. D'acord amb Roscoe i Chi (2008), aquest efecte s'ha observat en els diferents formats de tutoria entre iguals —*cross-age* (Allen & Feldman, 1976), *same-age* (Annis, 1983) i tutoria recíproca (Fantuzzo et al., 1989)— i en àrees de coneixement diverses (e. g., Annis, 1983; Coleman et al., 1997; Fantuzzo et al., 1989; Juel, 1996; Sharpley et al., 1983). Situat en l'àmbit de la tutoria entre iguals, es tracta d'un concepte equivalent al d'*aprensensyar*. Aquest últim, de caràcter més general, considera el potencial d'aprenentatge per a l'ensenyant, independentment del tipus de situació en què es produeix l'activitat d'ensenyar. De fet, Roscoe (2014) adopta el concepte d'*aprensensyar* en un estudi posterior sobre tutoria entre iguals.

En aquest apartat, presentem primer les publicacions més antigues sobre *aprensensyar* que apareixen a Scopus i a Google Acadèmic en el camp de la recerca educativa, i després explorem l'origen del concepte en publicacions anteriors.

1.2.1. Les publicacions més antigues sobre *aprensensyar* en recerca educativa

Els articles més antics a Scopus daten de 1971 (Anderson & Thompson, 1971; Otto et al., 1971). A Google Acadèmic —la font més completa (Martín-Martín et al., 2021)— hi podem trobar altres articles i publicacions acadèmiques sobre intervencions educatives de principis dels setanta (e. g., Frager & Stern, 1970; Gartner et al., 1971a, 1971b; Morgan & Toy, 1970), però també documents de dècades anteriors: dels seixanta (Zacharias, 1966), dels cinquanta (Naik, 1955), dels quaranta (Mendenhall, 1940; Pedersen, 1940), dels trenta (Crabb et al., 1932) i dels vint (Bogardus, 1920). Aquesta última publicació és especialment interessant, perquè es tracta d'un llibre que duu el títol *Essentials of social psychology* —en català, *Bases de la psicologia social*— (Bogardus, 1918), publicat originalment el 1918 i reeditat al cap de dos anys (Bogardus, 1920). El llibre conté

al final de cada capítol un apartat pensat per a estudiants de psicologia social, amb preguntes i activitats per a reflexionar sobre el contingut. Al segon capítol —*Bases psicològiques de la psicologia social*— de la segona edició del llibre (Bogardus, 1920), l'última d'aquestes preguntes és la següent: “Quin és el significat d'aprendre ensenyant?” (p. 52). Al capítol, en un paràgraf en què critica els entrenaments memorístics basats en fórmules abstractes, l'autor encoratja el lector a usar el que anomena mètodes naturals per a recordar millor la informació, un dels quals és exposar el contingut als altres: “Necessiten aprendre la importància d'expressar als altres freqüentment allò que volen recordar” (p. 44).

Seguint la pista de la bibliografia referenciada en aquests documents de la primera meitat i mitjan segle XX, hi trobem altres publicacions interessants. Naik (1955) ens dirigeix a un llibre de Laubach (1938), amb el títol *Toward a literate world* —en català, *Cap a un món alfabetitzat*. Al llibre, l'autor —un missioner cristià a les Filipines, conegut amb el sobrenom de *L'apòstol dels analfabets* (Gowing, 1983)— explica *Each one teach one* —en català, *Cadascú ensenya algú*—, el mètode que va desenvolupar per a ensenyar adults a llegir en la seva llengua vernacle. Per la seva banda, en un recull d'estudis per a la formació inicial de mestres (Crabb et al., 1932), fins i tot hi trobem citada una publicació de la dècada de 1910. Es tracta d'un article de 1918, que duu el títol *Learning by teaching*, publicat a la revista *Educational Review* (Churchman, 1918). No hem pogut recuperar el document original, però apareix també citat en un document de 1919, que el recull dins d'una bibliografia comentada sobre ensenyament de la llengua (Krause, 1919), amb el comentari següent: “Una contribució raonada a la reorganització de les nostres classes a l'escola i la universitat. Proposa que una selecció d'estudiants-instructors, sota supervisió d'un expert, es facin càrrec de petites seccions [de la classe]” (p. 19).

1.2.2. L'origen del concepte d'aprensenyar

Hi ha publicacions anteriors, de principis del segle XX i finals del segle XIX, que fan servir el concepte de *learning by teaching* fora de la recerca educativa, aplicat de forma més general a l'experiència d'aprenentatge que suposa la professió docent a la vida d'una persona. Ho fan Ellis et al. (1893) quan recorden el Dr. Jared Sparks a l'acta d'una reunió de la Massachusetts Historical Society. És el cas també de Hill i Hill (1880), que encapçalen amb *learning by teaching* la secció sobre una de les primeres experiències docents del mestre britànic Rowland

Hill, quan tenia 17 anys. Així mateix, Legros (1913), en una biografia del naturalista francès Jean-Henri Fabre, usa el concepte de *learning by teaching* quan parla de l'activitat docent de Fabre a 19 anys. Finalment, a la publicació acadèmica més antiga que hem pogut trobar en aquesta cerca a Google Acadèmic —una recopilació de fragments dels diaris de viatge del pedagog Thomas Arnold (Arnold, 1852)—, un dels passatges es titula *Learning by teaching*, i fa referència a la necessitat que la professió docent vagi acompanyada d'un aprenentatge constant.

L'origen del concepte d'*aprensnyar* probablement es remunti molts més anys enrere. Tal com recull Duran (2017, p. 13), tenim molts testimonis al llarg de la història que expressen la idea d'*aprensnyar*, com ara les cites de Pau Casals (s. XX) —“Per a mi, no hi ha separació entre ensenyar i aprendre, perquè ensenyant també s'aprèn”—, Joubert (s. XIX) —“Ensenyar és aprendre dues vegades”—, Comenius (s. XVII) —“Qui ensenya a d'altres aprèn ell mateix”— o Sèneca (s. I) —“Ensenyar és aprendre”. Segons Topping (2000), la tutoria entre iguals, mètode per excel·lència que posa en joc el principi d'*aprensnyar*, s'origina a l'antiga Grècia. De fet, ensenyar es pot considerar una habilitat cognitiva humana, ja que és universal entre els éssers humans i ens diferencia de la resta d'espècies (Strauss & Ziv, 2012). En el pla ontogènic, Calero et al. (2018) proposen que l'activitat d'ensenyar pot ser la impulsora del desenvolupament metacognitiu dels infants, i que pot ocórrer com un instint des d'una edat primerenca. En el pla filogènic, Gärdenfors i Högberg (2017) defensen que l'activitat d'ensenyar, present a totes les societats humanes i molt més limitada en altres espècies, precedeix el desenvolupament d'habilitats comunicatives i cognitives superiors que caracteritzen l'*Homo sapiens*.

1.3. Les situacions primàries d'*aprensnyar*

L'interès pel perquè de l'aprenentatge dels estudiants tutors en situacions de tutoria entre iguals va inspirar estudis centrats en les diferents activitats implicades en la tasca d'ensenyar. No obstant això, el nom i el nombre d'estadis, així com els límits que els defineixen, és encara motiu de debat. Una primera delimitació, compartida per tota la comunitat, és la distinció entre el moment de preparar-se per a ensenyar i la sessió d'ensenyament (e. g., Annis, 1983; Bargh & Schul, 1980; Benware & Deci, 1984; Fiorella & Mayer, 2013, 2014). Al seu torn, la sessió d'ensenyament pot subdividir-se en dos moments: la presentació inicial del material per part de l'ensenyant i el feedback per part del destinatari (Bargh

& Schul, 1980). Al llibre de Duran (2016), publicat també en castellà (Duran, 2014) i en anglès (Duran & Topping, 2017), l'autor organitza inicialment el marc explicatiu d'*aprensensyar* en aquests tres estadis, de menys a més interactius i complexos: 1) aprendre amb l'expectativa d'ensenyar, és a dir, preparant-se per a ensenyar sense arribar a fer-ho; 2) aprendre explicant, i 3) aprendre interactuant.

No obstant això, pot resultar necessari distingir conceptualment entre situacions de presentació del contingut —en què no s'espera que l'audiència intervingui— i situacions d'explicació del contingut —en què s'anima l'audiència a participar per tal d'ajustar l'explicació a les seves demandes (Duran, 2017, 2023; Plötzner et al., 1999). A més, la interacció amb el tutorat pot incloure no només el feedback referent a la qualitat de l'explicació o al grau de comprensió, sinó també l'intercanvi de preguntes i respostes sobre el contingut (King et al., 1998; Kobayashi, 2022a; Roscoe & Chi, 2007). Les dues activitats semblen rellevants per a potenciar l'aprenentatge de l'ensenyant (Ito & Kakihana, 2009; Roscoe, 2014). En el futur, la recerca haurà d'examinar si l'efecte d'aquestes dues activitats interactives és diferent, per tal de valorar si cal situar-les com a estadis separats d'*aprensensyar*, tal com proposa Duran (2017, 2023).

A continuació, revisarem les evidències d'*aprensensyar*, partint de les tres situacions primàries plantejades inicialment per Bargh i Schul (1980), que han estat recollides posteriorment en revisions (Duran, 2016; Fiorella & Mayer, 2016) i experiments (Kobayashi, 2022a).³ En matisem els noms per tal de recollir les últimes aportacions del debat conceptual (Duran, 2017), presentades al paràgraf anterior (Taula 1). Així doncs, en línia amb Duran (2017), reservarem l'ús del concepte d'*explicació* per a la tercera situació primària, és a dir, per a aquelles situacions en què l'ensenyant, gràcies a la interacció verbal amb l'audiència, pot ajustar la representació externa del contingut a les necessitats del destinatari. A diferència de la majoria d'estudis del camp d'*aprensensyar*, farem servir el terme *exposició* —en lloc d'*explicació*— per a la segona situació primària, en què no hi ha intervenció verbal de l'audiència.

³ Fem servir el concepte de situació primària, en lloc de fase (e. g., Kobayashi, 2022a) o estadi (e. g., Duran, 2017), perquè es tracta de les tres situacions fonamentals d'*aprensensyar*, clarament delimitades per l'estructura de la tasca, i àmpliament citades des de la proposta inicial de Bargh i Schul (1980). Es parteix primerament de la distinció entre preparar-se per a ensenyar i la sessió d'ensenyament. Al seu torn, la sessió d'ensenyament se subdivideix en funció de si l'audiència intervé verbalment o no.

Taula 1*Estructura de la tasca a les tres situacions primàries d'aprensenyar*

	Aprendre preparant-se per a ensenyar	Aprendre exposant sense intervenció verbal de l'audiència	Aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència
Què fa l'audiència?	-	No hi intervé verbalment. A més, en el cas de situacions indirectes, no només no hi intervé, sinó que tampoc no hi és present.	Pot intervenir-hi verbalment de diferents maneres, com ara oferint feedback, formulant preguntes o responent preguntes.
Què fa l'ensenyant?	Estudia el material, i pot prendre notes o fins i tot preparar un guió per a la sessió d'ensenyament.	Elabora una representació externa del contingut, dirigida a l'audiència.	Interpreta les intervencions verbals de l'audiència, que li permeten elaborar i formular noves representacions externes del contingut.

Per a cada situació primària, n'aportarem les evidències d'efectivitat sobre l'aprenentatge —en comparació de grups de control, d'intervencions alternatives i de situacions primàries d'*aprensenyar* anteriors—, així com les possibles explicacions d'aquesta efectivitat recollides a la literatura.

1.3.1. Aprendre preparant-se per a ensenyar**1.3.1.1. Les evidències d'efectivitat sobre l'aprenentatge**

Les primeres evidències d'aprendre amb l'expectativa d'ensenyar, és a dir, d'aprendre preparant-se per a ensenyar, provenen de situacions de tutoria entre iguals. Abans de la sessió de tutoria entre iguals, és important que el tutor prepari el material, per a garantir la diferència de domini del contingut entre tutor i tutorat, que permet desenvolupar els dos rols (De Backer et al., 2015b; Topping, 2005). A la dècada de 1980, tres estudis demostren experimentalment que aquesta fase de preparació del material amb l'expectativa d'ensenyar, encara que finalment no s'ensenyi, pot generar beneficis d'aprenentatge per al tutor, en comparació d'estudiar per a un examen (Annis, 1983; Bargh & Schul, 1980; Benware & Deci, 1984).

Aquests estudis han inspirat la recerca posterior sobre l'expectativa d'ensenyar (e. g., Ehly et al., 1987; Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Fukaya, 2013a, 2013b; Hoogerheide et al., 2014; Muis et al., 2016; Nestojko et al., 2014; Renkl, 1995). En aquests estudis posteriors, els resultats obtinguts són mixtos, amb resultats significatius en alguns casos (e. g., Muis et al., 2016; Nestojko et al., 2014), però no en d'altres (e. g., Ehly et al., 1987; Fukaya, 2013b; Renkl, 1995), i en funció del tipus de test (e. g., Hoogerheide et al., 2014) i del moment en què es fa (e. g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014).

Partint d'una meta-anàlisi anterior (Fukaya, 2014), un dels objectius de la meta-anàlisi de Kobayashi (2019b), reanalitzada posteriorment pel mateix autor (Kobayashi, 2019a), és examinar l'efecte de preparar-se per a ensenyar. Els resultats mostren un efecte entre petit i mitjà de l'expectativa d'ensenyar sobre l'aprenentatge ($g = 0,35$). Les anàlisis de subgrups mostren que l'efecte de preparar-se per a ensenyar és significatiu, tant en aprenentatge superficial (i. e., recordar el contingut o transferir-lo a contextos semblants) com en aprenentatge profund (i. e., inferir, comprendre o transferir el contingut a contextos diferents). A més, la meta-anàlisi de Kobayashi (2019b) indica que l'efecte es detecta en tests immediats i diferits —tal com mostra també un estudi posterior de Guerrero i Wiley (2021).

Cal assenyalar quatre variables referents a les característiques de la tasca, explorades en estudis anteriors com a possibles moderadores de l'efectivitat d'aprendre amb l'expectativa d'ensenyar. En primer lloc, el grau d'interactivitat esperada en modera l'efecte: preparar el material amb l'expectativa d'ensenyar-lo de forma directa, cara a cara, genera més beneficis d'aprenentatge que fer-ho amb l'expectativa d'ensenyar-lo de forma indirecta, a través d'un producte (Kobayashi, 2019a, 2019b). En segon lloc, alguns experiments han explorat si hi ha diferències en funció de la complexitat del material d'estudi (Fiorella & Mayer, 2014, Experiment 1; Guerrero & Wiley, 2021). Fiorella i Mayer (2014) no troben diferències d'aprenentatge entre un grup que treballa amb una versió bàsica del text i un grup que ho fa amb una versió millorada, amb suports per a reduir la demanda cognitiva. Per la seva banda, Guerrero i Wiley (2021) reporten un efecte comparable de l'expectativa d'ensenyar en dos experiments: al primer, els estudiants preparen un text d'un nivell inferior al que correspondria al seu curs; al segon, el text és d'un nivell apropiat. En tercer lloc, la preparació del contingut en col·laboració amb altres companys —en lloc de fer-ho individualment, com passa a la majoria d'intervencions— afavoreix

l'aprenentatge (Kobayashi, 2021). En quart lloc, l'expectativa d'ensenyar també sembla efectiva en aprenentatge motriu (Cabral et al., 2023; Daou, Buchanan, et al., 2016; Daou, Lohse, & Miller, 2016, 2018; Daou, Rhoads, et al., 2019, Anàlisi cumulativa), tot i que alguns estudis no detecten aquest efecte (Daou, Rhoads, et al., 2019; Rhoads et al., 2019). Daou, Hutchison, et al. (2019) reporten que l'efecte es perd quan els participants són sotmesos a pressió al posttest, però en un estudi posterior Cabral et al. (2023) reporten que l'efecte negatiu de la pressió sobre els resultats es pot prevenir mitjançant un tipus específic d'instruccions — les instruccions basades en analogies.

1.3.1.2. El perquè de l'efectivitat

L'efectivitat de preparar-se per a ensenyar s'ha explicat fins ara pels efectes que es produeixen sobre la motivació i la cognició dels estudiants (Duran, 2016). Pel que fa a la motivació, les primeres evidències sorgeixen de l'estudi de Benware i Deci (1984), que reporten una motivació intrínseca més elevada per part dels estudiants que estudien amb l'expectativa d'ensenyar. No obstant això, la majoria d'estudis posteriors no repliquen aquests resultats (e. g., Daou, Buchanan, et al., 2016; Daou, Lohse, & Miller, 2016, 2018; Fiorella & Mayer, 2013; Guerrero & Wiley, 2021, Experiment 2; Lim et al., 2021; Renkl, 1995). Renkl (1995) fins i tot troba un efecte negatiu de l'expectativa d'ensenyar sobre la motivació intrínseca.

Entre altres qüestions, Fiorella i Mayer (2013, 2014) exploren si hi ha diferències entre l'expectativa d'ensenyar i preparar-se per a un examen, quant a la motivació per a esforçar-se o la satisfacció o gaudi, així com la preferència d'aprendre d'aquella forma en el futur, el desig d'aprendre més sobre el contingut i la percepció d'utilitat del contingut. Només en un dels quatre experiments troben que l'expectativa d'ensenyar genera nivells més elevats d'aquests diferents aspectes de motivació en comparació de preparar-se per a un examen (Fiorella & Mayer, 2014, Experiment 1). En un estudi posterior que fa ús de tres d'aquests ítems, Wang et al. (2021) troben algunes diferències de motivació a favor de l'expectativa d'ensenyar. Per la seva banda, Guerrero i Wiley (2021) només troben diferències de motivació en un dels dos experiments. A més, sembla que la preparació del material en col·laboració amb altres companys pot generar més gaudi que fer-ho individualment, però no hi ha diferències en l'interès vers el contingut (Kobayashi, 2021). En el cas de l'aprenentatge d'habilitats motrius, tot i que la majoria d'estudis no troben cap

diferència significativa de motivació (e. g., Daou, Buchanan, et al., 2016; Daou, Lohse, & Miller, 2016, 2018; Daou, Rhoads, et al., 2019), Rhoads et al. (2019) troben un esforç més gran al grup que es prepara amb l'expectativa d'ensenyar —però cap diferència de gaudi ni d'utilitat.

Cal tenir en compte que alguns estudis no analitzen la relació entre la motivació i els resultats d'aprenentatge (Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Wang et al., 2021). Dels que ho fan, n'hi ha que no troben que la motivació es correlacioni amb els resultats d'aprenentatge (Kobayashi, 2021; Lim et al., 2021; Renkl, 1995) o, si s'hi correlaciona, la variable no és significativa en una anàlisi de mediació (Guerrero & Wiley, 2021, Experiment 1). Altres estudis sí que reporten que la motivació prediu l'aprenentatge, però el model no mostra diferències entre el grup d'intervenció i el grup de control (Guerrero & Wiley, 2021, Experiment 2; Rhoads et al., 2019). En experiments futurs, caldrà reconsiderar el moment en què es prenen aquestes mesures (Fiorella & Mayer, 2013, 2014), així com els instruments que s'usen (Guerrero & Wiley, 2021).

Hi ha estudis que mesuren l'autoeficàcia per a controlar que no hi hagi diferències de partida entre els grups (Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Lim et al., 2021) o que no es correlacioni amb els resultats d'aprenentatge finals (Lim et al., 2021). En canvi, Hoogerheide et al. (2014) analitzen si l'autoeficàcia varia entre els diferents moments de l'experiment (i. e., pretest, posttest immediat i posttest diferit). Els autors no troben que l'expectativa d'ensenyar afecti l'autoeficàcia. Hoogerheide et al. (2014) mesuren també la percepció de competència. En un primer experiment amb estudiants de secundària, troben que el fet de dir-los que hauran d'estudiar el material amb l'expectativa d'ensenyar, en comparació del grup de control, genera nivells més baixos de percepció de competència quan acaben el pretest, abans d'estudiar el material. Després d'estudiar-lo, però, no hi ha diferències entre les dues condicions. En un segon experiment amb estudiants universitaris, els autors no diuen abans del pretest a quina condició seran assignats els estudiants. Després de la tasca d'aprenentatge, no hi ha diferències significatives entre el grup que prepara el material amb l'expectativa d'ensenyar i el grup de control.

Alguns estudis han atribuït el nivell més alt de motivació a la voluntat d'evitar la situació de no saber respondre i semblar incompetent davant del destinatari (Allen & Feldman, 1973; Benware & Deci, 1984). Mentre que alguns experiments no troben diferències d'estrès (Fiorella & Mayer, 2013, 2014, Experiment 2;

Guerrero & Wiley, 2021, Experiment 2), Fiorella i Mayer (2014, Experiment 1) i Guerrero i Wiley (2021, Experiment 1) troben un nivell més alt d'estrès per part dels estudiants que preparen el contingut amb l'expectativa d'ensenyar, en comparació dels que el preparen per a un test. En la mateixa línia, Van Brussel et al. (2021) mostren que el nivell de calma és més baix que al grup de control. No obstant això, cap dels tres estudis no analitza la possible mediació d'aquesta variable en els resultats d'aprenentatge. Tot i que les diferències entre grups de Renkl (1995) no són significatives, l'anàlisi de mediació mostra que, independentment del grup, la preocupació afecta negativament els resultats d'aprenentatge. En el cas de l'aprenentatge d'habilitats motrius, els estudis no mostren diferències quant a la sensació de pressió dels participants (Daou, Buchanan, et al., 2016; Daou, Lohse, & Miller, 2016, 2018; Daou, Rhoads, et al., 2019; Rhoads et al., 2019). Cal tenir en compte que la representació del rol d'ensenyant pot jugar un paper important en l'estrès i la preocupació. Segons Galbraith i Winterbottom (2011), sembla que, a mesura que avancen les sessions, les representacions inicials del rol de tutor progressen des d'una visió autoritària cap a una de més dialògica, fet que podria reduir aquesta preocupació (Galbraith & Winterbottom, 2011; King, 2002).

Quant a la cognició, els autors afirmen que l'expectativa d'ensenyar altera els processos cognitius i duu a revisar el contingut, a organitzar-lo per a la seva presentació i a identificar-ne l'estructura bàsica (e. g., Duran, 2016; Fiorella & Mayer, 2014). En primer lloc, sembla que l'expectativa d'ensenyar pot dur els estudiants a dedicar més temps a revisar el material (Daou, Lohse, & Miller, 2016; Renkl, 1995). Tot i això, en aquests dos estudis el temps de preparació del material no prediu significativament els resultats d'aprenentatge.

En segon lloc, sembla que l'expectativa d'ensenyar duu els estudiants a tenir en compte un major nombre d'idees durant la tasca (Muis et al., 2016), especialment d'idees rellevants (Guerrero & Wiley, 2021). Tot i que l'estudi de Van Brussel et al. (2021) no troba diferències de completesa ni de correcció entre l'expectativa d'ensenyar i un grup de control, la interpretació dels resultats per part dels autors suggereix que s'avança als participants que després de la preparació no hi haurà moment d'ensenyament, fet que en podria limitar el potencial d'aprenentatge. Als dos experiments de Guerrero i Wiley (2021), el nombre d'anotacions d'idees rellevants es correlaciona amb els resultats d'aprenentatge, però la variable no és significativa en una anàlisi de mediació.

En tercer lloc, alguns estudis troben una millor organització del contingut (Muis et al., 2016; Nestojko et al., 2014, Experiment 1), mentre que d'altres no troben diferències (Allen & Feldman, 1973; Guerrero & Wiley, 2021, Experiments 1 i 2). Cap dels dos estudis que troben diferències d'organització no examina si aquestes diferències prediuen els resultats d'aprenentatge. Dels que no troben diferències, només Guerrero i Wiley (2021, Experiments 1 i 2) analitzen i reporten que el grau d'organització de les anotacions dels estudiants prediu els resultats d'aprenentatge, independentment del grup.

En quart lloc, alguns estudis recullen mesures diverses referents a la metacognició. Sembla que l'expectativa d'ensenyar afavoreix l'ús d'estratègies metacognitives, que es correlacionen amb els resultats d'aprenentatge (Muis et al., 2016). L'efecte de l'expectativa d'ensenyar sobre l'aprenentatge és moderat per l'orientació de l'ensenyant vers l'ús d'aquestes estratègies (Fukaya, 2013a). No obstant això, l'expectativa d'ensenyar no sembla afavorir la precisió de la metacomprensió, és a dir, el grau d'exactitud del judici que un mateix fa sobre la pròpia comprensió d'un contingut —en anglès, *metacomprehension accuracy*— (Fukaya, 2013b, Experiments 1 i 2). En aprenentatge motriu, el temps de preparació abans de dur a terme el moviment s'analitza com a indicador del processament d'informació. Daou, Lohse i Miller (2016) reporten que el temps de preparació abans de cada cop de golf és superior en el cas del grup que es prepara amb l'expectativa d'ensenyar. Tanmateix, aquests resultats no són replicats en un estudi posterior, i una anàlisi cumulativa d'estudis indica que aquesta variable no explica els beneficis d'aprenentatge (Daou, Rhoads, et al., 2019). En altres estudis posteriors, no es detecten diferències d'activitat cerebral (Daou, Lohse, & Miller, 2018) ni d'autoconsciència del moviment —tot i que aquesta variable sembla predir els resultats d'aprenentatge als dos grups— (Daou, Hutchison, et al., 2019).

En cinquè lloc, els estudis sobre aprenentatge motriu plantegen la hipòtesi que els resultats poden atribuir-se en part al coneixement declaratiu sobre com s'ha d'executar el moviment. Els estudis mostren que l'expectativa d'ensenyar afavoreix el record de les idees més rellevants (Daou, Buchanan, et al., 2016; Daou, Lohse, & Miller, 2016, 2018; Daou, Rhoads, et al., 2019; Guerrero & Wiley, 2021, Experiments 1 i 2; Nestojko et al., 2014, Experiments 1 i 2), excepte a l'estudi de Daou, Hutchison, et al. (2019). No obstant això, aquesta variable no sembla predir significativament els resultats d'aprenentatge motriu, que en

aquest cas es mesuren a partir de la precisió dels cops de golf (Daou, Buchanan, et al., 2016; Daou, Hutchison, et al., 2019).

En sisè lloc, alguns estudis recullen dades sobre la càrrega cognitiva. Ho fan principalment a través de mesures reportades pels participants, com ara l'esforç mental (Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2016, Experiment 2; Kobayashi, 2021) o la dificultat subjectiva (Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Kobayashi, 2021; Wang et al., 2021).⁴ Només Daou, Lohse i Miller (2018), centrant-se en l'aprenentatge motriu, recorren a una mesura fisiològica (i. e., la potència theta a la línia mitjana frontal del cervell) com a indicador de la quantitat d'informació processada a la memòria de treball, però no troben diferències entre grups —ni tampoc en la resta de mesures d'activitat cerebral, tal com hem assenyalat.

Abans d'interpretar els resultats dels estudis que fan servir mesures autoreportades, cal tenir en compte que una revisió de les mesures d'esforç mental a l'àrea de psicologia de l'educació suggereix que podrien ser esbiaixades (Scheiter et al., 2020). Només un dels estudis sobre aprendre preparant-se per a ensenyar analitza si hi ha correlació entre la càrrega cognitiva i els resultats d'aprenentatge, amb resultats nuls (Kobayashi, 2021). No sembla que hi hagi diferències de percepció de càrrega cognitiva entre preparar el material en col·laboració amb altres persones i fer-ho individualment (Kobayashi, 2021). En comparació de grups de control que estudien el material per a un examen, la majoria d'estudis no troben tampoc diferències de càrrega cognitiva (Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2016, Experiment 2; Kobayashi, 2021). Només dos estudis troben diferències significatives, en sentits oposats: Fiorella i Mayer (2014, Experiment 1) reporten més esforç per part dels que es preparen per a ensenyar, mentre que Wang et al. (2021) reporten que l'expectativa d'ensenyar podria reduir la dificultat subjectiva. No obstant això, l'estudi de Wang et al. (2021) també mostra que una preparació profunda del material —imaginant mentalment l'activitat d'ensenyament després de preparar el contingut— resulta més difícil que limitar-se a preparar-lo. Els autors recorren a aquests resultats per a interpretar per què imaginar com serà la sessió

⁴ Dos articles mesuren l'esforç mental no només durant la tasca d'aprenentatge, sinó també en el moment de fer els tests (Hoogerheide et al., 2016; Hoogerheide et al., 2014). En aprenentatge motriu, Daou, Hutchison, et al. (2019) intenten mesurar la capacitat de la memòria de treball a través de l'instrument de Foster et al. (2015), però ho descarten a causa de problemes durant la recollida de dades.

d'ensenyament només resulta més motivador quan abans el material es prepara sense l'expectativa d'ensenyar-lo. Fan la hipòtesi que la consciència de la dificultat i complexitat d'ensenyar, que pot generar ansietat i estrès, pot reduir-ne els efectes sobre la motivació. Aquesta interpretació es trobaria en línia amb la correlació negativa que Renkl (1995) troba en una situació d'expectativa d'ensenyar entre la motivació intrínseca i la preocupació i ansietat.

La majoria d'experiments sobre *aprensenyar* no donen orientacions a l'ensenyant sobre com ha de preparar el material. En canvi, els estudis sobre tutoria entre iguals que tenen lloc en contextos naturals intenten garantir una bona preparació del material per part del tutor (e. g., De Backer et al., 2015b; Galbraith & Winterbottom, 2011). Per exemple, Galbraith i Winterbottom (2011) aconsellen als estudiants que, abans de la sessió, preparin preguntes que podran fer als tutorats, i els ofereixen criteris de bones preguntes (Graesser & Person, 1994) i una llista de possibles formes de començar-les (King, 2002). A més, els orienten a generar explicacions elaborades com a resposta a les preguntes dels tutorats, seguint les recomanacions de De Guerrero i Villamil (2000). Els autors analitzen la percepció dels estudiants tutors, recollida a partir de wikis i d'entrevistes semiestructurades. Un element important que destaquen els tutors és l'anticipació del que podria passar a la interacció amb el tutorat, a través d'un discurs imaginat en què assagen mentalment l'explicació i les preguntes que faran i rebran.

Alguns autors han explorat l'estimulació d'aquesta mena de discurs imaginat en situacions d'*aprensenyar*. Després d'estudiar el material, Wang et al. (2021) proposen als estudiants que dediquin una estona a imaginar mentalment com l'explicarien a un company. Un segon grup d'estudiants l'ensenyava a un company cara a cara, en una situació de tutoria entre iguals. I un grup de control segueix estudiant el material. Els dos grups d'intervenció superen el grup de control en un test de comprensió immediatament després de la tasca, però només el grup que imagina mentalment l'explicació obté diferències significatives respecte al grup de control en un posttest diferit, al cap d'una setmana. No troben diferències entre els dos grups d'intervenció. Per la seva banda, Lim et al. (2021) proposen la tècnica d'ensenyament en silenci —en anglès, *silent teaching*—, en què els estudiants no només han d'imaginar mentalment l'explicació, sinó que han d'elaborar un guió en què transcriuen textualment el que dirien per a ensenyar el contingut a algú altre. Els resultats mostren que ensenyar en silenci supera un grup de control que estudia el material, tant en el nombre

d'elaboracions com en un posttest diferit. Aquest estudi també compara el grau de presència social entre el grup que fa el guió detallat amb l'expectativa d'ensenyar i el grup de control, a través del nombre de pronoms personals al guió i a les notes d'estudi, respectivament. Els resultats mostren una major presència social al grup que fa l'ensenyament en silenci.

Wang et al. (2021) i Lim et al. (2021) no conceptualitzen aquestes pràctiques com a situacions d'expectativa d'ensenyar, sinó com a situacions d'*aprensensyar* no interactives. No obstant això, el fet que no es generi un material didàctic pensat per a ser directament usable per part del destinatari ens duu a considerar-les formes elaborades de preparar el material amb l'expectativa d'ensenyar. L'estudi de Lim et al. (2021) se situaria al límit entre preparar-se per a ensenyar i ensenyar de forma indirecta, ja que es tracta d'una transcripció textual del que els estudiants dirien a l'hora d'exposar el contingut. Potser l'absència o presència d'aquesta mena de discurs imaginat marca la diferència entre una preparació superficial o profunda del contingut, tenint en compte l'efecte de les estratègies d'imaginació sobre l'aprenentatge, més enllà de les situacions d'*aprensensyar* (e. g., Fiorella & Mayer, 2016; Leopold & Mayer, 2015; Wang et al., 2021).

1.3.2. **Aprendre exposant sense intervenció verbal de l'audiència**

1.3.2.1. *Les evidències d'efectivitat sobre l'aprenentatge*

Les primeres evidències que es pot aprendre exposant, és a dir, aprendre presentant el contingut sense intervenció verbal de l'audiència, provenen també de la tutoria entre iguals (Annis, 1983). Tal com assenyala Duran (2017), tot i que Annis (1983) indica que la interacció amb el tutorat és un factor clau en l'aprenentatge del tutor, el seu estudi se centra en l'exposició del contingut, sense intervenció verbal del tutorat.

En comparació de grups de control —com ara estudiar el material per a un examen, resumir-lo, repetir-lo en veu alta o escoltar passivament una exposició—, sembla que exposar el material és més beneficiós per a l'aprenentatge, tant si es fa de forma directa —cara a cara (Annis, 1983; Coleman et al., 1997; Pi et al., 2021; Rittle-Johnson et al., 2008) o en una videotrucada (Pi, Liu, et al., 2022)— com si es fa de forma indirecta (e. g., Cheng et al., 2023; Lachner et al., 2021, Meta-anàlisi; Pi, Liu, et al., 2022). En comparació de fer autoexplicacions, alguns estudis reporten beneficis per al grup que aprèn

exposant davant d'algú altre (Cheng et al., 2023; Coleman et al., 1997; Rittle-Johnson et al., 2008), mentre que un no troba diferències (Pi et al., 2021), i un altre fins i tot en troba a favor de l'autoexplicació (Pi, Zhang, et al., 2022).

Avançàvem a l'apartat anterior sobre aprendre preparant-se per a ensenyar que la interactivitat esperada en modera l'efecte (Kobayashi, 2019a). Alhora, la interactivitat real modera l'efecte d'*aprensensyar*: ensenyar cara a cara sembla millor que fer-ho de forma indirecta, almenys quan l'ensenyament és precedit per una fase prèvia de preparació del material. Cal interpretar aquests resultats amb certa precaució, ja que Kobayashi (2019b) inclou situacions diferents dins del grup d'intervencions d'ensenyament directe: dues situacions d'exposició en què l'audiència no intervé verbalment (Annis, 1983; Coleman et al., 1997), una situació d'explicació en què l'audiència pot intervenir de forma limitada, oferint feedback (Ito & Kakihana, 2009), i una situació oberta d'ensenyament, en què no es condiciona el grau d'interacció amb l'audiència (Ehly et al., 1987). Les situacions sense intervenció verbal de l'audiència correspondrien a aquesta segona situació primària d'*aprensensyar* (i. e., aprendre exposant), mentre que les dues últimes formarien part de la situació primària d'aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència. Un estudi posterior de Cheng et al. (2023, Experiment 2) també indica que cal interpretar amb prudència els resultats de Kobayashi (2019b) referents a la interactivitat real. Els autors comparen tres grups d'intervenció: exposar a través de l'enregistrament d'un vídeo, exposar cara a cara i exposar a través d'una videotrucada. Als dos últims grups, l'audiència és present durant l'exposició, però no intervé. En un test de transferència, el grup que exposa en vídeo obté millors resultats que els altres dos grups. Reprendrem la discussió sobre la interactivitat més endavant, a l'apartat referent a la tercera situació primària d'*aprensensyar*.

En comparar els resultats d'aprenentatge que genera l'expectativa d'ensenyar amb els que genera el fet d'exposar el contingut, hi ha estudis que no troben diferències (Fukaya, 2013b; Hoogerheide et al., 2016, Experiment 1; Rhoads et al., 2019; Van Brussel et al., 2021), però d'altres mostren que la fase d'exposició és més beneficiosa que la fase de preparació del material (Annis, 1983; Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2014). És el que suggereix la meta-anàlisi de Kobayashi (2019b), que troba un efecte més gran quan es prepara i s'ensenyà el material ($g = 0,56$), en comparació de quan només es prepara amb l'expectativa d'ensenyar-lo ($g = 0,35$).

En una revisió sobre *aprensensyar* de forma no interactiva, Lachner et al. (2022) identifiquen algunes variables que poden condicionar l'efecte d'aprendre exposant. Es tracta de variables referents a les característiques individuals de l'ensenyant —els coneixements previs i les creences sobre la pròpia habilitat— i a les característiques de la tasca —la modalitat, la preparació del material amb l'expectativa d'ensenyar, les característiques dels materials d'estudi, la presència social induïda i el moment en què es fa l'exposició.

Quant a les característiques individuals de l'ensenyant, només n'hi ha algunes evidències preliminars. D'acord amb Lachner et al. (2022), sembla que es requereix un nivell mínim de coneixements previs per tal de generar una exposició de qualitat i aprofitar-ne el potencial d'aprenentatge (Lachner et al., 2020, Experiment 1; Lachner et al., 2021). Si aquesta condició es compleix, l'estudi de Hoogerheide, Renkl, et al. (2019) suggereix que exposar podria ser especialment beneficiós per a estudiants amb un nivell baix de coneixements previs, ja que en aquest estudi la intervenció va eliminar la relació entre el nivell de coneixements previs i els resultats d'aprenentatge en un test de transferència, a diferència d'un grup de control.⁵ Malgrat que els resultats de Hoogerheide, Renkl, et al. (2019) són prometedors, un estudi posterior no els replica (Jacob et al., 2022).

A part dels coneixements previs, alguns estudis analitzen les creences dels estudiants sobre la pròpia habilitat (i. e., l'autoconcepte, la percepció de competència i l'autoeficàcia) en situacions d'aprendre exposant. Quant a l'autoconcepte, Jacob et al. (2022) troben que modera l'efecte de generar exposicions: mentre que els estudiants amb un autoconcepte baix es beneficien més de generar exposicions que d'evocar el contingut a la situació de control, passa el contrari amb aquells que tenen un autoconcepte alt. En altres paraules, els resultats suggereixen que exposar pot ser especialment beneficiós per als estudiants amb un autoconcepte baix (Jacob et al., 2022).

⁵ D'entre els estudis d'aprendre exposant que reporten l'efecte dels coneixements previs com a covariable, alguns troben que un nivell més alt de coneixements previs prediu una puntuació més elevada al posttest (Hoogerheide et al., 2016, Experiments 1 i 2; Hoogerheide, Renkl, et al., 2019; Jacob et al. 2021), mentre que d'altres no troben aquesta associació (Fiorella & Kuhlmann, 2020; Hoogerheide et al., 2016, Experiment 2; Jacob et al., 2022; Koh et al., 2018; Lachner & Neuburg, 2019; Lim et al., 2021). En alguns casos, els resultats són diferents en funció de si es mesura l'aprenentatge o la transferència del coneixement (Hoogerheide et al., 2016, Experiment 2; Hoogerheide, Renkl, et al., 2019).

En el cas de la percepció de competència, ja hem vist a l'apartat referent a aprendre preparant-se per a ensenyar que l'expectativa d'ensenyar pot generar nivells més baixos de percepció de competència quan els estudiants acaben el pretest, just abans d'estudiar el material, però no hi ha diferències entre grups després d'estudiar-lo (Hoogerheide et al., 2014, Experiment 1). Al segon experiment, els autors no diuen abans del pretest a quina condició seran assignats els estudiants. Després de la tasca d'aprenentatge, els resultats suggereixen que enregistrar una exposició oral a través d'una càmera web redueix la percepció de competència en comparació d'una situació que es limita a l'expectativa d'ensenyar, però no en comparació d'estudiar per a un test (Hoogerheide et al., 2014, Experiment 2). Els autors plantegen dues hipòtesis temptatives: la possibilitat que una activitat generativa, com ara fer una exposició, faci que els estudiants s'adonin de la dificultat del material, o la possibilitat que la novetat de la tasca d'enregistrar un vídeo influeixi en els resultats. No obstant això, en un estudi posterior, els resultats de Hoogerheide et al. (2016, Experiment 2) no mostren que exposar el contingut en un vídeo redueixi la percepció de competència en comparació d'un grup de control i d'un grup que exposa el contingut per escrit. Els dos articles reporten un descens de la percepció de competència entre el posttest immediat i el posttest diferit (Hoogerheide et al., 2016, Experiment 2; Hoogerheide et al., 2014, Experiments 1 i 2).

Pel que fa a l'autoeficàcia, tal com hem avançat a l'apartat referent a l'expectativa d'ensenyar, alguns estudis la mesuren per a controlar que no hi hagi diferències de partida entre els grups (Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Jacob et al., 2021, 2022; Lim et al., 2021) o que no es correlacioni amb els resultats d'aprenentatge finals (Lim et al., 2021). En canvi, Hoogerheide et al. (2014) analitzen si l'autoeficàcia varia entre els diferents moments de l'experiment (i. e., pretest, posttest immediat i posttest diferit). Igual que en el cas de preparar-se per a ensenyar, els autors no troben que el fet de generar una exposició afecti l'autoeficàcia. Als dos experiments, l'autoeficàcia disminueix entre el posttest immediat i el posttest diferit que es fa al cap de quatre dies. Cal assenyalar que Hoogerheide et al. (2014) analitzen situacions d'*aprensensyar* indirectes. Potser els resultats serien diferents si s'examinés una situació d'*aprensensyar* directa, tenint en compte que l'agraïment o aprovació del destinatari podria incrementar l'autoeficàcia de l'ensenyant (Rienovita et al., 2018). Caldrà continuar explorant

quin és el paper d'aquesta mena de creences en situacions d'*aprensenyar* (Lachner et al., 2022).

Centrant-nos ara en les característiques de la tasca, dues de les variables —la modalitat i la preparació del material amb l'expectativa d'ensenyar— compten amb evidències prou sòlides, mentre que les altres es troben en estadis preliminars. Pel que fa a la modalitat, la meta-anàlisi de Lachner et al. (2021) indica que la modalitat de l'exposició en ensenyar de forma no interactiva modera els resultats d'aprenentatge, amb millors resultats per a la modalitat oral que per a la modalitat escrita. De fet, sembla que la modalitat escrita no genera millors resultats d'aprenentatge en comparació de grups de control (Lachner et al., 2021) —només un estudi n'ha trobat un efecte positiu fins ara (Jacob et al., 2020). Cal assenyalar que també Lim et al. (2021) troben un efecte positiu de la tècnica d'ensenyament en silenci, en què els participants transcriuen com s'imaginen que seria l'exposició oral —i no troben diferències entre aquest grup i un que exposa el material oralment. Pel que fa a la preparació del material amb l'expectativa d'ensenyar, d'acord amb Lachner et al. (2022), sembla que pot ser un requisit per a aprofitar millor les oportunitats d'aprenentatge a la fase d'ensenyament (Fiorella & Mayer, 2014; Kobayashi, 2019a), tot i que alguns estudis no repliquen aquest efecte (Hoogerheide et al., 2016; Hoogerheide et al., 2014; Rhoads et al., 2019; Wang et al., 2021).

Quant a la resta de variables referents a la tasca, d'acord amb Lachner et al. (2022), cal assenyalar el següent. Respecte a les característiques del material d'estudi, aprendre exposant pot ser especialment beneficiós en el cas de materials complexos (Jacob et al., 2020), i cal continuar explorant si els resultats es repliquen en continguts procedimentals i motrius. Respecte a la presència social induïda, cal continuar investigant-ne també els efectes, ja que la relació amb els resultats d'aprenentatge podria no ser lineal. Jacob et al. (2021) no troben que induir presència social millori els resultats d'aprenentatge, i Cheng et al. (2023, Experiment 2) reporten millors resultats d'aprenentatge en el cas del grup que exposa en vídeo, en comparació dels dos grups en què el destinatari és present durant l'exposició —cara a cara o a través d'una videotrucada. En línia amb Cheng et al. (2023), alguns resultats preliminars també suggereixen que nivells massa elevats de presència social poden ser perjudicials per a l'aprenentatge (Lachner et al., 2022). Respecte al moment en què es fa l'exposició, sembla que exposar al mig del procés d'estudi, en lloc de fer-ho al final, genera millors resultats d'aprenentatge (Lachner et al., 2020).

1.3.2.2. El perquè de l'efectivitat

Els estudis sobre *aprensenyar* de forma no interactiva han generat tres hipòtesis per a explicar-ne l'efectivitat: la hipòtesi de l'evocació, la hipòtesi de l'aprenentatge generatiu i la hipòtesi de la presència social (Lacher et al., 2022). La hipòtesi de l'evocació planteja que l'efecte d'*aprensenyar* es deu al fet que els estudiants han de recuperar la informació de la memòria quan expliquen (Koh et al., 2018). Per contra, la hipòtesi de l'aprenentatge generatiu planteja que l'efecte d'*aprensenyar* no es limita a l'efecte de l'evocació, sinó que en *aprensenyar* els estudiants aprenen gràcies als processos cognitius i metacognitius que els permeten reconstruir la informació i transformar-la en coneixement (Lachner et al., 2022). Finalment, la hipòtesi de la presència social sorgeix com a extensió de la hipòtesi de l'aprenentatge generatiu, a partir de l'argumentació que la mesura en què els estudiants duen a terme aquests processos generatius depèn de la seva representació mental de l'audiència a qui es dirigeix l'exposició (Lachner et al., 2022). A continuació, revisarem en seccions diferents cadascuna d'aquestes tres hipòtesis.

1.3.2.2.1. La hipòtesi de l'evocació

La pràctica de l'evocació consisteix a recuperar de la memòria informació apresada prèviament, fet que contribueix a recordar-la millor en el futur (Agarwal et al., 2021; Roediger & Butler, 2011). La hipòtesi que l'evocació explica l'efectivitat d'aprendre exposant fou inicialment plantejada per Koh et al. (2018). Els autors comparen quatre situacions: a) un grup d'estudiants que ensenya el contingut sense notes, havent d'evocar-lo; b) un grup d'estudiants que fa una pràctica d'evocació; c) un grup d'estudiants que l'ensenya sense haver d'evocar-lo, a partir de la lectura en veu alta d'un guió escrit, i d) un grup de control. Davant dels resultats d'un test de comprensió, que mostren que els dos primers grups superen significativament els dos últims i que no hi ha diferències entre els dos primers grups, els autors interpreten que l'efecte d'aprendre exposant es deu a l'evocació. No obstant això, tal com assenyalen Lachner et al. (2022), aquest estudi té una limitació important en el disseny de la situació d'aprendre exposant sense evocació, ja que es demana als estudiants que es limitin a llegir en veu alta un guió, fet que no només limita l'evocació, sinó també els processos generatius i probablement la sensació de presència social.

Aquest estudi de Koh et al. (2018) ha donat lloc a altres investigacions que han intentat demostrar que l'efecte d'aprendre exposant no es limita a l'evocació,

tenint en compte aquesta hipòtesi per al disseny acurat dels grups d'intervenció i control (e. g., Lachner et al., 2020; Lim et al., 2021). Kobayashi (2022b) en fa una revisió i planteja els reptes que ha d'afrontar la recerca sobre la hipòtesi de l'evocació com a mecanisme d'*aprensensyar*. Mentre que alguns estudis no han trobat diferències entre ensenyar i evocar el contingut (Hoogerheide et al., 2016, Experiment 1; Jacob et al., 2021, 2022; Lachner et al., 2020, Experiment 1; Sibley et al., 2022), d'altres mostren que ensenyar-lo és millor que evocar-lo (Hoogerheide et al., 2016, Experiment 2; Hoogerheide et al., 2014; Jacob et al., 2020; Lachner et al., 2020, Experiment 2). Kobayashi (2022b) adverteix que les situacions en què es demana als estudiants que evoquin el contingut no sempre aporten el mateix tipus d'informació per a explorar la hipòtesi de l'evocació, ja que aquesta depèn d'una sèrie de mecanismes psicològics sobre els quals no hi ha encara un acord a la comunitat científica. No és clar si els efectes de l'evocació i de l'elaboració poden separar-se totalment (e. g., Lehman et al., 2014) o si bé hem de distingir diferents formes d'evocació en funció del grau d'elaboració que generen (e. g., Carpenter & Yeung, 2017; Endres & Renkl, 2015; Hinze et al., 2013). Al context d'*aprensensyar*, per exemple, Lachner et al. (2020) plantegen grups de control diferents als dos experiments: mentre que al primer experiment demanen als estudiants del grup de control que evoquin el material en veu alta, al segon experiment els ho demanen per escrit, perquè pensen que el fet de fer-ho en veu alta potser havia generat percepció d'audiència.

Per a concloure la revisió, Kobayashi (2022b) assenyala tres línies futures d'investigació que cal que la recerca sobre *aprensensyar* abordi. La primera, continuar comparant l'activitat d'ensenyar —especialment per escrit— amb la de tornar a estudiar el material, tot i que segons l'autor les diferències entre modalitat oral i escrita suggereixen que el mecanisme d'aprendre exposant no es pot reduir a l'evocació. La segona, analitzar les elaboracions que es produeixen no només al grup que ensenya, sinó també al grup que fa una tasca d'evocació, per a examinar si apareixen en proporcions semblants o diferents — a l'únic estudi que ho ha fet fins ara (Lachner et al., 2020, Experiment 1), els autors no troben diferències entre grups. I, finalment, la tercera línia d'investigació hauria d'avaluar la influència del grau d'esforç per a evocar la informació en situacions d'*aprensensyar*.

Sibley⁶ et al. (2022) prenen el testimoni d'aquesta última recomanació de Kobayashi (2022b) i publiquen un article on comparen tres situacions: ensenyar amb accés al material (i. e., *open-book teaching*), ensenyar sense accés al material (i. e., *closed-book teaching*) i tornar a estudiar el material com a grup de control. Els resultats no mostren diferències entre ensenyar i reestudiar en un test de retenció, un test de representació visual del coneixement a través d'un dibuix i un test de transferència. En comparar les dues situacions d'*aprensensyar*, sí que hi ha diferències de retenció del material a favor del grup que ensenya amb accés al material. Aquest grup genera exposicions amb més conceptes i més completes, fet que contribueix a una millor retenció. Basant-se en Kobayashi (2022b), els autors atribueixen el pitjor rendiment del grup que no hi té accés al fracàs en l'evocació, probablement a causa d'una exigència excessiva de la tasca —tal com mostren les mesures de percepció de càrrega cognitiva.

Més enllà de l'àmbit d'*aprensensyar*, hi ha estudis que s'han ocupat d'explorar la combinació d'activitats generatives i evocadores. Waldeyer et al. (2020) exploren si l'accés al material quan es fa la tasca generativa té un impacte en els resultats d'aprenentatge. Els resultats suggereixen que no tenir-hi accés limita lleugerament els processos generatius, però en aquest cas no té un impacte en els resultats (Waldeyer et al., 2020, Experiments 1 i 2), a diferència de Sibley et al. (2022). Al segon experiment, els autors hi introdueixen una nova variant, que permet als estudiants accedir al material quan ho necessiten —combinant *closed-book* i *open-book teaching*—, i els resultats mostren millors resultats d'aprenentatge que en el cas de les dues situacions originals (Waldeyer et al., 2020, Experiment 2). Cal tenir en compte que Roelle i Berthold (2017) reporten que el benefici de combinar activitats generatives i evocadores és més gran quan les tasques són de baixa complexitat, resultats que citen Sibley et al. (2022) a la discussió del seu article. A més, en una investigació posterior, Roelle et al. (2022) troben que és millor fer una tasca d'evocació abans d'una tasca generativa, en lloc de fer-ho en l'ordre invers.

1.3.2.2.2. La hipòtesi de l'aprenentatge generatiu

Aquesta hipòtesi planteja que l'efecte d'*aprensensyar* es deu als processos cognitius i metacognitius que permeten als estudiants reconstruir la informació i transformar-la en coneixement (Lachner et al., 2022). La distinció entre dir el

⁶ A partir de finals del 2022, l'autora Leonie Jacob comença a signar com a Leonie Sibley (<https://orcid.org/0000-0003-2482-5528>).

coneixement i construir-lo en situacions d'*aprensensenyar* parteix dels estudis de Roscoe i Chi (2007, 2008) i Roscoe (2014) sobre el rol de l'estudiant tutor en tutoria entre iguals —distinció que alhora parteix de la que fan Scardamalia i Bereiter (1987) en l'ensenyament de l'escriptura. *Aprensensenyar* es considera una estratègia generativa perquè, en fer una exposició o una explicació, la persona tria la informació més rellevant que hi ha d'incloure, organitza el material en una estructura coherent que l'audiència pugui entendre, i l'elabora i integra als seus coneixements previs (Fiorella & Mayer, 2016). Aquesta hipòtesi disposa de moltes evidències diferents sobre els processos (meta)cognitius implicats a *aprensensenyar* (Fiorella & Mayer, 2016; Lachner et al., 2022). Potser juntament amb l'evocació (Fiorella & Mayer, 2016), aquests processos expliquen per què *aprensensenyar* afecta positivament l'aprenentatge del contingut a llarg termini (e. g., Fiorella & Mayer, 2014; Hoogerheide et al., 2014; Van Blankenstein et al., 2011).

1.3.2.2.1. L'anàlisi dels processos cognitius

Diferents estudis sobre aprendre exposant analitzen les exposicions verbals que generen els estudiants, centrant-se en mesures diverses. Alguns estudis mesuren el nombre d'idees que provenen d'enunciats que apareixen al material d'estudi, per a valorar la completesa de l'exposició i com a indicador de *dir el coneixement* (Cheng et al., 2023; Fiorella & Kuhlmann, 2020; Hoogerheide, Renkl, et al., 2019; Jacob et al., 2022; Kobayashi, 2021; Sibley et al., 2022). En la mateixa línia, es mesura el nombre de conceptes, com a indicador de la riquesa de l'exposició, codificant-los manualment (Jacob et al., 2021; Pi, Liu, et al., 2022) o automàticament amb una eina digital (Jacob et al., 2020, 2022; Sibley et al., 2022), i el nombre de vegades que es diu o parafraseja un fragment del material d'estudi sense connectar-lo amb altres passatges o amb els coneixements previs (Lachner et al., 2020). Finalment, Pi, Zhang, et al. (2022) anomenen fluïdesa l'habilitat de generar idees per a exposar el contingut, i l'avaluen amb una rúbrica.

Hoogerheide, Renkl, et al. (2019) es limiten a fer servir el grau de completesa descriptivament, i reporten que les exposicions dels participants són força completes. Només dos estudis examinen el nombre de conceptes o idees d'exposicions generades en una situació d'aprendre exposant en comparació d'intervencions alternatives. Cheng et al. (2023, Experiment 1) comparen el nombre d'idees entre una situació d'exposar en vídeo i una pràctica

d'autoexplicació, i no troben diferències significatives. Per la seva banda, Lachner et al. (2020, Experiment 1) comparen la proporció de paràfrasis entre exposar en vídeo i una pràctica d'evocació del material en acabar d'estudiar, i en troben una proporció comparable. Tampoc no troben diferències entre els dos grups d'*aprensenyar*: el grup que exposa el contingut al mig del procés d'estudi i el grup que ho fa al final.

La resta d'estudis comparen el nombre de conceptes o idees entre diferents situacions d'*aprensenyar*. A part del moment en què es fa l'exposició (Lachner et al., 2020, Experiment 1), se centren a contrastar la modalitat oral i escrita (Jacob et al., 2020, 2021, 2022), el grau de presència social del destinatari (Cheng et al., 2023, Experiment 2; Pi, Liu, et al., 2022), l'accés o falta d'accés al material d'estudi (Sibley et al., 2022), la preparació individual o en col·laboració (Kobayashi, 2021), el fet de fer o no dibuixos mentre s'exposa oralment (Fiorella & Kuhlmann, 2020), i la comparació i combinació de fer exposicions i autoexplicacions (Pi, Zhang, et al., 2022).

Respecte a la modalitat, els resultats són mixtos. Jacob et al. (2020, 2021) reporten una major quantitat de conceptes a les exposicions orals que a les exposicions escrites. Al segon estudi, les diferències només són significatives quan l'exposició oral es compara amb l'exposició escrita en un xat, però les comparacions d'aquests dos grups respecte a la situació estàndard d'exposició escrita en un programa d'edició de text no són significatives. En un estudi posterior (Jacob et al., 2022), en què les dues modalitats d'exposició es duen a terme mitjançant un xat de missatgeria instantània —a través d'una nota de veu o d'un missatge escrit—, no troben diferències en el nombre de conceptes ni en la completesa. En general, la correlació entre el nombre de conceptes i els resultats d'aprenentatge sembla significativa (Jacob et al., 2021). Tanmateix, una anàlisi per grups mostra que la significació i el coeficient de correlació varien en funció de la modalitat i del tipus de posttest —també en el cas de la completesa— (Jacob et al., 2022). En comparació d'exposar per escrit, una anàlisi de mediació mostra que els millors resultats d'aprenentatge d'un grup que fa exposicions orals es deuen al fet que una percepció de presència social més elevada duu els participants a incloure més conceptes a les exposicions (Jacob et al., 2020). Reprendrem aquests resultats a la secció sobre la hipòtesi de la presència social.

Respecte al grau de presència social del destinatari, Pi, Liu, et al. (2022) plantegen tres grups d'intervenció: un que exposa sense la presència d'un

company, un que ho fa amb la presència d'un company passiu, i un que ho fa amb la presència d'un company que ofereix aprovació no verbal. En aquest estudi, els autors no troben diferències entre els grups quant al nombre de conceptes que apareixen a les exposicions. En canvi, Cheng et al. (2023, Experiment 2) troben un major nombre d'idees al grup que exposa en vídeo, en comparació d'un que exposa cara a cara i d'un altre que ho fa a través d'una videotrucada. Una anàlisi de mediació mostra que hi ha efectes indirectes de la intervenció sobre els resultats de transferència, a través del nombre d'idees.

Pel que fa a l'accés al material d'estudi, Sibley et al. (2022) troben exposicions més completes i riques (i. e., un major nombre d'idees i conceptes) al grup que ensenya amb accés al material, en comparació del grup que ho fa sense tenir-hi accés. Una anàlisi de mediació mostra que aquestes diferències expliquen parcialment els millors resultats d'aprenentatge del grup que ensenya amb accés al material. Quant a la preparació individual o en col·laboració, els resultats de Kobayashi (2021) no mostren diferències de completesa. En aquest estudi, una anàlisi de regressió mostra que la completesa no prediu els resultats d'aprenentatge. En referència al fet de dibuixar mentre s'exposa, Fiorella i Kuhlmann (2020) no troben diferències en el nombre d'idees entre el grup que fa dibuixos mentre exposa el contingut oralment i el grup que només l'exposa oralment sense dibuixar. En aquest estudi, la completesa de les exposicions no es correlaciona amb els resultats d'aprenentatge. En referència a la comparació i combinació de fer exposicions i autoexplicacions, Pi, Zhang, et al. (2022) no troben diferències del que anomenen fluïdesa (i. e., l'habilitat de generar idees per a exposar el contingut) entre els quatre grups que analitzen.

Una segona mesura que fan servir els estudis com a indicador dels processos cognitius és el nombre d'elaboracions. En aquest cas, es fa servir concretament com a indicador de *construir el coneixement* (Fiorella & Kuhlmann, 2020). Les elaboracions són idees que no apareixen al material d'estudi, com ara exemples, analogies o experiències pròpies de l'estudiant que genera l'exposició (Cheng et al., 2023; Jacob et al., 2020, 2021, 2022; Lachner et al., 2018; Sibley et al., 2022). Per la seva banda, dos estudis analitzen conceptes propers a l'elaboració: Pi, Zhang, et al. (2022) avaluen amb una rúbrica el que anomenen elaboració i originalitat, definides com l'habilitat de desenvolupar idees amb detalls per a donar-hi suport i la inserció d'un nou tema o motivació per a explicar el contingut, respectivament; Rittle-Johnson et al. (2008), en un estudi amb infants de 4 i 5 anys d'edat sobre la resolució de problemes matemàtics de patrons,

analitzen la qualitat de les explicacions en funció de si fan referència o no a un mínim de dos elements del patró per a justificar la resposta.

Quatre estudis comparen la proporció d'elaboracions entre una situació d'aprendre exposant i una situació de control. Lachner et al. (2020, Experiment 1) la comparen amb una pràctica d'evocació del material en acabar d'estudiar, i no troben diferències —tampoc no en troben entre els dos grups d'aprendre exposant. En canvi, en comparació d'un grup de control que reestudia el material, Lim et al. (2021) troben una major proporció d'elaboracions als grups d'*aprensenyar* —tant al grup que exposa el contingut en un vídeo, com al grup que prepara un guió detallat del que exposaria, tal com hem avançat a l'apartat anterior sobre aprendre preparant-se per a ensenyar. També Cheng et al. (2023, Experiment 1) troben un major nombre d'elaboracions al grup d'aprendre exposant, en comparació del que fa autoexplicacions. No obstant això, cap dels tres estudis anteriors no examina la relació entre les elaboracions i els resultats d'aprenentatge (Cheng et al., 2023, Experiment 1; Lachner et al., 2020, Experiment 1; Lim et al., 2021). Per la seva banda, Rittle-Johnson et al. (2008) reporten que la qualitat de les explicacions prediu els resultats del posttest, però les diferències de qualitat entre el grup que exposa la solució a la mare i el que fa autoexplicacions no arriben a ser significatives.

Quant als estudis que contrasten diferents situacions d'aprendre exposant, a part del moment en què es fa l'exposició (Lachner et al., 2020, Experiment 1), analitzen la modalitat de les exposicions (Jacob et al., 2020, 2021, 2022; Lachner et al., 2018), el grau de presència social del destinatari (Cheng et al., 2023, Experiment 2), l'accés al material d'estudi (Sibley et al., 2022), el fet de fer dibuixos mentre s'exposa oralment (Fiorella & Kuhlmann, 2020), i la comparació i combinació d'exposar i fer autoexplicacions (Pi, Liu, et al., 2022).

Pel que fa a la modalitat, tres estudis comparen el nombre d'elaboracions entre exposicions orals i escrites, amb resultats mixtos. Jacob et al. (2020, 2022) no troben diferències, mentre que Lachner et al. (2018) troben més elaboracions a les exposicions orals que a les escrites. Jacob et al. (2021) també reporten aquesta diferència en comparar exposicions orals amb exposicions escrites en un xat, però les comparacions respecte a l'altra condició estàndard d'escriptura no són significatives. En general, la correlació entre el nombre d'elaboracions i els resultats d'aprenentatge sembla significativa (Jacob et al., 2021). No obstant això, igual que en el cas de la completesa i el nombre de conceptes, una anàlisi

per grups mostra que la significació i el coeficient de correlació varien en funció de la modalitat i del tipus de posttest (Jacob et al., 2022). Una anàlisi de mediació mostra que el nombre d'elaboracions explica en part els millors resultats en un test de transferència del grup que exposa oralment, en comparació del que ho fa per escrit (Lachner et al., 2018).

Quant al grau de presència social del destinatari, Cheng et al. (2023, Experiment 2) no troben diferències en el nombre d'elaboracions entre un grup que exposa en vídeo, un que ho fa cara a cara i un que ho fa a través d'una videotrucada. Pel que fa a l'accés al material d'estudi, Sibley et al. (2022) no troben diferències significatives en el nombre d'elaboracions entre el grup que ensenya amb el llibre obert i el que ho fa amb el llibre tancat. En referència al fet de dibuixar mentre s'exposa, Fiorella i Kuhlmann (2020) sí que troben diferències en el nombre d'elaboracions entre el grup que només exposa oralment i el que a més dibuixa mentre fa l'exposició, a favor d'aquest últim grup —que també obté millors resultats d'aprenentatge. En aquest estudi, el nombre d'elaboracions s'associa positivament amb els resultats d'aprenentatge, i els millors resultats del grup que dibuixa i exposa oralment es deuen en part al major nombre d'elaboracions. Pel que fa a la comparació i combinació d'exposar i fer autoexplicacions, Pi, Zhang, et al. (2022) comparen quatre grups: un que genera autoexplicacions, un que genera exposicions per a altres persones, i dos grups que fan les dues activitats en un ordre o en l'altre. Aquests dos últims grups obtenen puntuacions d'elaboració superiors a les del grup que genera exposicions per a altres persones. Cap de les comparacions respecte al grup que només genera autoexplicacions no és significativa. En el cas de l'originalitat, no hi ha diferències entre els quatre grups.

Una tercera mesura que fan servir els estudis com a indicador dels processos cognitius és l'organització de les exposicions. Lachner et al. (2018) analitzen exposicions orals i escrites a partir de quatre dimensions de Nückles et al. (2009): l'estructura global (i. e., l'organització general del text), la distinció entre idees rellevants i irrellevants (i. e., la selecció de les idees principals), la coherència (i. e., l'ordre lògic de les idees) i la cohesió local (i. e., la connexió entre oracions adjacents del text). Tal com hem comentat al paràgraf anterior, els autors reporten més elaboracions i millor transferència de coneixement en el cas del grup que fa exposicions orals, però també troben que les exposicions orals són menys organitzades que les escrites. Segons l'estudi, una més bona organització de l'exposició contribueix a obtenir millors resultats en un test de coneixement

conceptual. No obstant això, les diferències entre els grups oral i escrit en aquest test no són significatives, perquè exposar per escrit devia generar també altres processos en detriment de l'aprenentatge conceptual, que contrarestarien l'efecte d'una millor organització.

En un estudi sobre exposicions escrites, d'entre les quatre dimensions de Nückles et al. (2009), Lachner i Neuburg (2019) se centren en la cohesió global i local de les exposicions. Analitzen l'efecte de mapes conceptuais generats per l'ordinador com a feedback per a millorar la cohesió de les exposicions escrites que fan els estudiants. Els resultats mostren que, en comparació d'un grup de control que revisa el text sense feedback, el grup que el revisa amb el mapa conceptual obté millors puntuacions en un test de transferència. Els dos grups milloren en una mesura semblant la cohesió local (i. e., la connexió entre oracions adjacents del text), però el grup que rep el feedback millora en major mesura la cohesió global (i. e., l'organització general del text), en comparació del grup de control. Una anàlisi de mediació mostra que aquestes diferències en la cohesió global expliquen parcialment els millors resultats en un posttest de transferència per part del grup que rep feedback a través del mapa conceptual.

En un estudi sobre exposicions orals, Lachner et al. (2020) fan servir com a indicador de l'organització el nombre d'inferències en què l'estudiant connecta diferents passatges del material d'estudi. Igual que en els conceptes i les elaboracions, Lachner et al. (2020, Experiment 1) no troben diferències d'organització entre les tres condicions que analitzen: exposar el contingut al mig del procés d'estudi, fer-ho al final o evocar-lo en acabar d'estudiar.

Per la seva banda, Pi, Zhang, et al. (2022) fan servir una rúbrica per tal d'avaluar l'organització global de les exposicions, definida com una organització lògica i coherent del contingut. Igual que en el cas de l'elaboració, els dos grups que combinen les dues activitats d'aprenentatge (i. e., fer exposicions i autoexplicacions, en un ordre o en l'altre) obtenen puntuacions d'elaboració superiors a les del grup que només genera exposicions per a altres persones. Cap de les comparacions respecte al grup que només genera autoexplicacions no és significativa.

Una quarta mesura que fan servir els estudis com a indicador dels processos cognitius és el grau de correcció o precisió de les exposicions. Alguns l'analitzen mitjançant diferents nivells de correcció per al conjunt de l'exposició (Kobayashi, 2021; Van Brussel et al., 2021) o per a cada idea (Hoogerheide,

Renkl, et al., 2019; Jacob et al., 2022). Un altre estudi compta el nombre d'idees errònies (Pi, Liu, et al., 2022). Excepte Hoogerheide, Renkl, et al. (2019), que analitzen el grau de correcció descriptivament —amb un resultat molt positiu—, els estudis fan servir aquesta mesura per a comparar diferents situacions d'*aprensensyar*. Sembla que, pel que fa a la correcció, generar una exposició pot ser millor que només preparar-la amb l'expectativa d'ensenyar (Van Brussel et al., 2021), i preparar-la en col·laboració pot ser millor que fer-ho individualment (Kobayashi, 2021). En aquest últim estudi, Kobayashi (2021) no troba diferències de qualitat en les afirmacions conceptuals, però sí en la interpretació d'uns resultats que els participants llegeixen al material d'estudi, a favor del grup que el prepara en col·laboració. A més, la qualitat d'aquestes interpretacions prediu els resultats en un posttest d'inferència i de transferència. En canvi, no sembla que hi hagi diferències de correcció entre modalitat oral i escrita (Jacob et al., 2022). En aquest estudi, els autors reporten que, a les dues modalitats, el grau de correcció es correlaciona amb els resultats del test de transferència —i, en el cas de la modalitat escrita, també amb els del test conceptual. Tampoc no hi ha diferències de correcció entre exposar amb o sense la presència d'un company —encara que aquest ofereixi aprovació no verbal— (Pi, Liu, et al., 2022). Cal assenyalar que aquest resum de resultats sobre la correcció de les exposicions es basa només en un estudi per a cada comparació. Per tant, caldrà que estudis futurs segueixin investigant el grau de correcció de les exposicions en situacions d'*aprensensyar*.

A més d'aquestes mesures respecte a la qualitat de les exposicions que generen els participants, hi ha estudis que mesuren el grau d'atenció i la càrrega cognitiva. Quant a l'atenció, s'ha mesurat mitjançant les oscil·lacions d'ones alfa en electroencefalogrames (Pi et al., 2021) i a través d'aparells de seguiment de la mirada (Pi, Liu, et al., 2022; Pi, Zhang, et al., 2022). Pi et al. (2021) reporten més oscil·lacions d'ones alfa en una situació d'exposició davant d'un oient, en comparació d'un grup de control que veu el vídeo passivament i d'un altre grup que genera autoexplicacions. En un estudi posterior, Pi, Liu, et al. (2022) examinen on centren l'atenció externa els participants a través del seguiment de la mirada. Els resultats mostren que els tres grups d'*aprensensyar* —el grup que fa l'exposició sense la presència d'un company, el que la fa a un company passiu i el que la fa a un company que ofereix aprovació no verbal— mostren una proporció semblant de temps d'atenció a l'àrea on han d'escriure les exposicions. Quant a l'àrea de la pantalla en què es mostra el company, la

comparació entre els dos grups —amb un company passiu o amb un company que ofereix aprovació— mostra que la proporció de temps d'atenció a la imatge del company és més elevada en el cas del grup que rep aprovació. Per la seva banda, Pi, Zhang, et al. (2022) no troben diferències d'atenció externa a l'àrea de la pantalla on apareix el contingut, en comparar els quatre grups que fan exposicions, autoexplicacions o una combinació d'ambdues activitats. En canvi, sí que troben diferències d'atenció interna (i. e., concentració), mesurada a partir de la freqüència de parpelleig, a favor dels tres grups que inclouen autoexplicacions.

Quant a la càrrega cognitiva, la majoria d'estudis sobre aprendre exposant han recollit mesures diverses reportades pels participants com a indicadors d'aquest constructe, com ara l'esforç mental, la dificultat subjectiva o l'estrès. La teoria de la càrrega cognitiva —partint de la premissa que el processament cognitiu està restringit per la capacitat de la memòria de treball, que només pot processar un nombre limitat d'elements alhora— pretén explicar com la càrrega de processament de la informació que generen les tasques d'aprenentatge poden afectar l'habilitat dels estudiants per a processar nova informació i construir coneixement a la memòria a llarg termini (Sweller et al., 2019).

Centrem-nos primerament en l'esforç mental, la mesura més usada en aquestes investigacions.⁷ En comparació de grups de control, alguns estudis no troben cap diferència significativa (Cheng et al., 2023, Experiment 1; Fiorella & Mayer, 2013, Experiments 1 i 2, 2014, Experiment 2; Hoogerheide et al., 2014; Jacob et al., 2022; Koh et al., 2018; Lachner et al., 2020, Experiment 1; Lachner et al., 2021, Experiments 1 i 2; Lim et al., 2021). D'altres, però, troben que l'activitat d'exposar exigeix més esforç mental que l'activitat de control (Hoogerheide et al., 2016, Experiments 1 i 2; Hoogerheide, Renkl, et al., 2019; Hoogerheide, Visee, et al., 2019; Jacob et al., 2020, 2021; Lachner et al., 2020, Experiment 2; Pi et al., 2021). I, en sentit oposat, un estudi (Pi, Liu, et al., 2022) troba que, en presència d'un company passiu mentre es fa l'exposició, l'esforç mental és inferior que en una situació de control. No obstant això, no hi ha diferències significatives respecte

⁷ Tal com hem assenyalat a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar, en alguns articles es mesura l'esforç mental no només durant la tasca d'aprenentatge, sinó també al moment de fer els tests (Hoogerheide et al., 2016; Hoogerheide et al., 2014; Hoogerheide, Renkl, et al., 2019; Hoogerheide, Visee, et al., 2019) o al moment d'estudi (Cheng et al., 2023; Jacob et al., 2020, 2021, 2022).

al grup de control quan el company ofereix aprovació no verbal o quan es fa l'exposició sense la presència de cap company.

Cal tenir en compte que les activitats de control no sempre són comparables, ja que els estudis fan servir diferents condicions de control: altres activitats generatives —com ara evocar la informació, fer autoexplicacions o fer un resum— i també no generatives —com ara tornar a estudiar el material, veure un vídeo passivament o fer una tasca irrellevant per al material d'estudi. A més, Fiorella i Mayer (2013, 2014) adverteixen que demanar als estudiants que reportin aquestes dades retrospectivament després del test final, en lloc de fer-ho immediatament després de la tasca d'aprenentatge, pot restar fiabilitat a la mesura. De fet, com hem assenyalat a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar, se sospita de la validesa i la fiabilitat d'aquesta mena de mesures autoreportades referents a la càrrega cognitiva (Scheiter et al., 2020).

No sembla que l'esforç mental expliqui els resultats d'aprenentatge d'aprendre exposant, d'acord amb dues anàlisis de regressió (Hoogerheide, Renkl, et al., 2019; Hoogerheide, Visee, et al., 2019). Dos estudis diferents es limiten a indicar la correlació entre les dues variables (Jacob et al., 2021; Lim et al., 2021). Només Jacob et al. (2021) reporten una correlació positiva però molt dèbil entre l'esforç mental i els resultats d'aprenentatge en el cas d'un test d'inferència, però no en un test de coneixement bàsic. En un test conceptual, Lim et al. (2021) no hi troben correlació.

Molts dels estudis també comparen diferents situacions d'aprendre exposant. Entre les modalitats d'exposició oral i escrita, no es troben diferències d'esforç mental (Jacob et al., 2020, 2021, 2022; Lim et al., 2021). Tampoc no se'n troben entre versions fàcils i difícils del material d'estudi (Fiorella & Mayer, 2014, Experiment 1; Jacob et al., 2020). Algunes característiques de les situacions d'aprendre exposant sí que podrien condicionar l'esforç mental, tot i que els estudis troben resultats mixtos. Quant al fet d'haver d'evocar o no el contingut en ensenyar —per la falta o presència dels materials d'estudi a l'hora de generar l'exposició—, Koh et al. (2018) no troben diferències, però Sibley et al. (2022) reporten més esforç per part dels que ensenyen amb el material d'estudi al davant. No obstant això, aquesta diferència d'esforç no explica els resultats d'aprenentatge. Respecte al moment en què es genera l'exposició, Lachner et al. (2020) no troben diferències entre grups al primer experiment, però sí al segon. En aquest segon experiment, no troben diferències significatives d'esforç

mental entre evocar el material o exposar-lo oralment en acabar d'estudiar, però l'esforç mental d'un tercer grup que fa l'exposició al mig del procés és superior en el segon text d'estudi. Els autors interpreten que això es deu al fet que, en detectar dèficits de comprensió quan expliquen el material, els estudiants inverteixen més esforç al segon text per a poder solucionar aquests dèficits. En referència a la presència d'un company mentre es fa l'exposició, l'estudi de Pi, Liu, et al. (2022) suggereix que escriure l'exposició en presència d'un company passiu implica menys esforç mental que fer-ho sense company o amb un company que ofereix aprovació. Cal assenyalar que en aquest estudi la presència del company es produeix a través de la pantalla de l'ordinador. Per la seva banda, Cheng et al. (2023, Experiment 2) assenyalen que el grup que exposa oralment cara a cara reporta més esforç mental que el grup que exposa a través d'una videotrucada i el que ho fa a través de l'enregistrament d'un vídeo —tot i que la diferència no arriba a ser estadísticament significativa respecte a aquest últim grup.

Alguns estudis també comparen l'esforç mental entre aprendre exposant i aprendre preparant-se per a ensenyar. Fiorella i Mayer (2013, Experiment 1 i 2, 2014, Experiment 2) no troben diferències entre el grup que només prepara el contingut i el que, a més de preparar-lo, finalment l'exposa. Tot i que Hoogerheide et al. (2016) no fan aquesta anàlisi al seu estudi, si comparem les dades d'esforç mental del grup que té l'expectativa d'ensenyar amb les del grup que acaba exposant el contingut, la diferència no és significativa per poc, però els descriptius suggereixen un esforç mental més gran per part del grup que l'exposa. La diferència d'esforç mental sí que arriba a ser significativa quan el grup que té l'expectativa d'ensenyar es compara amb un grup que exposa el material després d'haver-lo preparat sense l'expectativa d'ensenyar. Aquesta segona situació implica més esforç mental que una situació d'expectativa d'ensenyar. No hi ha diferències significatives d'esforç mental entre ensenyar amb o sense aquesta expectativa.

Centrem-nos ara en la dificultat subjectiva. En comparació de grups de control, la majoria d'estudis d'aprendre exposant no troben diferències en la percepció de dificultat (Cheng et al., 2023, Experiment 1; Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Jacob et al., 2021; Koh et al., 2018; Lim et al., 2021; Pi et al., 2021). No obstant això, tres estudis sí que troben diferències significatives, que suggereixen que l'activitat de generar una exposició pot ser percebuda com a més difícil (Jacob et al., 2020, 2022; Sibley et al., 2022). En comparar diferents situacions d'aprendre

exposant, cap dels estudis no troba diferències significatives (Cheng et al., 2023, Experiment 2; Jacob et al., 2020, 2021, 2022; Koh et al., 2018; Lachner et al., 2018; Lachner & Neuburg, 2019; Sibley et al., 2022). Tampoc no hi ha diferències de dificultat subjectiva entre aprendre exposant i aprendre preparant-se per a ensenyar (Fiorella & Mayer, 2013, 2014). Igual que en el cas de l'esforç mental, Jacob et al. (2021) reporten una correlació positiva però molt dèbil amb els resultats d'aprenentatge en el cas d'un test d'inferència, però no en un test de coneixement bàsic, i Lim et al. (2021) no hi troben correlació en un test conceptual.

Finalment, a més de les mesures autoreportades pels participants, les mesures fisiològiques poden aportar informació sobre la càrrega cognitiva. Els electroencefalogrames de Pi et al. (2021) mostren una potència més alta d'ones theta als lòbuls frontal i central per part del grup que aprèn exposant en presència d'un oient, en comparació del que fa autoexplicacions. Alhora, els dos grups superen el grup de control. Partint d'estudis previs, els autors assenyalen que la major potència theta en aquestes àrees del cervell indica un augment de la càrrega cognitiva (e. g., Castro-Meneses et al., 2020).

1.3.2.2.2. L'anàlisi dels processos metacognitius

Pel que fa als processos metacognitius, els estudis han usat principalment dos indicadors: la precisió de la metacomprensió i les activitats de supervisió. Com hem assenyalat a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar, la precisió de la metacomprensió pot definir-se com el grau d'exactitud del judici que un mateix fa sobre la pròpia comprensió d'un contingut (Fukaya, 2013b; Jacob et al., 2020, 2021, 2022; Lachner et al., 2020; Lachner et al., 2021). La majoria d'estudis que analitzen la metacomprensió en l'àmbit d'*aprensensyar* calculen el biaix d'aquest judici: la diferència entre la comprensió que perceben (i. e., el resultat que estimen que obtindran al test) i la comprensió real (i. e., el resultat que realment hi obtenen). Aquesta aproximació permet mesurar si els estudiants sobreestimen o subestimen la seva comprensió (Jacob et al., 2020, 2021, 2022; Lachner et al., 2020; Lachner et al., 2021). Els valors positius indiquen una sobreestimació; els valors negatius, una subestimació, i el zero, un judici acurat. Un d'aquests estudis no només en mesura el biaix, sinó també la precisió absoluta, és a dir, la diferència entre la comprensió estimada i la comprensió real, independentment de si la diferència és positiva o negativa (Lachner et al., 2020). L'article de Fukaya (2013b) —el primer que mesura la precisió de la

metacomprensió en una situació d'*aprensensyar*— ho fa calculant la correlació de rangs entre el resultat d'un test sobre el material d'estudi i la mesura de comprensió que reporten els estudiants a través d'un ítem de format Likert, en què indiquen en quina mesura pensen que han entès el contingut del material d'estudi.

Aquest article desperta l'interès per la metacomprensió al camp d'estudi sobre *aprensensyar*, perquè els resultats dels dos experiments que inclou mostren que el grup que genera exposicions orals fa judicis més precisos en comparació d'un grup de control. Estudis posteriors que avaluen si generar exposicions orals comporta judicis més acurats en comparació de situacions de control troben resultats mixtos. Jacob et al. (2020) també troben una diferència significativa a favor del grup que fa exposicions orals, en comparació d'un grup de control que evoca el contingut. Per contra, ni Lachner et al. (2020, Experiments 1 i 2) ni Jacob et al. (2022) no troben diferències entre els dos grups que exposen el contingut i el grup que l'evoca en acabar d'estudiar. Centrant-nos en la modalitat escrita, Lachner et al. (2021, Experiment 1) comparen un grup que fa exposicions escrites no interactives dirigides a altres persones amb tres altres grups: un que fa autoexplicacions escrites, un que evoca el contingut per escrit i un grup de control que fa una tasca irrellevant. Tot i que els resultats conjunts suggereixen que hi ha una diferència significativa entre grups, i els descriptius indiquen que el grup que fa exposicions escrites fa judicis més acurats, les comparacions dos a dos no són significatives —probablement per la mida reduïda dels grups, que en limita el poder estadístic. En un segon experiment (Lachner et al., 2021, Experiment 2), que aquest cop fan amb un disseny intrasubjectes, troben que cap de les situacions d'aprenentatge que analitzen —exposicions escrites, autoexplicacions escrites i evocació escrita— no duu a judicis més precisos que la condició de control. A més, en comparar les tres intervencions, l'autoexplicació contribueix a judicis més acurats que l'exposició no interactiva dirigida a altres persones i l'evocació escrita.

Alguns estudis també han analitzat si hi ha diferències de metacomprensió entre diferents situacions d'*aprensensyar*. De fet, com hem vist a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar, Fukaya (2013b) també inclou als dos experiments un grup que prepara el contingut amb l'expectativa d'ensenyar. L'autor reporta que els estudiants d'aquest grup mostren —igual que el grup de control— judicis menys precisos que el grup que fa exposicions orals. L'anàlisi d'aquest últim grup mostra que les puntuacions de comprensió que s'assignen

els estudiants a ells mateixos es correlacionen amb el nombre d'idees que inclouen a l'exposició, i aquest nombre d'idees es correlaciona amb els resultats d'aprenentatge. Això suggereix que els estudiants fan servir les exposicions que generen per a avaluar la pròpia comprensió del material. Juntament amb el fet que aquestes exposicions semblen indicadors vàlids dels resultats d'aprenentatge, això explicaria les millores en la metacomprensió d'aquest grup (Fukaya, 2013b).

Pel que fa a la modalitat de l'exposició —oral o escrita—, a l'estudi de Jacob et al. (2020), igual que el grup de control que evoca el contingut, el grup que fa exposicions escrites mostra judicis menys precisos que el grup que exposa el contingut oralment. No obstant això, aquests resultats no es repliquen en dos estudis posteriors dels mateixos autors (Jacob et al., 2021, 2022). Sembla que cal tenir en compte la dificultat del material d'estudi, ja que a Jacob et al. (2020) els estudiants jutgen de forma més precisa la pròpia comprensió quan el material és fàcil, en comparació de quan és difícil. Per la seva banda, Lachner et al. (2020, Experiments 1 i 2), en comparar el grup que exposa el contingut al mig del procés d'estudi i el grup que ho fa al final, no troben diferències significatives quant a la precisió de la metacomprensió.

Respecte als articles que analitzen el biaix positiu o negatiu d'aquests judicis, dos reporten sobreestimació —tant en les situacions d'aprendre exposant com en les condicions de control— (Jacob et al. 2021; Lachner et al., 2021, Experiments 1 i 2); dos, subestimació (Jacob et al., 2022; Lachner et al. 2020, Experiment 1 i 2), i un altre, resultats mixtos (Jacob et al., 2020). Aquest últim estudi troba una subestimació de la pròpia comprensió del contingut en el grup que exposa oralment quan el material d'estudi és fàcil, però una sobreestimació quan és difícil. La resta de condicions d'aquest estudi —d'aprendre exposant i de control— mostren percepcions sobreestimades de comprensió.

Cal tenir en compte que el tipus de contingut pot influir en l'estimació de la comprensió. Rozenblit i Keil (2002) encunyen el concepte d'il·lusió de la profunditat explicativa —en anglès, *illusion of explanatory depth*—, que fa referència al fet que les persones tendeixen a sobreestimar la pròpia comprensió dels continguts explicatius (e. g., com es produeixen els fenòmens naturals o com funcionen els objectes mecànics). Després d'avaluar la pròpia comprensió, Rozenblit i Keil (2002) demanen als participants que facin una exposició escrita del contingut. En acabar-la, la percepció de comprensió

disminueix i els judicis esdevenen més precisos. En canvi, aquest fenomen és menys pronunciat en el cas de continguts factuais, i sembla no produir-se en el cas de continguts narratius i procedimentals: abans de fer l'exposició, les persones ja fan judicis força precisos de la pròpia comprensió en aquests tipus de continguts. Un estudi posterior (Vaupotič et al., 2022), en lloc de partir dels coneixements previs, parteix de la lectura d'un text sobre un contingut científic (i. e., la predicció de fenòmens meteorològics a través d'intel·ligència artificial). Els autors comparen un grup que només llegeix el text amb un altre que, a més, fa una exposició escrita. En els dos casos, després de llegir el text, els participants mostren valoracions més altes del propi nivell de coneixement sobre el tema. Basant-se en els resultats de Rozenblit i Keil (2002), Vaupotič et al. (2022) havien formulat la hipòtesi que, després de fer l'exposició escrita, aquest grup mostraria una percepció inferior del nivell de coneixement, en comparació del grup que només llegia el text. No obstant això, no troben diferències entre els dos grups. El grup que fa l'exposició fins i tot confia més en les pròpies opinions sobre el tema que el grup que només llegeix el text, tot i que les puntuacions són baixes en els dos casos.

La majoria d'estudis sobre aprendre exposant que analitzen el biaix positiu o negatiu d'aquests judicis donen suport a la il·lusió de la profunditat explicativa de Rozenblit i Keil (2002). En el cas de continguts complexos de fenòmens naturals, els estudis reporten una sobreestimació (Jacob et al., 2020, 2021; Lachner et al., 2021, Experiments 1 i 2), excepte Jacob et al. (2022). En canvi, en el cas d'un text sobre el funcionament d'un objecte mecànic (i. e., el motor de combustió de quatre temps), els resultats són contraris a aquesta il·lusió: l'estudi de Lachner et al. (2020) mostra una subestimació de la comprensió. A parer nostre, potser aquests resultats són contraris a la il·lusió de la profunditat explicativa perquè es tracta d'un contingut força conegut —sovint inclòs als temaris d'educació bàsica—, tal com passa amb el text fàcil de Jacob et al. (2020) sobre reproducció sexual i asexual, i potser també a l'estudi de Jacob et al. (2022) sobre la fotosíntesi. Cal assenyalar dues particularitats d'aquest últim estudi respecte de la resta d'estudis que analitzen la metacomprensió: és l'únic que ho fa amb estudiants de secundària, i és també l'únic que ofereix una sessió

impartida per un docent com a preparació del material, en lloc d'un text d'estudi.⁸

Sembla que les diferències en la precisió de la metacomprensió les generen en part les activitats de supervisió —en anglès, *monitoring*— que duen a terme els estudiants durant la tasca (Lachner et al., 2020, Experiment 1). Les activitats de supervisió són aquelles en què l'estudiant reflexiona sobre el propi procés de pensament o el nivell de comprensió del contingut, i detecta possibles dèficits que ha de reparar (Fiorella & Kuhlmann, 2020; Lachner et al., 2020; Roscoe, 2014; Roscoe & Chi, 2008). Un estudi analitza els comportaments dels participants a la plataforma virtual on fan la tasca (e. g., aturar el vídeo i tornar enrere), com a indicadors d'aquestes activitats de supervisió (Pi, Liu, et al., 2022). Els resultats mostren patrons diferents de comportament entre els grups. En absència d'un company, el grup que fa exposicions mostra menys comportaments d'aturar el vídeo i tornar enrere que el grup que es limita a veure el vídeo sense haver d'elaborar exposicions, fet que suggereix una menor autoregulació per part del primer grup. En canvi, en presència d'un company, el grup que fa exposicions mostra més autoregulació que el que no en fa. En comparar els dos grups que generen exposicions en presència d'un company —passiu o que ofereix aprovació—, sembla que el fet de rebre aprovació genera més accions de cerca ràpida d'informació i menys accions de tornar enrere a revisar el contingut abans d'escriure l'exposició. Això suggereix que rebre aprovació no verbal del company genera un processament menys profund del material, en comparació del grup que té un company passiu.

Els altres estudis que examinen les activitats de supervisió en situacions d'aprendre exposant ho fan a través de l'anàlisi de les exposicions. Cheng et al. (2023, Experiment 1) troben un major nombre d'activitats de supervisió al grup d'aprendre exposant, en comparació del que fa autoexplicacions. En un segon experiment, els autors no troben diferències en el nombre d'activitats de supervisió entre el grup que exposa en vídeo, el grup que exposa cara a cara i el que ho fa a través d'una videotrucada (Cheng et al., 2023, Experiment 2). Lachner et al. (2020, Experiment 1) reporten que fer l'exposició al mig del procés d'estudi

⁸ De fet, la majoria d'estudis d'*aprensenyar* parteixen de materials en paper com a material d'estudi. Es tracta normalment de textos acompanyats d'algunes il·lustracions (e. g., Cheng et al., 2023; Fiorella & Mayer, 2013; Hoogerheide, Visee, et al., 2019). Només Jacob et al. (2022), Pi et al. (2021), Pi, Liu, et al. (2022) i Pi, Zhang, et al. (2022) fan servir com a material d'estudi una sessió impartida per un docent —presencial en el cas de Jacob et al. (2022), i en vídeo en el cas dels altres tres estudis.

—en lloc de fer-la al final— contribueix a realitzar més activitats de supervisió, fet que genera diferències en la precisió de la metacomprensió, amb un efecte indirecte sobre el coneixement conceptual. Curiosament, són els judicis menys acurats —que a més mostraven una subestimació— els que fan millorar el coneixement conceptual, fet que suggereix que les millores d'aprenentatge es produeixen perquè els estudiants intenten reparar els buits de coneixement que perceben. Per la seva banda, Fiorella i Kuhlmann (2020) no troben diferències d'activitats de supervisió en comparar el grup que exposa el material oralment i el que dibuixa mentre l'exposa. A més, en aquest estudi, les activitats de supervisió no es relacionen amb els resultats del posttest. A l'apartat sobre aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència, revisarem els estudis de Roscoe (2014) i Roscoe i Chi (2008), que aporten resultats rellevants sobre les activitats de supervisió en situacions d'*aprensenyar*.

1.3.2.2.3. La hipòtesi de la presència social

La hipòtesi de la presència social sorgeix com a extensió de la hipòtesi de l'aprenentatge generatiu, a partir de l'argumentació que la mesura en què els estudiants duen a terme aquests processos generatius depèn de com es representen mentalment l'audiència a qui es dirigeix l'activitat d'ensenyament (Lachner et al., 2022). Aquesta hipòtesi comença a prendre forma quan s'intueixen possibles diferències entre l'activitat d'ensenyar de forma directa i indirecta (Hoogerheide et al., 2014). A la revisió sobre *aprensenyar* de forma no interactiva, Lachner et al. (2022) recullen les definicions de Short et al. (1976) i Kreijns et al. (2022) del concepte de presència social: el fenomen psicològic que fa que una persona sigui més o menys conscient de l'existència dels altres en un entorn mediat per la tecnologia. D'acord amb Hoogerheide et al. (2016), el concepte de presència social és semblant al concepte de tutoria entre iguals transactiva —en anglès, *transactive peer tutoring*— (King et al., 1998), perquè els dos posen el focus en el fet de tenir en compte el destinatari. Tanmateix, el concepte de King et al. (1998) se centra exclusivament en situacions d'interacció contínua entre l'ensenyant i el destinatari de l'ensenyament, mentre que el concepte de presència social inclou activitats amb diferents graus d'interacció (Hoogerheide et al., 2016). Lachner et al. (2022) distingeixen tres perspectives des de les quals s'aborda la hipòtesi de la presència social: la pragmàtica del discurs, l'afectivitat i la motivació.

1.3.2.2.3.1. La perspectiva de la pragmàtica del discurs

La perspectiva de la pragmàtica del discurs posa èmfasi en el fet que la persona que ensenya té una representació mental del destinatari (Lachner et al., 2022). La situació discursiva en una pràctica d'*aprensenyar* conté necessàriament una persona que ensenya i una persona o grup de persones que rep l'ensenyament. Aquest destinatari és físicament present en una situació d'ensenyament directe, fet que podria oferir a l'ensenyant informació addicional sobre l'aprenent (Kobayashi, 2019a), beneficiosa per a l'ajustament de les explicacions i per al propi aprenentatge (Dehler-Zufferey et al., 2010). No obstant això, en una situació d'ensenyament indirecte, el destinatari es troba també a la ment de l'ensenyant, en forma de representació mental d'una audiència real, potencial o fictícia. Aquesta perspectiva és coherent amb la idea que la teoria de la ment (e. g., Carlson et al., 2013) es troba al centre de l'ensenyament humà, ja que ensenyar implica entendre els estats mentals de qui rep l'ensenyament (Strauss & Ziv, 2012).

Hi ha força estudis sobre aprendre exposant que fan servir el nombre de referències personals (i. e., el nombre de pronoms personals que apareixen a l'exposició) com a indicador de la sensació de presència social. En comparació d'un grup de control, Lim et al. (2021) troben una major proporció de referències personals a les exposicions del grup d'intervenció que a les notes d'estudi del grup de control —tal com passava també en el cas de l'ensenyament en silenci, que hem presentat a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar. En comparar la proporció de referències personals entre la modalitat oral i escrita de les exposicions, Lachner et al. (2018) troben que les exposicions orals tenen una major proporció de referències personals, que a més es correlacionen positivament amb el nombre d'elaboracions. La quantitat d'elaboracions —però no de referències personals— explica les diferències de resultats en transferència del coneixement entre les dues modalitats d'exposició. En un estudi posterior, Jacob et al. (2020) troben un efecte indirecte del nombre de referències personals sobre els resultats a través del nombre de conceptes: sembla que els beneficis d'aprenentatge d'exposar oralment en comparació de fer-ho per escrit —només detectats quan el material d'estudi és complex— es deuen a una sensació més alta de presència social, que duu els estudiants a oferir exposicions més completes. Centrant-se en les exposicions escrites, Lachner et al. (2021, Experiment 1) no troben diferències en el nombre de referències

personals entre el grup que fa exposicions escrites dirigides a altres persones, el grup que fa autoexplicacions escrites i el que evoca el contingut per escrit.

Aquests resultats duen els investigadors a plantejar-se com es pot augmentar la sensació de presència social quan els estudiants elaboren exposicions escrites. Jacob et al. (2021) intenten incrementar-la mitjançant l'ús d'un xat de missatgeria instantània, en què el suposat destinatari inicia la conversa. En comparar aquesta situació amb una situació estàndard d'exposició escrita i una exposició en vídeo, els autors troben un major nombre de referències personals al xat simulat, però no hi ha diferències en les puntuacions de percepció de presència social. A més, no troben diferències en els resultats d'aprenentatge entre les tres situacions experimentals, ni tampoc en comparació d'un grup de control que fa una pràctica d'evocació. En un estudi posterior, Jacob et al. (2022) emmarquen la situació d'exposició escrita i oral al xat de missatgeria instantània, i llavors no troben diferències en el nombre de referències personals. Per la seva banda, Lim et al. (2021) no troben diferències en la proporció de referències personals entre un grup que exposa el contingut oralment i una situació molt particular d'exposició escrita, que hem presentat a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar: estudiants que elaboren un guió en què transcriuen textualment el que dirien en una sessió d'ensenyament.

Els estudis de Jacob et al. (2021), Van Brussel et al. (2021) i Cheng et al. (2023) són els únics que usen un qüestionari per a mesurar la sensació de presència social dels participants en una situació d'aprendre exposant.⁹ Jacob et al. (2021) ho fan mitjançant tres ítems de format Likert, en què demanen als estudiants que indiquin el grau de percepció que el destinatari és real, el grau d'importància atorgada al fet que el destinatari aprengui i el grau de percepció que es tracta d'una situació comunicativa. Com hem assenyalat al paràgraf anterior, les puntuacions d'aquests qüestionaris no difereixen entre les diverses situacions d'aprendre exposant de l'estudi. Per la seva banda, Van Brussel et al. (2021)

⁹ En un article sobre aprendre preparant-se per a ensenyar, Guerrero i Wiley (2021) fan servir al final de cada estudi dues mesures per a comprovar la validesa de la situació experimental. En primer lloc, fan una pregunta oberta per a comprovar si els estudiants recordaven que havien estudiat amb el propòsit d'ensenyar, que els serveix per a descartar de l'anàlisi els que no ho recordaven. En segon lloc, fan una pregunta de format Likert per a comprovar en quina mesura els participants s'havien cregut que havien d'ensenyar. En aquesta pregunta, obtenen resultats significatius en una prova *t* de Student per a una mostra, amb puntuacions mitjanes superiors al punt mig.

parteixen dels factors de presència social que assenyala Cui (2013), i elaboren un qüestionari de deu ítems, que inclou qüestions referents a la percepció i representació mental de l'audiència, així com la tensió i motivació que pot generar la situació d'aprendre exposant. Sorprenentment, les puntuacions d'aquest qüestionari indiquen que la sensació de presència social és més baixa al grup que ensenya en vídeo, en comparació del grup que només prepara el material per a ensenyar-lo sabent d'entrada que després no l'haurà d'ensenyar. Tal com indiquen els autors, el fet que el destinatari del vídeo sigui fictici pot limitar la sensació de presència social. No obstant això, aquesta sensació també s'hauria de veure limitada en el cas de la situació d'expectativa d'ensenyar, ja que el destinatari és fictici a les dues situacions i, a més, sembla que aquest últim grup sabia de forma anticipada que no hauria d'enregistrar cap exposició. Finalment, Cheng et al. (2023) mesuren la sensació de presència social mitjançant un ítem de format Likert, en què els estudiants reporten en quin grau han sentit que hi havia una audiència real escoltant-los. Sembla que exposar en vídeo genera menys sensació de presència social, en comparació d'exposar cara a cara i de fer-ho a través d'una videotrucada —tot i que la diferència respecte a aquest últim grup no arriba a ser estadísticament significativa (Cheng et al., 2023, Experiment 2). A més, en aquest estudi, la sensació de presència social es correlaciona negativament amb els resultats d'un test de transferència.

1.3.2.2.3.2. La perspectiva afectiva

La perspectiva afectiva proposa que la sensació de presència social té un impacte indirecte en l'aprenentatge a través dels processos fisiològics d'activació que genera (Lachner et al., 2022). El nivell d'activació pot mesurar-se a través de qüestionaris (e. g., Van Brussel et al., 2021), però també a través d'aparells tecnològics (e. g., Hoogerheide, Renkl, et al., 2019).

Alguns estudis inclouen mesures reportades pels estudiants mitjançant un únic ítem, en referència a l'estrès (Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Koh et al., 2018; Lim et al., 2021) o la preocupació (Hoogerheide, Renkl, et al., 2019). D'entre aquests estudis, en comparar situacions d'aprendre exposant i situacions de control, només Lim et al. (2021) troben diferències d'estrès estadísticament significatives. Els estudiants que exposen el contingut oralment —però no els que preparen un guió escrit del que exposarien— reporten més estrès que un grup que reestudia el material. No obstant això, en aquest estudi, l'estrès no es correlaciona amb els resultats d'aprenentatge.

Per la seva banda, Van Brussel et al. (2021) mesuren l'activació mitjançant un instrument més complex, anomenat *Activation-Deactivation Adjective Check List* (ADACL; Thayer, 1967, 1986), que es basa en dues dimensions (i. e., activació i desactivació) i quatre factors (i. e., energia, cansament, tensió i calma). En comparar una situació d'expectativa d'ensenyar, una situació d'exposar oralment a través d'un vídeo i una situació de control (i. e., reestudi), els resultats mostren que no hi ha diferències significatives entre els dos grups d'*aprensensenyar*, però sí respecte al grup de control. Quant al grup que exposa oralment el contingut, els estudiants reporten més energia i tensió, i menys cansament i calma. Pel que fa a la situació d'expectativa d'ensenyar, tal com hem comentat anteriorment a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar, només és estadísticament significativa la diferència en el nivell de calma, que és menor que al grup de control. Tot i això, des de la perspectiva de la hipòtesi de la presència social, aquestes diferències en el grau d'activació no són del tot coherents amb els resultats que obtenen els autors sobre la sensació de presència social —comentats al final de la secció anterior—, ni tampoc amb la manca de diferències en els resultats d'aprenentatge dels tres grups.

Quant a l'ús d'aparells tecnològics per a mesurar el nivell d'activació, Hoogerheide, Renkl, et al. (2019) l'analitzen amb un braçalet que mesura l'activitat electrodermica, i troben un nivell més alt d'activació al grup que ensenya a resoldre un problema en vídeo a través d'un exemple treballat —en anglès, *worked example* (Sweller, 2006)—, en comparació del grup de control, que estudia l'exemple. Els autors citen els estudis d'Okita et al. (2007) i Somerville et al. (2013), que mostren com el fet de creure que s'és observat per algú genera nivells més alts d'activació. El primer estudi (Okita et al., 2007) els mesura també a través de la conductància de la pell; el segon estudi (Somerville et al., 2013) analitza imatges per ressonància magnètica funcional —conegudes per les sigles fMRI, en anglès. A l'estudi de Hoogerheide, Renkl, et al. (2019), el nivell d'activació no es correlaciona amb els resultats d'aprenentatge, perquè potser la relació entre les dues variables no és lineal. Tal com citen Hoogerheide, Renkl, et al. (2019), sembla que un nivell moderat d'activació (i. e., ni massa alt ni massa baix) és ideal per a diferents elements que condicionen l'aprenentatge, com ara l'atenció, la consolidació de la memòria i la capacitat de la memòria de treball (Arnsten, 2009; Lee et al., 2008; Sharot & Phelps, 2004). En aquesta línia, caldrà estar atents a la publicació d'estudis que es troben actualment en preparació o en revisió (Hoogerheide, Lachner, et al., 2020; Hoogerheide, Renkl, et al., 2020).

Segons Lachner et al. (2022), aquests dos manuscrits mostren que *aprensensyar* de forma no interactiva es relaciona amb nivells més elevats d'activació fisiològica —mesurats a través de l'activitat electrodermica—, tot i que el nivell d'activació tampoc no explica els resultats d'aprenentatge.

1.3.2.2.3.3. La perspectiva de la motivació

Aquesta perspectiva posa èmfasi en la bona disposició dels estudiants vers les pràctiques d'*aprensensyar* —que creen vincles amb l'audiència. Hem comentat anteriorment l'origen de la hipòtesi de la motivació a l'apartat sobre aprendre preparant-se per a ensenyar (Benware & Deci, 1984). Ara, ens centrarem en les situacions d'aprendre exposant. Els estudis que recullen informació sobre la motivació ho fan a través de qüestionaris. Es basen en indicadors referents a l'interès i la utilitat del contingut, el gaudi i la implicació a la tasca, i la preferència per tornar a participar en tasques semblants en el futur (e. g., Fiorella & Mayer, 2013). Als experiments de Fiorella i Mayer (2013, 2014), cap de les comparacions entre situacions d'aprendre exposant i situacions de control no mostra diferències significatives de motivació, fet que els autors atribueixen a limitacions de l'experiment respecte al moment de fer el qüestionari final —tal com ja hem assenyalat anteriorment. Per la seva banda, Cheng et al. (2023, Experiment 1) tampoc no troben diferències d'interès vers la tasca entre exposar en vídeo, fer autoexplicacions i reestudiar. En un segon experiment, tampoc no hi ha diferències entre tres situacions d'aprendre exposant: en vídeo, cara a cara o a través d'una videotrucada (Cheng et al., 2023, Experiment 2).

Altres estudis suggereixen avantatges de motivació per a les situacions d'aprendre exposant. Hoogerheide, Visee, et al. (2019) reporten més gaudi a l'hora d'ensenyar a través de la creació d'un vídeo, en comparació de fer un resum o de tornar a estudiar el contingut. Una anàlisi de regressió mostra que aquestes diferències de gaudi expliquen els resultats d'aprenentatge. A més, en aquest estudi, les dues activitats generatives produeixen un nivell més alt d'implicació a la tasca que l'activitat de reestudiar. Jacob et al. (2021) reporten que exposar —ja sigui en vídeo o per escrit— resulta més divertit i interessant que la pràctica d'evocació, tot i que aquests resultats no són replicats en dos altres estudis dels mateixos autors (Jacob et al., 2020, 2022). A l'estudi de Jacob et al. (2021), una anàlisi de regressió mostra que les diferències de gaudi entre els dos grups expliquen els resultats d'aprenentatge. Finalment, l'estudi de Pi et al. (2021) mostra que, a més de les diferències en l'activitat cerebral i en els

resultats d'aprenentatge, els estudiants reporten més motivació i implicació a la tasca quan fan autoexplicacions o exposicions per a altres persones, en comparació de veure el vídeo passivament. En aquest estudi, entre les dues estratègies generatives, no hi ha diferències de motivació ni d'implicació.

Des d'aquesta perspectiva, cal tenir especialment en compte també els resultats referents a la càrrega cognitiva i a les creences dels estudiants sobre la pròpia habilitat, presentats anteriorment, ja que els dos constructes tenen implicacions en la motivació (e. g., Schnotz et al., 2009; Schunk, 1991).

1.3.3. Aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència

1.3.3.1. Les evidències d'efectivitat sobre l'aprenentatge

En comparació de grups de control que estudien el material per a un test, els participants que ensenyen el contingut en interacció verbal amb l'audiència mostren millors resultats d'aprenentatge en posttests immediats (Ehly et al., 1987; Ito & Kakihana, 2009; Wang et al., 2021), excepte en el cas de Bargh i Schul (1980, Experiment 2). Cal assenyalar que, en aquest últim experiment, les intervencions del destinatari es limiten a dos comentaris preestablerts: indicar que no entén una part de l'explicació o demanar que l'ensenyant la repeteixi. En comparació de fer autoexplicacions (Roscoe & Chi, 2008) o de verbalitzar el contingut en veu alta mentre s'estudia (Bargh & Schul, 1980, Experiment 2), explicar interactivament no aporta beneficis d'aprenentatge en aquests dos estudis, tot i que els resultats en el cas d'aprendre exposant eren mixtos. En comparació de rebre l'explicació del company, Renkl (1996) no troba diferències d'aprenentatge, però Kobayashi (2022a) i Roscoe (2014) reporten que els tutors obtenen millors puntuacions que els tutorats —en coneixement conceptual, inferència i transferència, i en aprenentatge superficial i profund, respectivament. Tal com assenyala Roscoe (2014), cal tenir en compte que als tutors se'ls ofereix més temps per a treballar el material, ja que l'estudien també durant la fase de preparació.

Als estudis també hi trobem comparacions entre l'expectativa d'ensenyar i l'explicació interactiva —és a dir, entre la primera i la tercera situació primària d'*aprensensyar*. Ehly et al. (1987) obtenen resultats favorables als que finalment tenen l'oportunitat d'ensenyar. Per la seva banda, Wang et al. (2021) comparen l'explicació interactiva amb un grup que imagina mentalment com seria l'ensenyament —en una mena de situació elaborada d'expectativa d'ensenyar.

Les diferències entre els dos grups d'*aprensensyar* no són significatives en un posttest immediat, ni tampoc en un posttest diferit. No obstant això, cal assenyalar que al posttest diferit només el grup que imagina mentalment com seria l'ensenyament —en lloc d'ensenyar directament el contingut al company— obté resultats significativament millors que el grup de control. A l'apartat sobre aprendre exposant sense intervenció verbal de l'audiència, hem comentat que preparar el material amb l'expectativa d'ensenyar semblava un requisit per a aprofitar millor les oportunitats d'aprenentatge a la fase d'ensenyament (Fiorella & Mayer, 2014; Kobayashi, 2019a). Tanmateix, en aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència, ni Wang et al. (2021) ni Kobayashi (2022a) no troben que preparar prèviament el material amb l'expectativa d'ensenyar moderi els resultats d'aprenentatge.

Alguns estudis creen grups d'intervenció diferenciats que permeten contrastar l'efecte de la segona i la tercera situació primària d'*aprensensyar*: aprendre exposant sense intervenció verbal de l'audiència i aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència (Ito & Kakihana, 2009; Renkl, 1997; Roscoe & Chi, 2008). Renkl (1997) no troba diferències entre un grup que explica el contingut mentre rep preguntes i un altre que l'exposa mentre rep expressions curtes i neutres d'aprovació. En canvi, en comparar un grup que explica el contingut en interacció amb l'audiència amb un altre grup que l'ensenyava de forma no interactiva (i. e., enregistrant l'exposició en vídeo), dos estudis sí que troben diferències a favor del grup interactiu (Ito & Kakihana, 2009; Roscoe & Chi, 2008).

Dins de la tercera situació primària d'*aprensensyar*, cal tenir en compte que hi ha diferents activitats implicades en la interacció verbal, com ara oferir i rebre feedback, i formular i respondre preguntes (Plötzner et al., 1999). En alguns estudis, es limiten les intervencions del destinatari, que pot oferir comentaris de feedback preestablerts (Bargh & Schul, 1980, Experiment 2) o oberts (Ito & Kakihana, 2009), formular preguntes preestablertes (Renkl, 1997) o preguntes i comentaris curts (Renkl, 1996), però no pot verbalitzar representacions verbals alternatives del contingut. Altres estudis plantegen situacions d'interacció verbal completament obertes amb l'audiència (Ehly et al., 1987; Roscoe, 2014; Roscoe & Chi, 2008; Wang et al., 2021). A l'estudi de Kobayashi (2022a), la sessió d'ensenyament s'estructura per tal que es pugui diferenciar el moment de presentació inicial del material per part de l'ensenyant —sense interrupcions del destinatari— i el moment d'interacció oberta posterior. La recerca encara no ha

esclariu la contribució precisa de cadascuna de les activitats interactives —oferir i rebre feedback, i formular i respondre preguntes— en els resultats d'aprenentatge de l'ensenyant.

1.3.3.2. El perquè de l'efectivitat

En línia amb la hipòtesi de l'aprenentatge generatiu, que hem revisat a l'apartat anterior sobre aprendre exposant, els beneficis d'aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència s'atribueixen principalment als processos de construcció del coneixement, reflectits a la qualitat de les explicacions (e. g., Roscoe & Chi, 2007; Webb, 1989).

La freqüència d'episodis de construcció del coneixement (Ito & Kakihana, 2009; Roscoe, 2014; Roscoe & Chi, 2008) i la qualitat de les explicacions (Kobayashi, 2022a) prediuen els resultats d'aprenentatge de l'ensenyant. En un estudi que pretén esclarir la contribució de cadascuna de les tres situacions primàries d'*aprensenyar* sobre els resultats d'aprenentatge, Kobayashi (2022a) no troba que la qualitat de les explicacions conceptuals i teòriques variï entre el moment de presentació inicial del material i el moment d'interacció (Kobayashi, 2022a). A més, en aquest estudi, preparar el material amb o sense l'expectativa d'ensenyar no implica diferències en la qualitat de les explicacions (Kobayashi, 2022a). No obstant això, sembla que el moment d'interacció aporta beneficis addicionals per a l'aprenentatge de l'ensenyant. La qualitat de les explicacions en el moment de presentació inicial del material prediu significativament els resultats del test conceptual i d'inferència, però no de transferència. La qualitat de les explicacions en el moment d'interacció mostra una contribució addicional significativa als resultats del test conceptual i d'inferència, i en aquest cas també prediu els de transferència. Les anàlisis diferenciades en funció de si es tracta d'explicacions conceptuals o teòriques mostren que, en el moment de presentació inicial del material, les explicacions conceptuals prediuen l'aprenentatge conceptual. En canvi, en el moment d'interacció, són les explicacions teòriques les que prediuen els resultats del test conceptual, d'inferència i de transferència. A més, una anàlisi addicional acurada mostra que la qualitat de dos tipus d'explicacions teòriques diferents varia entre el moment de presentació inicial i el moment d'interacció. Per tant, l'autor considera que els dos moments fan contribucions diferents a l'aprenentatge de l'ensenyant.

Malgrat el potencial d'aprendre explicant per a la construcció de coneixement, d'acord amb la revisió de la recerca sobre tutoria entre iguals de Roscoe i Chi (2007), sembla que els estudiants tutors tendeixen a mostrar un biaix cap a la transmissió de coneixement, fet que en limita les pròpies oportunitats d'aprenentatge. Els mateixos autors ho confirmen en un estudi experimental (Roscoe & Chi, 2008). Tot i que els episodis de *dir el coneixement* poden ajudar a recordar millor la informació, el biaix cap a la transmissió de coneixement limita la comprensió profunda del contingut (Roscoe, 2014). Sembla que el paper del destinatari en el moment d'interacció és important per a contrarestar aquest biaix de l'ensenyant. Tant els comentaris de feedback sobre la falta de comprensió del material (Ito & Kakihana, 2009) com les preguntes complexes que formula el destinatari (Roscoe, 2014; Roscoe & Chi, 2008) solen provocar episodis de construcció del coneixement per part de l'ensenyant.

D'acord amb Roscoe i Chi (2007), és probable que, quan les preguntes del tutorat són superficials —quan es limiten a demanar informació factual bàsica—, aquestes no generin elaboració del coneixement per part del tutor, ja que segurament ja domina aquest nivell bàsic del contingut. En canvi, quan les preguntes són profundes —quan s'orienten al raonament i a l'aplicació del contingut—, el tutor pot tenir més oportunitats d'aprenentatge, ja que en aquest cas és probable que es dirigeixin a qüestions sobre les quals té un coneixement desorganitzat, parcial o erroni. Cal tenir en compte que l'ensenyant no només pot respondre preguntes del destinatari, sinó que també pot formular-li'n. Igual que en el cas de les preguntes del tutorat, el tutor pot tenir més oportunitats d'aprenentatge quan ell mateix fa preguntes profundes (Ismail & Alexander, 2005; King et al., 1998). A la pràctica, un dels reptes principals té a veure amb el fet que tant els tutorats com els tutors no acostumen a formular preguntes —i, encara menys, preguntes complexes— (e. g., Chi et al., 2001; Duran & Monereo, 2005; Graesser et al., 1995).

En una situació de tutoria entre iguals, Roscoe (2014) explora la hipòtesi que el biaix cap a accions de transmissió del coneixement es pot deure a una supervisió inadequada del propi coneixement i comprensió per part dels tutors. Sembla que hi ha una relació positiva entre la supervisió —concretament, la supervisió de la comprensió (Roscoe, 2014)— i la construcció de coneixement, que alhora es relaciona amb una millor comprensió (Roscoe, 2014; Roscoe & Chi, 2008). No obstant això, el biaix cap a la transmissió de coneixement no es pot atribuir a la falta de supervisió: les explicacions dels estudiants mostren una majoria

d'episodis de *dir el coneixement*, tot i que supervisen sovint la comprensió del contingut (Roscoe, 2014). L'autor planteja que caldria explorar una nova hipòtesi: el biaix potser no es deu a una supervisió inadequada, sinó a una regulació defectuosa. Tot i que els tutors semblen capaços de supervisar la pròpia comprensió del material, potser no aborden les limitacions que hi detecten. Roscoe (2014) assenyalava que el domini del contingut, així com les creences sobre la naturalesa del coneixement i l'ensenyament, poden condicionar les accions dels tutors. Els resultats de l'estudi suggereixen que un millor domini del contingut permet als tutors involucrar-se en més episodis de construcció del coneixement, fet que duu l'autor a preguntar-se quin és el nivell òptim de coneixements previs per tal que la pràctica sigui més beneficiosa per als tutors. Basant-se en el concepte de Zona de Desenvolupament Proper (ZDP) de Vigotski (1978), l'autor proposa el concepte suggeridor de zona de desenvolupament del tutor, per a referir-se al contingut que pot ensenyar i sobre el qual pot reflexionar, però que encara no domina del tot.

Segons Roscoe (2014), només dos estudis havien examinat directament les activitats metacognitives del tutor: l'estudi anterior de Roscoe i Chi (2008) i un estudi de De Backer et al. (2012b). Els autors d'aquest últim estudi han publicat des de llavors diferents treballs que segueixen aquesta línia d'investigació, centrada en l'anàlisi de la metacognició en situacions de tutoria entre iguals, amb motiu de la tesi doctoral de la primera autora (De Backer, 2015). En comparació de grups de control, la tutoria entre iguals —en aquest cas, amb un tutor i un grup reduït de tutorats— sembla afavorir el desenvolupament individual d'habilitats metacognitives de supervisió, orientació i avaluació (De Backer et al., 2012a, 2012b, 2015b), encara que no es detectin canvis en el coneixement metacognitiu ni en la percepció d'ús d'estratègies metacognitives per part dels estudiants (De Backer et al., 2012a). En la interacció que es produeix a les sessions de tutoria entre iguals, els episodis metacognitius reguladors acostumen a aparèixer amb més freqüència —i profunditat— a mesura que avança la implementació de la intervenció (De Backer, Van Keer, Moerkerke, & Valcke, 2016), tot i que els estudiants tendeixen a usar estratègies de poca profunditat (De Backer et al., 2012b, 2016b). Sembla que explicar i fer preguntes fa augmentar la probabilitat que els estudiants s'involucrin en la regulació compartida de la metacognició; a més, quan aquestes explicacions i preguntes són profundes, la relació amb la regulació compartida de la metacognició és més

forta (De Backer et al., 2015c). Cal continuar explorant l'ús de suports que pot oferir el docent (De Backer, Van Keer, & Valcke, 2016).

En el pla pràctic, les intervencions educatives d'aquests autors posen èmfasi en la formació dels tutors (De Backer, Van Keer, Moerkerke, & Valcke, 2016; De Backer et al., 2012a, 2012b, 2015a, 2015b; De Backer, Van Keer, & Valcke, 2016). Es tracta d'un tema recurrent a la recerca sobre tutoria entre iguals. D'acord amb Roscoe (2014), tot i que la formació pot contribuir a millorar la construcció de coneixement dels tutors (Fuchs et al., 1997; King et al., 1998; McMaster et al., 2006; Rohrbeck et al., 2003), aquests no sempre fan servir les estratègies que se'ls ensenya (Dufrene et al., 2005; King et al., 1998). A més, els tutors també poden dur a terme accions de construcció del coneixement sense haver rebut formació (Roscoe, 2014; Roscoe & Chi, 2007, 2008). Tot i això, d'acord amb Galbraith i Winterbottom (2011), la formació dels tutors és un dels elements clau per a l'èxit de la intervenció (King, 2002; Stenhoff & Lignugaris/Kraft, 2007; Thomas, 1994; Wood & Wood, 2009). Per consegüent, els autors recullen i aporten propostes per a millorar la qualitat de les sessions de tutoria entre iguals, i augmentar així les oportunitats d'aprenentatge dels estudiants que adopten aquest rol.

Aquesta tercera situació primària d'*aprensensyar* —aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència— posa de manifest el paper central de la interactivitat (Duran, 2017; Kobayashi, 2019a). Duran (2016) planteja que un dels reptes principals per a la recerca sobre la interactivitat prové de la dificultat de controlar la variable de la persona o grup de persones a qui es dirigeix l'explicació en contextos d'ensenyament interactius. L'autor afirma que la recerca basada en l'ús d'agents ensenyables —robots socials o programes d'ordinador a qui els estudiants han d'ensenyar (e. g., Biswas et al., 2005; Jamet et al., 2018; Schwartz, Chase, et al., 2009)— pot aportar coneixements interessants al camp d'estudi, ja que controla la variable de l'audiència sense eliminar la interactivitat (Duran, 2016). A continuació, revisarem les contribucions principals de la línia de recerca sobre *aprensensyar* que s'ha centrat en els agents ensenyables.

1.3.3.3. Les aportacions de la recerca sobre agents ensenyables

Els estudis de Serholt et al. (2022) i Pareto et al. (2022), amb estudiants de sisè de primària que juguen a un joc de matemàtiques, són els primers que comparen l'activitat d'ensenyar el material a una altra persona amb l'activitat d'ensenyar-lo a un agent ensenyable —en aquest cas, un robot social. Centrant-se en la

percepció dels estudiants tutors, Serholt et al. (2022) no troben diferències en la percepció d'aprenentatge, en el gaudi, ni en la disposició de tornar a fer la tasca en el futur. No obstant això, sí que troben diferències de percepció a favor de la interacció amb una altra persona en alguns aspectes, com ara més facilitat per a comunicar-se i col·laborar, més claredat de la tasca i més autonomia (i. e., menys necessitat de recórrer a l'ajuda del docent). Quant a l'anàlisi de la interacció, Pareto et al. (2022) troben diferències entre ensenyar a jugar un robot i un infant més petit, que fan pensar que les dues condicions aporten bones oportunitats d'aprenentatge per al tutor, però de formes diferents. Mentre que en la interacció amb el tutorat humà el tutor rep poc feedback i poques preguntes, i fa servir molts gestos i llenguatge implícit —en detriment del llenguatge matemàtic—, en la interacció amb el tutorat robot el tutor rep molts comentaris de feedback, ha de respondre les preguntes complexes del tutorat i ha de fer servir llenguatge matemàtic. Per contra, la interacció amb un infant més petit mostra avantatges pel que fa a la presència d'explicacions elaborades per part del tutor i als esforços del tutor per a involucrar el tutorat en la presa de decisions. L'inici de les interaccions també difereix significativament entre les dues situacions: el robot tutorat inicia la interacció i sovint guia el diàleg, mentre que és el tutor qui duu la iniciativa en la interacció amb el tutorat humà. Aquests autors plantegen la necessitat que les capacitats dels robots socials millorin per tal de superar les limitacions interactives amb el tutor —que limiten el potencial d'*aprensensyar* (Serholt et al., 2022). Des de la perspectiva d'*aprensensyar* a través de la interacció amb altres persones, també és pertinent plantejar-se com els avantatges que sembla oferir un agent ensenyable poden traslladar-se a la interacció amb un tutorat humà. Examinar les característiques dels agents ensenyables ens pot ajudar a fer-ho.

Hi ha dues dimensions que caracteritzen un agent ensenyable: la dimensió del coneixement i la dimensió de la personalitat (Brophy et al., 1999). Quant al coneixement, la característica principal és que l'agent ensenyable està programat per a respondre a partir de la informació que rep per part de l'ensenyant, i així pot millorar les habilitats a mesura que avança la interacció, com a mostra d'aprenentatge (Jamet et al., 2018). El funcionament d'aquests agents ensenyables pot basar-se exclusivament en la informació que reben per part de l'ensenyant (e. g., Leelawong & Biswas, 2008), però també poden estar programats per a cometre errors rellevants per al procés de desenvolupament de l'habilitat en qüestió (Jamet et al., 2018). En interactuar amb el tutor, l'agent

ensenyable exterioritza els processos de pensament i allibera parcialment el tutor de la càrrega cognitiva que implica resoldre la tasca. D'aquesta manera, el tutor pot centrar-se en la supervisió i la regulació dels processos de pensament de l'agent ensenyable, que simulen el pensament humà (Schwartz, Chase, et al., 2009). En canvi, en el cas dels sistemes de tutoria intel·ligent (Kulik & Fletcher, 2016; Mousavinasab et al., 2021; Van Lehn, 2011) —en què el programa informàtic adopta el rol de tutor, en lloc del de tutorat—, podríem dir que fan la funció inversa: ofereixen ajudes personalitzades basades en la supervisió i la regulació del procés d'aprenentatge de l'estudiant, i l'alliberen així d'aquesta càrrega cognitiva per tal que pugui centrar-se en la resolució de la tasca.

Pel que fa a la dimensió de personalitat, fa referència al tarannà que mostra l'agent ensenyable com a aprenent —per exemple, si és impetuós, si escolta i col·labora, o si necessita molts exemples per a entendre el material (Brophy et al., 1999). Algunes d'aquestes característiques tenen a veure amb les habilitats socials dels agents ensenyables (Jamet et al., 2018; Tanaka & Matsuzoe, 2012). Segons Pareto et al. (2022), a diferència de la interacció amb altres humans, en què tant tutors com tutorats són diversos, les situacions d'ensenyar el contingut a un agent ensenyable són més uniformes, ja que és l'agent qui guia i condiciona la interacció a partir de les seves característiques i limitacions.

Els agents ensenyables van prendre inicialment la forma de programes d'ordinador amb una interfície que permetia interactuar amb un estudiant simulat (Brophy et al., 1999; Putnam, 1987). *Betty's Brain* és probablement l'agent ensenyable que disposa de més recerca al seu voltant (Biswas et al., 2016), i ha inspirat el desenvolupament d'altres agents ensenyables (e. g., Matsuda et al., 2020). El sistema ofereix tres funcions principals: ensenyar el material a la Betty a través de la creació d'un mapa causal, fer-li preguntes de pràctica i fer-li fer un examen (Biswas et al., 2016). També s'hi ha inclòs una figura addicional que fa el paper de mentor: a més de retornar les puntuacions dels exàmens de la Betty, ofereix a l'usuari ajudes pràctiques sobre el funcionament de l'eina i pistes metacognitives sobre com revisar el mapa i millorar-lo. Tot i els resultats d'aprenentatge favorables en els primers experiments amb pocs estudiants, el salt a contextos d'aula reals va evidenciar-ne una limitació important: mentre que alguns estudiants eren capaços de treballar autònomament i *aprensenyar* de forma efectiva, d'altres mostraven moltes dificultats i no tenien èxit. En els últims anys, la recerca d'aquest grup d'investigadors s'ha centrat a analitzar la

interacció dels estudiants amb el sistema *Betty's Brain* per a dissenyar estratègies de suport ajustades.

A més dels programes d'ordinador —com *Betty's Brain*—, gràcies als avenços en el desenvolupament de robots socials, la seva introducció a l'àmbit educatiu en planteja l'ús amb diversos rols (Woo et al., 2021), incloent-hi no només el rol de tutor sinó també el de tutorat, com a agents ensenyables (Belpaeme et al., 2018). En una revisió de la literatura centrada en robots hominoides que fan aquesta funció, Jamet et al. (2018) conclouen que aquests agents ensenyables permeten que estudiants de totes les edats —també aquells amb més dificultats d'aprenentatge— progressin en àrees diverses (i. e., lectura, escriptura, llenguatge, raonament, habilitats metacognitives), amb nivells més alts de concentració i implicació a la tasca.

En un article sobre *Betty's Brain*, Chase et al. (2009) encunyen el terme d'*efecte protégé* per a referir-se a l'esforç addicional que fan els estudiants quan ensenyen. Al segon estudi de l'article, els autors exploren possibles mecanismes psicològics que podrien explicar aquest efecte a través de l'anàlisi de protocols de pensament en veu alta. Assenyalen que els estudiants atribueixen estats mentals a l'agent ensenyable, a qui sembla que consideren una entitat semiindependent. A més, reporten que els estudiants que treballen amb l'agent ensenyable, en comparació dels que estudien per a ells mateixos, reconeixen més sovint els errors i també expliciten a què els atribueixen. Segons Chase et al. (2009), aquests resultats es poden interpretar tenint en compte tres factors. En primer lloc, els estudiants poden atribuir els errors de forma externa (i. e., a l'agent ensenyable o a l'ensenyament), en lloc d'atribuir-los internament, fet que els protegeix de generar creences negatives sobre ells mateixos. En segon lloc, els estudiants poden identificar clarament una forma de solucionar l'error (i. e., ensenyar millor a través de corregir els conceptes i connectors del mapa conceptual), fet que no resulta tan senzill en situacions en què s'estudia per a un mateix. En tercer lloc, els estudiants desenvolupen un sentit de responsabilitat vers l'agent ensenyable, fet que pot explicar per què dediquen més temps a revisar la tasca. Tot i que el concepte d'*efecte protégé* resulta incomplet per a explicar la complexitat dels mecanismes d'*aprensenyar*, pot aportar una perspectiva complementària a les interpretacions que es fan des de l'altra línia de recerca.

En resum, els agents ensenyables es dissenyen en forma de sistemes que simulen aprenentatge a partir de la informació que els aporta el tutor humà. Tot i que d'entrada els podríem comparar amb un tutorat que no sap res sobre el material d'estudi, les seves accions no són pròpies d'una persona amb un nivell baix d'expertesa. Jamet et al. (2018) plantegen que la característica principal d'un agent ensenyable és el coneixement d'errors rellevants per al desenvolupament de l'habilitat en qüestió. Així doncs, podríem considerar que l'agent ensenyable té un nivell molt alt d'expertesa.¹⁰ Fins i tot en el cas de *Betty's Brain* (Biswas et al., 2016), que no té coneixement d'aquests errors i es basa exclusivament en la informació que l'agent rep per part de l'ensenyant, la Betty verbalitza les respostes i explica el procés de pensament —activitat que pot resultar difícil als estudiants humans (e. g., Hu & Gao, 2017)—, i l'agent addicional que fa de mentor corregeix els tests i assenyala possibles millores. Com hem vist, Pareto et al. (2022) reporten que l'agent ensenyable, en comparació d'un altre infant, ofereix més comentaris de feedback al tutor, li planteja més preguntes complexes i el duu a fer servir més llenguatge matemàtic. Per tant, en lloc de ser l'equivalent d'un tutorat que no sap res sobre el material, podríem considerar un agent ensenyable com l'equivalent d'un expert que no diu el coneixement a l'estudiant, sinó que el fa servir per a detectar incoherències i plantejar bones preguntes. Com que alguns estudiants poden mostrar dificultats per a treballar autònomament i desenvolupar la tasca amb èxit, caldrà continuar explorant el disseny d'estratègies de suport (Biswas et al., 2016; Matsuda et al., 2020). Un estudi de Chen et al. (2020) mostra que quan l'agent pedagògic alterna el rol de tutorat amb el rol de tutor —quan detecta que l'estudiant té moltes dificultats per a aprendre— genera millors resultats d'aprenentatge i més implicació afectiva, en comparació dels agents que adopten rols fixos de tutor o tutorat. En un estudi amb un altre agent ensenyable, anomenat *SimStudent* —dins del sistema *APLUS*—, els autors troben que ensenyar a ensenyar, a partir d'oferir suports metacognitius a través d'un agent addicional que fa de mentor, facilita l'aprenentatge de l'ensenyant, en comparació d'oferir suports cognitius orientats a la resolució del problema (Matsuda et al., 2022). Els resultats d'aquest últim estudi donarien suport a la necessitat d'oferir formació a l'estudiant que adopta el rol d'ensenyant, per tal que pugui maximitzar les oportunitats d'aprenentatge. En conclusió, són bones

¹⁰ Una cita cèlebre del físic Niels Bohr afirma que un expert és algú que ha comés tots els errors que es poden fer en un camp molt reduït (Mackay, 1991).

notícies per a la recerca i la pràctica que les dues línies d'*aprensensyar* — mitjançant l'ensenyament a altres persones i a agents ensenyables— comencin a trobar-se en estudis que tenen en compte les evidències provinents de les dues àrees i que comparen les dues situacions (e. g., Pareto et al., 2022; Serholt et al., 2022).

1.3.4. Conclusions sobre les evidències d'*aprensensyar*

Comencem a conèixer alguns dels mecanismes que expliquen l'efectivitat d'*aprensensyar*, però cal que la recerca aportï evidències explícitament centrades a contrastar l'efecte dels diferents mecanismes (Lachner et al., 2022). Tot i que la hipòtesi de l'aprenentatge generatiu i la construcció de coneixement és la que ha aportat fins ara més informació sobre el perquè de l'efectivitat d'*aprensensyar*, en el futur caldrà tenir també en compte les hipòtesis de l'evocació i de la presència social (Kobayashi, 2022a; Lachner et al., 2022) en les diferents situacions primàries d'*aprensensyar*, així com les condicions que potencien o limiten l'efectivitat de cada situació.

Les revisions de la literatura sobre *aprensensyar* (e. g., Duran, 2017; Kobayashi, 2019a, 2019b, 2022b; Lachner et al., 2022) han fet l'esforç d'ordenar les evidències d'aquesta mena de pràctiques, per tal d'ajudar a comprendre'n el perquè de l'efectivitat. Totes les revisions coincideixen que, amb unes condicions determinades que en potencien o limiten l'efecte, hi ha una gran quantitat d'evidències que donen suport a les pràctiques d'*aprensensyar*. En aquesta introducció, les hem recollides al voltant de les tres situacions primàries: aprendre preparant-se per a ensenyar, aprendre exposant sense intervenció verbal de l'audiència i aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència. En aquest ordre, cal entendre cadascuna d'aquestes situacions primàries dins del marc general d'*aprensensyar* que configuren les tres situacions. D'una banda, a mesura que avancem d'una situació a una altra, la situació primària següent parteix de les situacions anteriors, i fa una contribució addicional al potencial d'aprenentatge per a l'ensenyant (Bargh & Schul, 1980; Duran, 2016, 2017, 2023; Kobayashi, 2022a). D'altra banda, quan en una situació primària l'estudiant anticipa mentalment les situacions següents, és probable que el potencial d'aprenentatge sigui més elevat, tal com suggereixen els estudis que reporten aquesta mena de discurs imaginat (Galbraith & Winterbottom, 2011; Lim et al., 2021; Wang et al., 2021). Hem assenyalat en les tres situacions primàries el fet que la interactivitat (i. e., el nivell d'interacció esperat o real

entre l'ensenyant i l'audiència) sembla jugar un paper clau en l'efecte d'*aprensensyar* sobre els resultats d'aprenentatge (Duran, 2017; Kobayashi, 2019a), tot i que la relació entre la presència social i aquests resultats és complexa (e. g., Cheng et al., 2023; Lachner et al., 2022). Tal com assenyalen Cheng et al. (2023), un dels reptes principals té a veure amb trobar el grau òptim de presència social. Mentre que un nivell moderat de presència social pot tenir efectes motivadors positius, un nivell massa elevat pot generar efectes distractors negatius per a l'aprenentatge. També hem vist que, en les tres situacions, els estudis han analitzat de diferents maneres els processos afectius i de motivació, així com els processos cognitius i metacognitius.

Dèiem al principi de la introducció que el concepte d'*aprensensyar* fa referència a les oportunitats d'aprenentatge que l'activitat d'ensenyar genera per a la persona que ensenya quelcom a algú altre. Hi indicàvem també que la distinció entre les dues línies de recerca provinents d'àrees de coneixement diferents —ciències socials i ciències de la computació— la podem trobar en la caracterització que fan d'aquest *algú altre* a qui es dirigeix l'ensenyament. De fet, tant si es tracta d'una audiència humana real, potencial o imaginària, com si es tracta d'un agent ensenyable, el fet que es tingui la intenció d'ensenyar un destinatari és l'element clau d'*aprensensyar* (Kobayashi, 2023), fet que el diferencia d'altres activitats generatives.¹¹

A parer nostre, la hipòtesi de la presència social (Lachner et al., 2022) argumenta, de forma encertada, que la mesura en què els estudiants duen a terme els processos generatius depèn de com es representen mentalment l'audiència a qui es dirigeix l'activitat d'ensenyament. Tanmateix, fins ara, la majoria d'estudis que adopten aquesta perspectiva s'ha centrat a mesurar quantitativament la sensació de presència social que tenen els estudiants, a partir del nombre de referències personals que fan servir, del nivell d'activació o de la motivació vers la tasca. En canvi, no han abordat com la representació mental de l'audiència —és a dir, la forma en què l'estudiant pensa en el destinatari de l'ensenyament— influeix en l'afecte, la motivació i la (meta)cognició i, per consegüent, en els resultats d'aprenentatge.

¹¹ Fiorella i Mayer (2016) fan una revisió de vuit estratègies per a promoure l'aprenentatge generatiu: resumir, fer mapes mentals, dibuixar, imaginar, fer autotests, fer autoexplicacions, ensenyar i fer moviments. Posteriorment, Fiorella (2023) presenta un marc explicatiu de la creació de significat, basat en la recerca sobre les activitats d'aprenentatge generatiu.

En participar en situacions d'*aprensenyar*, l'estudiant adopta, a més de la posició d'aprenent, una nova posició: la d'ensenyant. En aquest tipus de situacions, des de la perspectiva del *self* dialògic (e. g., Hermans, 2001; Meijers & Hermans, 2018; Monereo & Hermans, 2023; Raggatt, 2015), l'aprenentatge es produeix gràcies al diàleg intern amb un mateix, que s'estableix, almenys, entre les dues posicions internes de qui ensenya (i. e., la posició d'aprenent i la d'ensenyant) i dues posicions externes: la veu —o representació mental— del destinatari a qui s'ensenya i la del material d'estudi.¹² Segurament, cal afegir a aquest diàleg intern la veu del docent, que és qui organitza la tasca i, alhora, el model principal que té l'estudiant quant al que suposa l'activitat d'ensenyar.¹³ En contextos experimentals, cal tenir en compte també com la veu de l'experimentador pren part en aquest diàleg intern.

1.4. Justificació i estructura de la tesi doctoral

Acabem de revisar les tres situacions primàries d'*aprensenyar*: aprendre preparant-se per a ensenyar, aprendre exposant sense intervenció verbal de l'audiència i aprendre explicant en interacció verbal amb l'audiència. D'aquestes situacions, se'n desprenen diferents formes d'implementació amb els estudiants.

Tal com hem vist, la majoria d'evidències provenen de pràctiques de tutoria entre iguals, que posen en joc les tres situacions primàries d'*aprensenyar*. Per la seva banda, les presentacions orals davant d'una audiència passiva esdevenen probablement el màxim exponent de les pràctiques que posen en joc les dues primeres situacions primàries d'*aprensenyar*. Tanmateix, resulta més complicat pensar en una pràctica que posi en joc exclusivament la primera situació primària: aprendre preparant-se per a ensenyar. De fet, gairebé tots els estudis experimentals que estudien l'expectativa d'ensenyar ho fan “enganyant” els participants: fent-los creure que hauran d'ensenyar el material després

¹² La teoria del *self* dialògic conceptualitza la identitat individual (i. e., el *self*) com una multiplicitat de posicions entre les quals l'individu es mou de forma imaginària, en funció del temps i del context en què es troba. En aquest procés mental, l'individu és capaç d'atribuir una veu a cada posició, fet que permet que s'estableixin relacions de diàleg entre les diferents posicions (Hermans, 2001).

¹³ Segurament, organitzar aquest tipus de tasques genera també implicacions en la identitat del docent, que adopta un rol diferent —i, per tant, una nova posició (Monereo & Badia, 2020; Monereo & Hermans, 2023)— en compartir la capacitat d'ensenyar amb els estudiants (Duran, 2016; Duran et al., 2019).

d'estudiar-lo, però evitant que finalment l'ensenyin. Alguns estudis ho fan dient als participants que el company a qui havien d'ensenyar finalment no ha pogut venir (e. g., Daou, Buchanan, et al., 2016). És clar que aquesta no és una opció sostenible si volem posar en joc de forma habitual amb els estudiants la primera situació primària d'*aprensenyar*.

Assenyalàvem anteriorment que el concepte d'*aprensenyar* fa referència al potencial d'aprenentatge per a l'ensenyant, independentment del tipus de situació en què es produeix l'activitat d'ensenyar. Des del desenvolupament inicial en situacions de tutoria entre iguals, aquest procés d'ampliació conceptual ha estat acompanyat d'estudis experimentals que no sempre requereixen la presència de l'estudiant tutorat, sinó que sovint es limiten a plantejar situacions fictícies en què l'ensenyament es produeix de forma indirecta, com ara a través d'un vídeo o d'un text (Kobayashi, 2019a, 2019b; Lachner et al., 2022). A la pràctica, aquests productes que es generen quan els estudiants ensenyen de forma indirecta es poden considerar materials didàctics —artefactes creats amb l'objectiu que altres persones puguin aprendre.

Reprement el dubte sobre com fer sostenible la pràctica habitual d'aprendre amb l'expectativa d'ensenyar, probablement l'única manera de fer-ho és a través de la creació d'un material didàctic. En crear-ne un, es combinen la preparació del contingut i l'elaboració d'una exposició indirecta, amb l'expectativa que aquell material sigui posteriorment emprat per altres persones amb la finalitat d'aprendre. Una de les limitacions principals de la línia de recerca sobre *aprensenyar* de forma indirecta o no interactiva és que la gran majoria d'estudis es duen a terme amb estudiants universitaris en contextos experimentals, amb algunes excepcions (Hoogerheide et al., 2014; Hoogerheide, Visee, et al., 2019; Jacob et al., 2022; Muis et al., 2016; Wang et al., 2021).

Per tant, cal analitzar el salt d'*aprensenyar* de forma indirecta a contextos naturals —especialment a educació primària i secundària— i cal continuar examinant els possibles mecanismes que n'expliquen l'efectivitat (Kobayashi, 2022a; Lachner et al., 2022). Així mateix, el salt a contextos naturals exigeix que s'explori la relació del concepte d'*aprensenyar* de forma indirecta —provinent de la psicologia de l'educació— amb conceptes propers provinents d'altres camps d'investigació, com ara la recerca educativa. Els articles d'aquesta tesi per compendi de publicacions s'organitzen al voltant d'aquests dos reptes, que

defineixen els objectius principals del treball. Per a cada article, s'indiquen diferents índexs de qualitat de la revista.¹⁴

Primer objectiu. Revisar la literatura sobre la creació de materials didàctics per part d'estudiants.

Primerament, es duu a terme una revisió panoràmica de la literatura, per tal de delimitar el camp d'investigació dels materials didàctics generats per estudiants (Article 1, Ribosa & Duran, 2022c). Posteriorment, s'examina l'efecte d'aquesta mena de pràctiques sobre l'aprenentatge del contingut d'aquells estudiants que creen els materials (Article 2, Ribosa & Duran, 2022a).

Article 1. Ribosa, J., & Duran, D. (2022c). Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field. *Education in the Knowledge Society*, 23, Article 27443. <https://doi.org/10.14201/eks.27443>

JCR 21: n/d

JCI 21: 1,53 (Q1)

SJR 22: n/d¹⁵

IDR 21: 1,40 (Q1)

Article 2. Ribosa, J., & Duran, D. (2022a). Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching. *Educational Research Review*, 37, Article 100475. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100475>

JCR 21: 10,207 (Q1)

JCI 21: 2,64 (Q1)

SJR 22: 3,27 (Q1)

IDR 21: n/d

Segon objectiu. Planificar, implementar i avaluar una proposta d'intervenció pràctica basada a *aprensenyar* de forma indirecta a educació primària.

La proposta d'intervenció dissenyada rep el nom de Projecte Bikos. En aquesta proposta, parelles d'estudiants elaboren cooperativament videotutorials per a una audiència potencial a partir de la pròpia curiositat científica, per tal de respondre una pregunta sobre el món que ells mateixos plantegen. La descripció de la proposta i els resultats d'un pretest-posttest sobre el coneixement específic es presenten als Articles 3 i 4 (Ribosa & Duran, 2021b, 2022d). Aquests resultats

¹⁴ S'indiquen els índexs següents: Journal Citation Reports (JCR) i Journal Citation Indicator (JCI), categoria *Education & Educational Research*; SCImago Journal Rank (SJR), categoria *Education*; Índice Dialnet de Revistas (IDR), categoria *Educación*. Al moment de consulta (18 de maig de 2023), les últimes edicions disponibles són les següents: JCR 2021, JCI 2021, SJR 2022 i IDR 2021. Si és possible, es reporten els índexs de l'any de publicació de l'article; si no és possible, es reporten els de l'última edició disponible.

¹⁵ Al moment d'enviar l'article, la revista se situava al Q2 (SJR 21), però l'any 2022 ha estat descatalogada de la base de dades Scopus.

pretest-posttest es complementen amb l'anàlisi de la percepció dels estudiants (Article 3, Ribosa & Duran, 2022d) i de la qualitat dels productes que generen (Article 4, Ribosa & Duran, 2021b). A més, s'analitza l'evolució de la percepció de presència social durant el procés d'elaboració del videotutorial, així com la interacció d'una mostra de parelles d'estudiants des d'aquesta perspectiva (Article 5, Ribosa & Duran, 2023c).

Article 3. Ribosa, J., & Duran, D. (2022d). Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity. *Research in Science & Technological Education*. Publicació avançada en línia.

<http://doi.org/10.1080/02635143.2022.2116419>

JCR 21: 1,697 (Q4)	JCI 21: 0,93 (Q2)	SJR 22: 0,61 (Q2) ¹⁶	IDR 21: n/d
--------------------	-------------------	---------------------------------	-------------

Article 4. Ribosa, J., & Duran, D. (2021b). Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: Conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 85–101.

<https://doi.org/10.35362/rie8724572>

JCR 21: n/d	JCI 21: n/d	SJR 21: n/d	IDR 21: 0,45 (Q2)
-------------	-------------	-------------	-------------------

Article 5. Ribosa, J., & Duran, D. (2023c). Students' feelings of social presence when creating learning-by-teaching educational videos for a potential audience. *International Journal of Educational Research*, 117, Article 102128. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.102128>

JCR 21: 2,845 (Q2)	JCI 21: 1,48 (Q1)	SJR 22: 1,02 (Q1)	IDR 21: n/d
--------------------	-------------------	-------------------	-------------

A continuació, es presenten aquests cinc articles al segon apartat de la tesi doctoral. Al tercer apartat, s'hi resumeixen els resultats i la discussió, al voltant dels dos objectius principals del treball. Finalment, a l'apartat de conclusions, s'hi assenyalen les contribucions de cadascun dels dos objectius, amb les limitacions corresponents i les línies futures de recerca que se'n desprenen.¹⁷

¹⁶ L'any 2022, la revista és Q2 a la categoria *Education*, i Q1, a la categoria *Multidisciplinary*.

¹⁷ El tercer i el quart apartat de la tesi doctoral (i. e., el resum de resultats i discussió, i les conclusions) s'han escrit també en anglès per a l'obtenció de la menció internacional.

2. Còpia dels articles publicats

En aquest apartat, s'hi adjunten els articles publicats amb motiu d'aquesta tesi doctoral per compendi de publicacions. A més de trobar-los a les pàgines següents de la tesi, tots els articles es troben disponibles en obert, excepte l'Article 3 (Ribosa & Duran, 2022d), del qual s'adjunta la versió acceptada.

Article 1. Ribosa, J., & Duran, D. (2022c). Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field. *Education in the Knowledge Society*, 23, Article 27443. <https://doi.org/10.14201/eks.27443>

Article 2. Ribosa, J., & Duran, D. (2022a). Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching. *Educational Research Review*, 37, Article 100475. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100475>

Article 3. Ribosa, J., & Duran, D. (2022d). Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity. *Research in Science & Technological Education*. Publicació avançada en línia. <http://doi.org/10.1080/02635143.2022.2116419>

Article 4. Ribosa, J., & Duran, D. (2021b). Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: Conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 85–101. <https://doi.org/10.35362/rie8724572>

Article 5. Ribosa, J., & Duran, D. (2023c). Students' feelings of social presence when creating learning-by-teaching educational videos for a potential audience. *International Journal of Educational Research*, 117, Article 102128. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.102128>

2.1. Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field

Resum

Els estudiants poden crear productes que prenguin la forma de materials didàctics. S'ha dut a terme una revisió panoràmica de la literatura per a mapar el camp de recerca dels materials didàctics generats per estudiants, centrant-se en els tipus de productes, les fonts d'informació, els aspectes relacionats amb l'aprenentatge i les explicacions dels investigadors. A partir de l'anàlisi de 280 articles, s'han identificat quatre tipus de productes: materials audiovisuals, preguntes, textos i jocs educatius. Els estudis van recopilar informació sobre la creació del producte, l'ús del producte, les percepcions dels participants i els resultats d'aprenentatge. Es van reportar aspectes socio-cognitius i de motivació relacionats amb l'aprenentatge dels creadors i usuaris, pel que fa al contingut, les competències transversals, les emocions acadèmiques i la implicació — *engagement*. En aquests estudis, els investigadors van interpretar els resultats basant-se en nou explicacions diferents: aprenentatge actiu, efecte audiència, construcció de coneixement, aprendre ensenyant, processos de motivació, aprenentatge entre iguals, el paper de les TIC, bastida, i l'efecte de la pràctica i el temps a la tasca. Es discuteixen diferents línies de recerca futura, relacionades amb les etapes educatives i les àrees de coneixement, els dissenys de recerca i la relació entre recerca i pràctica.

Paraules clau: aprenentatge actiu; materials didàctics; aprendre ensenyant; aprenentatge centrat en l'estudiant; materials desenvolupats per estudiants.

Referència

Ribosa, J., & Duran, D. (2022c). Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field. *Education in the Knowledge Society*, 23, Article 27443. <https://doi.org/10.14201/eks.27443>



Student-Generated Teaching Materials: A Scoping Review Mapping the Research Field

Materiales didácticos generados por los estudiantes: una revisión panorámica para mapear el campo de investigación

Jesús Ribosa^{a*}, David Duran^b

^a Departament de Psicologia Bàsica, Evolutiva i de l'Educació, Universitat Autònoma de Barcelona, España.

<https://orcid.org/0000-0002-3551-0022> jesus.ribosa@uab.cat

^b Departament de Psicologia Bàsica, Evolutiva i de l'Educació, Universitat Autònoma de Barcelona, España.

<https://orcid.org/0000-0002-0640-3834> david.duran@uab.cat

(*) Autora de correspondencia / Corresponding author

ARTICLE INFO

Keywords

Active learning; Instructional materials; Learning by teaching; Student-centered learning; Student-developed materials.

Palabras clave

Aprendizaje activo; Materiales didácticos; Aprender enseñando; Aprendizaje centrado en el estudiante; Materiales desarrollados por estudiantes.

ABSTRACT

Students can create products that take the form of instructional materials. A scoping review was carried out to map the research field of student-generated teaching materials, focusing on product types, information sources, learning-related matters, and researchers' explanations. Based on 280 articles, four product types were identified: audio/visual materials, questions, texts, and educational games. Studies gathered information from product creation, product use, participants' perceptions, and learning outcomes. Socio-cognitive and motivational learning-related matters for creators and users were reported concerning the subject matter, cross-curricular competencies, academic emotions, and engagement. In these studies, researchers interpreted their findings based on nine different explanations: active learning, audience effect, knowledge building, learning by teaching, motivational processes, peer learning, the role of ICT, scaffolding, and time-on-task and practice effect. Different lines for future research are discussed, related to the educational stages and knowledge areas, the research designs, and the relationship between research and practice.

RESUMEN

Los estudiantes pueden crear productos que tomen la forma de materiales didácticos. Se llevó a cabo una revisión panorámica de la literatura para mapear el campo de investigación de los materiales didácticos generados por estudiantes, centrándose en los tipos de productos, las fuentes de información, los aspectos relacionados con el aprendizaje, y las explicaciones de los investigadores. A partir del análisis de 280 artículos, se identificaron cuatro tipos de productos: materiales audiovisuales, preguntas, textos y juegos educativos. Los estudios recopilaban información de la creación del producto, el uso del producto, las percepciones de los participantes y los resultados de aprendizaje. Se reportaron aspectos sociocognitivos y motivacionales relacionados con el aprendizaje de los creadores y usuarios, en referencia al contenido, las competencias transversales, las emociones académicas y la implicación *-engagement-*. En estos estudios, los investigadores interpretaron sus hallazgos basándose en nueve explicaciones diferentes: aprendizaje activo, efecto audiencia, construcción de conocimiento, aprender enseñando, procesos motivacionales, aprendizaje entre iguales, el papel de las TIC, andamiaje, y el efecto de la práctica y el tiempo en la tarea. Se discuten diferentes líneas de investigación futura, relacionadas con las etapas educativas y las áreas de conocimiento, los diseños de investigación, y la relación entre investigación y práctica.

1. Introduction

With the increase of student-centered practices mainly based on Dewey's learning by doing (1938), students have been more and more involved in active tasks that usually require them to generate products. From a historical perspective, the potential of generating artefacts has been highlighted both for their cultural function and for the thinking processes of the artefact creators (Bruner, 1996; Meyerson, 1948; Wertsch, 1985). There are plenty of external representation systems that can act as an extension of memory but also enable new ways of knowing and operating on symbolic worlds (Pérez-Echeverría et al., 2010; Vygotsky, 1978). When students generate artefacts, they can learn how to use external representation systems as epistemic tools to boost their thinking processes.

Student-generated artefacts may adopt many different forms and respond to several purposes (Snelson, 2018). Sometimes these products aim to show the community what students have been working on and celebrate learning, as usually happens in project-based learning (Chen & Yang, 2019). However, other products might take the form of instructional materials, that is, artefacts that can be used by others to learn. In this case, the students who create the product expect that someone will use the artefact with learning purposes, just as teachers do when they create instructional or teaching materials.

Several literature reviews on the use of videos for teaching and learning found that one of its least frequent uses has to do with its creation by the students (Kay, 2012; McGarr, 2009; Winslett, 2014). The emergence and development of Web 2.0 authoring tools may foster the possibilities of having students create content in multiple forms, such as audio and video podcasting, blogging, social bookmarking, social networking, virtual world activities, and wiki writing (Gray et al., 2010), as well as educational computer games (Hava & Cakir, 2017). Most literature reviews on student-generated materials focused on media creation.

Snelson's (2018) review on video production in content-area pedagogy analyzed 61 studies from 20 different content areas. Other literature reviews focused on specific content areas. This is the case of Reyna and Meier (2018a), who analyzed student-generated media in tertiary science education; Gallardo-Williams et al. (2020), who focused on student-generated video in chemistry education; and Farrokhnia et al. (2020), who explored the creation of stop-motion animation in science classes. Some common trends emerge from the findings of these literature reviews.

First, even when the focus is on specific products, prior literature reviews found a wide diversity of student-generated materials. Moreover, these different kinds of products could adopt several purposes. For instance, Snelson (2018) points to five purposes for video production: information-oriented videos, which had students present course-related topics; performance-oriented videos, used to document, reflect on, or critique performance skills; composition-oriented videos, which emphasized multimodal composition with images, text, and sound; literacy-oriented videos, which underlined the development of one or more literacies; and creativity-oriented videos, focused on the development and expression of creativity.

Second, the studies analyzed in these literature reviews reported cognitive and motivational learning outcomes. Within the cognitive outcomes, all prior literature reviews point to both domain-specific knowledge and domain-general skills (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018a; Snelson, 2018). To explore these outcomes, data has been gathered from different sources. For instance, Snelson (2018) reported that the studies gathered data from learner perceptions, the video creation process, the assessment of the final video, or a combination of them. Other reviews also reported the use of grade point average and exam scores (Farrokhnia et al., 2020; Reyna & Meier, 2018a).

Third, practices involving the generation of materials by students may take place in different education settings and stages, although higher education gathers most studies (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018a; Snelson, 2018). The wide diversity in terms of products, purposes and education settings poses some issues regarding the decisions that must be made in each specific practice to support student generation of materials —for instance, related to scaffolding techniques, student grouping and topic selection (Farrokhnia et al., 2020).

Fourth, to a greater or lesser extent, all prior literature reviews suggest an attempt to find a shared theoretical framework for practices involving student-generated materials. This is explicitly stated by Reyna and Meier (2018a), who developed a practical model (Reyna & Meier, 2018b) and a taxonomy of digital media types (Reyna et al., 2017) to guide academics and students on the implementation of practices involving the student generation of media.

As pointed out by Gray et al. (2010), having students in the role of content creators might eventually form a collection of learning resources for other students, in line with Contributing Student Pedagogy (CSP), first formulated by Collis and Moonen (2005). Founded upon constructivism and socio-cultural constructivism, CSP

emphasizes the process of learning by engaging students as co-creators of learning resources (Hamer et al., 2012). Its definition includes two components: having students contribute to the learning of others—as content creators—and value the contributions of others—as content users— (Hamer et al., 2008). According to Hamer et al. (2008, p. 194), in CSP “the roles and responsibilities of ‘teacher’ and ‘student’ are fluid”. The implications of this sentence—students can act as teachers—resonate with another theoretical perspective that has backed up the student creation of teaching materials: learning by teaching, which emphasizes the learning opportunities for students in the teacher’s role (Duran, 2017; Duran & Topping, 2017; Fiorella & Mayer, 2014; Hoogerheide et al., 2019; Kobayashi, 2019; Roscoe, 2014).

In a nutshell, the field of study of student-generated teaching materials remains rather disorganized. There are dispersed studies and separate lines of research that mainly focus on specific products, rather than on the psychological processes involved in the creation of teaching materials. Some attempts have been made to find a shared theoretical framework, such as contributing student pedagogy (Hamer et al., 2008) and learning by teaching (Duran & Topping, 2017). With the aim of mapping the research field, this literature review takes the form of a scoping review (Arksey & O’Malley, 2005; Pham et al., 2014). Four research questions are addressed:

- (1) What types of products do students generate as teaching materials?
- (2) What sources of information do studies collect data from?
- (3) What learning-related matters do studies analyze?
- (4) What explanations do researchers use to discuss their findings?

2. Method

2.1. Type of literature review

A scoping review was carried out (Arksey & O’Malley, 2005; Pham et al., 2014), since it is appropriate for a complex area that has not been reviewed comprehensively before (Arksey & O’Malley, 2005). Scoping reviews aim at mapping the literature of the topic to identify key concepts, research gaps, and types and sources of evidence to inform practice, policymaking, and research (Daudt et al., 2013). Unlike other kinds of reviews, they provide an initial indication of the potential size and nature of the extant literature on a topic, focusing on the breadth of coverage of the literature rather than the depth of coverage, with the goal of being as comprehensive as possible (García-Peñalvo, 2022; Paré et al., 2015).

2.2. Information sources, search process and study selection

After defining the research questions, relevant studies were identified in a first search. This enabled the definition of search terms (Table 1), as well as the elaboration of the following eligibility criteria—to accept only articles:

- Published in peer-reviewed journals, to promote higher standards of research quality. This excludes papers published in conference proceedings, reports, and doctoral theses.
- In which data is systematically gathered. This excludes articles describing projects without gathering any data on the assessment of the project implementation, as well as anecdotal evidence.
- That report students creating teaching materials, with the aim that the addressee learns from it. This excludes student-generated materials with other purposes rather than teaching, such as entertaining or expressing artistically.
- In which the teaching material is intentionally created by students with the expectation that a real, potential, or imaginary addressee can learn from it. This excludes articles that report students creating content as a learning task only directed to the teacher or with no addressee.
- In which the teaching material created by students allows the addressee to autonomously learn from it. This excludes articles that report students creating materials to be used as a support for their interaction with the addressee, such as in peer tutoring or oral presentations before the class.
- In which the focus of the study is on student-generated teaching materials. This excludes articles in which student-generated teaching materials are not the focus, are among other kinds of products or are only a small part of the study.

Table 1. Search terms

Concepts	Related search terms
Student-generated	"student-generated" OR "student-created" OR "student-produced" OR "student-made" OR "pupil-generated" OR "pupil-created" OR "pupil-produced" OR "pupil-made" OR "learner-generated" OR "learner-created" OR "learner-produced" OR "learner-made" OR "generative learning"
Materials	material OR artefact OR content OR resource OR tutorial OR media OR video OR screencast OR podcast OR digital story OR animation OR question OR multiple-choice OR textbook OR book OR wiki OR blog
Learning by teaching	"learning-by-teaching" OR "peer instruction" OR "peer-to-peer instruction" OR "peer teaching" OR "student-as-teacher"

At the end of February 2020, four databases were used to find relevant articles—ERIC, PsycInfo, Scopus and Web of Science—, from any educational stage and publication year, using keywords and Boolean operators (OR between related search terms, AND between concepts). Search results were 89 documents in ERIC, 20 in PsycInfo, 5 in Scopus, and 10 in Web of Science. The eligibility criteria were used, reading the abstract and checking the full article if necessary. Considering duplicates and eligibility criteria, 7 articles were selected. After reading these remaining articles, the search terms were refined to spot some other articles that might not be explicitly using keywords related to learning by teaching. Considering that this would be tackled by the eligibility criteria, the terms related to the concept of learning by teaching were excluded. The other two concepts were combined in the search terms, considering the different kinds of materials (i.e., "student-generated media"). This second search obtained much bigger results: 2360 in ERIC, 61 in PsycInfo, 487 in Scopus and 203 in Web of Science. Considering duplicates and eligibility criteria, a total of 225 articles were selected—including the 7 articles selected from the first search. Snowballing, that is, checking the reference list of a paper to identify additional studies (Wohlin, 2014), was carried out in the prior literature reviews. After considering eligibility criteria, 55 additional articles were selected. This makes a total of 280 articles selected for this scoping review (see Supplemental online material).

2.3. Data collection and analysis

The two authors first read 20 articles and took notes as a starting point for content analysis, which was later carried out with the 280 articles by the first author using the data analysis computer program Atlas.ti 8. As suggested by Arksey and O'Malley (2005), both general information about each study and specific information related to the research questions were gathered. During the analysis, the two authors discussed when necessary to tackle the coding issues. Several emerging themes were defined and redefined during the process, until reaching agreement. At the end of the analysis, a meeting between the authors took place to summarize and interpret the results.

3. Results

The findings of the scoping review on student-generated teaching materials are presented for each of the four research questions below. A summary of data can be consulted in Supplemental online material.

3.1. Types of generated products

The analysis of the articles shows a wide variety of interventions involving student-generated materials. This literature review focuses on type of product, considering that as a first step towards the understanding and spread of this kind of educational practices it is necessary to identify the artefacts that can fulfil a learning-by-teaching function.

Four main groups of student-generated teaching materials are identified: audio/visual materials (145 articles), questions (55), texts (49), and educational games (29). Ten articles could have been classified into different groups, because they asked students to generate different kinds of products. They were only classified in one of the groups based on which the most prominent product was. Two articles could not be classified in any group: creation of a model for the environmental knowledge of blind students (Papadopoulos, 2004), and creation of

drawings and sculptures to represent pollination (Danish & Enyedy, 2007). General features of the articles are presented in Table 2. Percentages are calculated over total articles for the group of articles referred to in each column: Audio/visual materials (145), Questions (55), Texts (49), Educational games (29), Total (280). Consider that two articles are not included in any of the four groups of products but only in the total.

Table 2. General features of included articles

	Audio/visual		Questions		Texts		Ed. games		Total	
	<i>f</i>	%	<i>f</i>	%	<i>f</i>	%	<i>f</i>	%	<i>f</i>	%
Publication year										
Feb. 2020-2016	70	48.28	26	47.27	12	24.49	9	31.03	117	41.79
2015-2012	51	35.17	14	25.45	15	30.61	9	31.03	89	31.79
2011-2008	20	13.79	6	10.91	8	16.33	8	27.59	42	15.00
2007-2004	1	0.69	4	7.27	4	8.16	0	0.00	11	3.93
2003-2000	1	0.69	1	1.82	3	6.12	0	0.00	5	1.79
<2000	2	1.38	4	7.27	7	14.29	3	10.34	16	5.71
Educational stage										
Higher ed.	108	74.48	45	81.82	42	85.71	10	34.48	205	73.21
Secondary ed.	19	13.10	7	12.73	5	10.20	10	34.48	42	15.00
Primary ed.	11	7.59	3	5.45	2	4.08	9	31.03	25	8.93
Multiple stages	7	4.83	0	0.00	0	0.00	0	0.00	8	2.86
Knowledge area										
Formal sciences	6	4.14	1	1.82	0	0.00	2	6.90	9	3.21
Natural sciences	30	20.69	14	25.45	10	20.41	8	27.59	63	22.50
Social sciences	66	45.52	17	30.91	26	53.06	13	44.83	123	43.93
Applied sciences	31	21.38	22	40.00	10	20.41	6	20.69	69	24.64
Humanities	3	2.07	0	0.00	2	4.08	0	0.00	5	1.79
Multiple areas	9	6.21	1	1.82	1	2.04	0	0.00	11	3.93
Research design										
RCT	3	2.07	1	1.82	1	2.04	0	0.00	5	1.79
Quasi-experimental	16	11.03	10	18.18	4	8.16	6	20.69	37	13.21
Correlational	9	6.21	9	16.36	0	0.00	0	0.00	18	6.43
Mixed methods	21	14.48	8	14.55	10	20.41	5	17.24	44	15.71
Case study	28	19.31	4	7.27	11	22.45	10	34.48	54	19.29
Descriptive	61	42.07	23	41.82	22	44.90	6	20.69	112	40.00
Participatory	7	4.83	0	0.00	1	2.04	2	6.90	10	3.57

Note: Educational stage coded based on content creator. RCT stands for Randomized Controlled Trial.

Data shows a substantial increase in the number of publications in the recent years, especially in audio/visual materials and questions. As regards educational stage, most articles come from higher education, except for the group of educational games—which shows a balance between higher, secondary, and primary education. Concerning knowledge area, social sciences gather nearly half of the articles, but natural sciences and applied sciences reach considerable frequencies as well. As for research design, most studies adopt a descriptive design, with case study, mixed methods and quasi-experimental designs following far behind. As regards quasi-experimental designs: 10 articles carry out one-group pretest-posttest designs, 14 posttest-only control group designs, and 13 pretest-posttest control group designs. As for mixed methods designs: 14 articles adopt triangulation designs, 23 embedded designs—4 embedded correlational and 19 embedded quasi-experimental—and 8 explanatory designs. Within embedded and explanatory designs: 5 articles make use of one-group pretest-posttest designs, 11 posttest-only control group designs, and 8 pretest-posttest control group designs.

3.1.1. Student-generated audio/visual materials

145 articles reported interventions in which students generated audio/visual materials, gathering a wide variety of products: photos, posters, slide presentations, comics, storyboards, campaigns, audio podcasts, and videos. Videos are especially flexible, and can adopt different formats, such as screencasts, video tutorials, video blogs, video lectures, narrated videos, recorded events, documentaries, and digital storytelling. The products can be created in groups or individually. Student-generated media can be used in the class context, but they can also involve the educational community both in the creation and as audience.

3.1.2. Student-generated questions

55 articles reported interventions in which students generated questions, tests, exercises, or practice activities for others. Different kinds of tasks are included (i.e., matching, true or false, short-answer, multiple-choice). Students may also be asked to generate feedback for potential answerers. Questions may be created and published on its own or may belong to a test or a vignette created by the students. The creators can also be asked to use and cite peer-generated questions to create a test. Student-generated questions are usually created individually, but collaboration may emerge in the form of peer review. They are used in virtual platforms, discussions in class, mock exams or even in final exams.

3.1.3. Student-generated texts

49 articles reported interventions in which students generated text entries. Although these text entries could also contain multimedia and/or questions, they were included in this group of materials considering the main role of text in hypertext products. Many of these interventions take the form of student-led wikis, which become living textbooks, but there are also other kinds of products that work as student-generated texts, such as blogs, websites, eBooks, magazines, shared lecture notes and argumentative letters. Although text entries can be created in groups or individually, tasks usually show a collaborative nature either throughout the creation process or in peer review and further use. These student-generated texts are usually used in the course as learning and study resources.

3.1.4. Student-generated educational games

29 articles reported interventions in which students generated educational games— games with an educational purpose besides entertainment. Although some of them might be based on the creation of questions or involve the generation of audio/visual elements, they were included in this group considering the game genre. These interventions include the creation of board games, puzzles, quiz games, videogames, PowerPoint games, simulations, and virtual worlds. These interventions may involve the creation of instructions so that the user is clear about the goal and the mechanics of the game. The products can be created in groups or individually. Even when created individually, collaboration is usually present either by informally asking peers for help or by playing others' games and providing feedback. Student-generated educational games are usually designed and used as practice or review materials for peers, or as teaching materials for younger students. Pilot testing is often carried out, with the target users or with peers.

3.2. Sources of information

The analyzed articles collect data from four main sources of information: product creation, use of the product, participants' perceptions, and learning outcomes.

3.2.1. Product creation

145 articles obtain information from the analysis of the product creation process and/or the final output generated by students. The former includes observations, field notes, logs, think-aloud protocols, intermediate

documents, or activities, and reported time invested in creating the material. The latter considers the assessment of the final teaching material.

3.2.2. Use of the product

65 articles obtain information from the analysis of the use that other people make of student-generated materials. It includes its use in course activities, mock exams or tests, and events for sharing the teaching material with the target audience. Data is mainly gathered through indicators of use of the teaching material, such as user logs, ratings, comments, and reported time invested in using the material.

3.2.3. Participants' perceptions

226 articles obtain information from the analysis of perceptions of participants in the intervention: mainly students—who can act as creators or users of the materials—, but also teachers, and even parents in few cases. These are gathered by means of surveys, self-report questionnaires, interviews, focus groups, reflective reports or learning diaries.

3.2.4. Learning outcomes

94 articles obtain information from the analysis of measures of knowledge acquired by students, gathered mainly in tests or exams—either specific tests for the task being assessed or general exams from the course in which the task is carried out.

3.3. Learning-related matters

The analysis of the learning-related matters reported in the articles show that they focus on the socio-cognitive and motivational dimensions of learning. Two broad themes for each dimension were identified: subject matter and cross-curricular competencies—socio-cognitive dimension—, and academic emotions and engagement—motivational dimension—(Table 3). As for the socio-cognitive dimension, the distinction between subject matter and cross-curricular competencies is in line with the separation between domain-specific knowledge and domain-general skills, pointed out in prior reviews in the field of student-generated materials (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018a; Snelson, 2018). Regarding the motivational dimension, the distinction between academic emotions and engagement is based on Pekrun and Linnenbrink-Garcia (2012): academic emotions are defined as the emotional experiences of students in academic settings, including general and specific mood, as well as achievement, epistemic, topic and social emotions; and motivational engagement refers to motivational processes directed toward task involvement. Results for each theme are presented separating between creator and user. The former is the student or group of students who creates the teaching material. The latter refers to the person who uses—or may potentially use—the teaching material, including the role of students as peer-reviewers.

Table 3. Learning-related matters reported in the articles

	Creator		User	
	<i>f</i>	%	<i>f</i>	%
Socio-cognitive dimension				
Subject matter	220	78.57	165	58.93
Cross-curricular competencies	199	71.07	51	18.21
Motivational dimension				
Academic emotions	178	63.57	82	29.29
Engagement	140	50.00	76	27.14

Note: Percentages calculated over total number of articles (280).

Data shows that the analyzed articles provide a considerable amount of information for both the socio-cognitive and the motivational dimension, especially for the former. As regards the student role, articles provide more information about the material creator rather than the user. The user's cross-curricular competencies are the least-researched theme.

3.3.1. Subject matter

Creator. 220 articles provided information about creator's subject matter. The main emergent descriptors were: declarative and/or procedural knowledge about the subject matter; degree of accuracy—and misconceptions—; relevance of the ideas or actions in relation to the target topic; organization of ideas about the topic; degree of deep thinking; meaning making processes and activities.

User. 165 articles provided information about user's subject matter. The main emergent descriptors were: usefulness for improving the user's declarative and/or procedural knowledge about the subject matter; learning potential as a peer reviewer of student-generated teaching materials; trust—and mistrust—in the quality and accuracy of student-generated teaching materials.

3.3.2. Cross-curricular competencies

Creator. 199 articles provided information about creator's cross-curricular competencies. The main emergent descriptors were: use of Information and Communications Technology (ICT); information searching skills; communication skills; writing skills; teamwork skills; social skills; teaching skills; open-mindedness and perspective-taking; self-directedness; critical thinking and meta-awareness; problem-solving skills; creativity; cognitive and metacognitive skills; study habits and academic competencies; knowledge of the product features and its process of creation.

User. 51 articles provided information about user's cross-curricular competencies. The main emergent descriptors were: critical thinking and communication skills for giving feedback; responsibility and sense of community; open-mindedness and perspective-taking; empathy and respect towards others—including cross-cultural learning—; ease of use of the student-generated teaching materials; usefulness of the student-generated teaching material as a model for learning product features and options.

3.3.3. Academic emotions

Creator. 178 articles provided information about creator's academic emotions. The main emergent descriptors were: task value; preference compared to other kind of tasks; recommendation of further use in the future; positive/negative and activating/deactivating emotions—also considering the role of the audience in the creator's emotions—; interest or motivation towards the subject matter; self-confidence—with the subject matter or with the use of tools.

User. 82 articles provided information about user's academic emotions. The main emergent descriptors were: task value; preference compared to other kind of tasks; recommendation of further use in the future; positive/negative and activating/deactivating emotions; interest or motivation towards the subject matter; self-confidence—with the subject matter or with the use of tools.

3.3.4. Engagement

Creator. 140 articles provided information about creator's engagement. The main emergent descriptors were: participation and involvement in the task; factors that promote or hinder engagement, such as time and effort, novelty, audience, teacher guidance, choice and sense of ownership, assessment issues and marks provided for the task.

User. 76 articles provided information about user's engagement. The main emergent descriptors were: participation and involvement in the task—as users or as peer-reviewers—; factors that promote or hinder engagement, such as specific features of the product, investment of time, perceived usefulness, assessment issues and marks provided for the task.

3.4. Researchers' explanations

Besides subject-specific explanations, researchers interpret their findings about student-generated teaching materials based on different explanations, for the creator and for the user (Table 4). These nine explanations are not mutually exclusive.

Table 4. Researchers' explanations provided in the articles

	Creator		User	
	<i>f</i>	%	<i>f</i>	%
Active learning	163	58.21	21	7.50
Audience effect	71	25.36	4	1.43
Knowledge building	141	50.36	28	10.00
Learning by teaching	27	9.64	1	0.36
Motivational processes	161	57.50	43	15.36
Peer learning	127	45.36	68	24.29
Role of ICT	143	51.07	56	20.00
Scaffolding	106	37.86	21	7.50
Time-on-task and practice effect	76	27.14	26	9.29

Note: Percentages calculated over total number of articles (280).

Data shows that the analyzed articles provide more explanations for the creator's learning than for the user's, consistent with the fact that also more articles focused on learning-related matters for the creator—as shown in the third research question. For the creator, the most frequent explanations refer to active learning, motivational processes, role of ICT, and knowledge building. For the user, the most frequent explanations refer to peer learning, role of ICT, and motivational processes. In both cases, learning by teaching and audience effect are the least frequent explanations.

3.4.1. Active learning

Creator. 163 articles reported explanations referring to active learning for the creator. The main emergent descriptors were: active learning; constructionism; constructivism; learning by doing; experiential learning; learning by design; hands-on tasks; project-based learning; student-centered practices; authentic learning; real-world situations; participation in the community as content creators; flexibility and openness of the tasks; degree of choice and autonomy; self-directedness; sense of responsibility and ownership towards the learning process.

User. 21 articles reported explanations referring to active learning for the user. The main emergent descriptors were: active and participatory role as peer reviewer; self-directedness; sense of responsibility and ownership towards the learning process; experiential learning; student-centered practices.

3.4.2. Audience effect

Creator. 71 articles reported explanations referring to audience effect for the creator. The main emergent descriptors were: peer pressure; heightened engagement due to responsibility towards the audience; thinking about the effect on the audience; the role of anonymity; anticipating misconceptions; revising one's own knowledge.

User. 4 articles reported explanations referring to audience effect for the user. The main emergent descriptors were: potential for the user when the material is created with the user in mind; user considering the audience of user-generated feedback, and the potential effect both on the feedback provider and receiver.

3.4.3. Knowledge building

Creator. 141 articles reported explanations referring to knowledge building for the creator. The main emergent descriptors were: deeper approaches to learning and meaning-making; higher-order thinking; cognitive

elaboration; generative strategies; self-explanation; critical reflection; metacognitive processes; mental activity involved in preparing and communicating content to others; mental activity involved in using various formats and ways of expression—multimodality—; socially shared construction of knowledge—social constructivism—; writing to learn; connection between new and prior knowledge.

User. 28 articles reported explanations referring to knowledge building for the user. The main emergent descriptors were: deep processing and critical evaluation as peer reviewer; surface/deep learning as passive user; peer-mistakes as a source of learning; meaningfulness of peer-generated materials.

3.4.4. Learning by teaching

Creator. 27 articles reported explanations referring to learning by teaching for the creator. The main emergent descriptors were: learning by teaching; learning through teaching; teaching as way of learning; mastering the topic in order to teach it; generating explanations for others; reflection on teaching practice; student-as-teacher; peer-teaching; adopting the teacher's role; writing-to-teach.

User. Only 1 article reported an explanation referring to learning by teaching for the user. The emergent descriptor has to do with learning by generating evaluative comments and piece of advice to someone else's material prior to creating one's own product.

3.4.5. Motivational processes

Creator. 161 articles reported explanations referring to motivational processes for the creator. The main emergent descriptors were: engagement, participation, willingness, volition and interest towards the task or the topic; enjoyment, satisfaction and positive attitudes; perceptions of value and usefulness towards the task or materials; intrinsic and extrinsic motivation; instrumental motivation related to assessment; sense of achievement and confidence; self-determination; self-efficacy; novelty effect; personal preferences; voluntary or compulsory participation; gender-related differences in terms of motivation towards certain areas or kinds of tasks; motivational processes related to ICT, active learning, and audience effect.

User. 43 articles reported explanations referring to motivational processes for the user. The main emergent descriptors were: engagement and willingness towards the task or topic; enjoyment, satisfaction and positive attitudes; perceptions of value and usefulness towards the materials; reduced anxiety and stress thanks to using peer-generated materials for review; instrumental motivation related to assessment and software's rewarding system; students' needs and expectations; novelty effect; entertaining features of the products related to multimedia; sense of achievement and confidence when providing peer feedback.

3.4.6. Peer learning

Creator. 127 articles reported explanations referring to peer learning for the creator. The main emergent descriptors were: boosted learning thanks to collaborative interaction with peers when creating the teaching materials; acknowledging students' diverse skills; learning in social interaction with peers—social constructivism—; the potential of peer-feedback for the material creator; heightened sense of community of learners where everybody feels responsible for others' learning.

User. 68 articles reported explanations referring to peer learning for the user. The main emergent descriptors were: giving feedback to others; the potential for the user to learn from peer-generated materials and to get involved in discussions about the artefacts; potential use and reuse for students from successive courses, both for learning and as models.

3.4.7. Role of ICT

Creator. 143 articles reported explanations referring to the role of ICT for the creator. The main emergent descriptors were: enabling multiple forms of expression—multimodality—; potential for learning beyond the class and home-school connections; potential for having students in the role of content creator; developing multimedia skills; familiarity with tools; software mechanics and flexibility; technical issues; controversy about the

concept of digital natives; digital distraction; digital divide; creating an audience through uploading the material to the internet; fostering social presence; facilitating peer interaction; technology, content and pedagogy; ICT as a motivational factor.

User. 56 articles reported explanations referring to the role of ICT for the user. The main emergent descriptors were: multimedia format enhancing the users' learning; sharing content with others; managing virtual platforms to organize the content; usability and accessibility; familiarity with tools; peer interaction and peer feedback; teaching outside the classroom; integrating students' digital habits.

3.4.8. Scaffolding

Creator. 106 articles reported explanations referring to scaffolding for the creator. The main emergent descriptors were: scaffolding subject-matter knowledge construction; scaffolding the use of tools; sustaining motivation throughout the process; use of models—from the teacher or from peer students—; preparatory assignments; support materials to guide the product creation; task structuring; teacher feedback; peer scaffolding in interaction; student-generated physical objects as scaffolds for reasoning processes; reducing cognitive load.

User. 21 articles reported explanations referring to scaffolding for the user. The main emergent descriptors were: instructions and guidance on how to evaluate materials and elaborate feedback; reducing cognitive load; teachers guiding students during the use of materials; peer-generated materials scaffolding the user's learning.

3.4.9. Time-on-task and practice effect

Creator. 76 articles reported explanations referring to time and practice effect for the creator. The main emergent descriptors were: time-on-task, student engagement and mental effort; iterative tasks in the process of generating the product; repeated cycles of material creation; revisiting content; exposure to technology; the learning curve of the task; time constraints; time efficiency; need for continuity and sustained practice; prior experience with similar tasks.

User. 26 articles reported explanations referring to time and practice effect for the user. The main emergent descriptors were: time-on-task devoted to using peer-generated materials; practice effect of studying from peer-generated materials; revisiting the material and learning at self-set pace; freed-up class time from flipped-classroom use of peer-generated materials.

4. Discussion

The analysis of product types —first research question— showed high diversity, not only between the four groups of products, but also inside each group. This high degree of diversity is in line with prior literature reviews (Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018a; Snelson, 2018; Winslett, 2014). The four groups of materials identified in this scoping review —audio/visual, questions, texts, and educational games— should not constrain practitioners in the design of interventions based on student-generated teaching materials but serve as a guiding typology showing the wide range of products than can fulfil a teaching function. As evidenced by the two articles that could not be classified in any of these groups (Danish & Enyedy, 2007; Papadopoulos, 2004), the choice of product type has to consider the learning objectives both for its creator and user in every specific context.

As regards sources of information —second research question—, the findings showed four main sources: product creation, use of the product, participants' perceptions, and learning outcomes. Product creation —both process and product analysis— and learner perceptions had been identified in Snelson (2018), and the measure of learning outcomes through grade point average and exam scores in Farrokhnia et al. (2020) and Reyna and Meier (2018a). The findings of this review showed that participants' perceptions are the most frequent information source of studies focusing on student-generated teaching materials. There is a need for triangulating the vast amount of information coming from participants' perceptions with other sources. More emphasis should be placed on them, especially on the use of the product —the new source of information identified in this review. The use of the teaching material is actually very important for the success of interventions based on student-generated teaching materials, not only for the users but also for the students creating the teaching materials. The expectation that someone will eventually use the material for learning is crucial for the learning-by-teaching

potential (Bargh & Schul, 1980; Kobayashi, 2019). If students creating the artefact perceive that their materials are not used by others, subsequent interventions asking them to generate materials might lose the expectancy effect, and its potential for engagement and learning might be reduced.

In reference to learning-related matters —third research question—, the findings showed four themes: subject matter, cross-curricular competencies, academic emotions, and engagement. These results are in line with prior reviews, not only identifying both cognitive and motivational learning outcomes, but also distinguishing between domain-specific knowledge and domain-general skills in the socio-cognitive dimension (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018a; Snelson, 2018). As evidenced in the descriptors of the four themes, each of them gathers different specific learning-related matters that are worth of more fine-grained analyses in future reviews. Moreover, further studies will have to address the connections between academic emotions, engagement, and learning achievement (Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012).

As for researchers' explanations —fourth research question—, the findings showed a wide range of explanations. The most frequent explanations referred to active learning, motivational processes, role of ICT, and knowledge building —for the material creator—, and peer learning, role of ICT, and motivational processes —for the user. The role of ICT and motivational processes emerge as salient explanations both for the material creator and user. With respect to the role of ICT, its spread and development is making a huge impact not only on the amount of accessible information but also on the multiplicity of languages and formats, as well as on the number and diversity of contexts in which people participate (Coll, 2013; Collins & Halverson, 2010). There is a wide range of possibilities of creating and using materials thanks to these multiple alternatives. The use of technology in class can be beneficial when it involves unique affordances that enhance effective learning principles (Yeung et al., 2021).

As for motivational processes, there is plenty of evidence indicating that affect influences cognitive processes that contribute to learning (Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012). Despite the widely positive results in terms of academic emotions and engagement, the novelty effect of practices based on student-generated teaching materials may decrease. Finding ways to make these practices sustainable in schools is needed.

Two of the approaches that might help in making them sustainable have to do with the two least frequent explanations reported in the articles: learning by teaching and audience effect. The latter is integrated in the learning-by-teaching framework (Duran & Topping, 2017). Even when there is no interaction with the audience, social presence can enhance the effectiveness of learning-by-teaching practices (Hoogerheide et al., 2016; Zajonc, 1966). According to Hoogerheide et al. (2016), being aware of the addressee and perceiving it as real —although not physically present— can generate what is known as productive agency: the belief that our own actions can affect others (Schwartz, 1999). Adopting a learning-by-teaching perspective may contribute to the effective planning and implementation of interventions that have students generate teaching materials. This perspective will allow teachers to anticipate difficulties and boost the potential learning benefits for content creators, as well as for the audience using the material. The endeavor towards a fairer society should consider the role of learning by teaching in educating citizens who can teach and learn with other people, so that knowledge becomes truly democratized (Duran, 2017).

Several limitations should be pointed out to nuance the findings of this review. First, although only peer-reviewed articles were included, the degree of methodological rigor is diverse. Results were not weighted in terms of research quality of the articles. Although scoping reviews do not aim to assess the methodological quality of individual articles (Arksey & O'Malley, 2005), following Daudt et al. (2013) the quality of the studies was considered in the eligibility criteria. However, future systematic reviews will have to assess the validity of each study and consider this when reaching conclusions (Petticrew & Roberts, 2006).

Second, the analysis of interventions only focused on the student-generated products, without considering in detail the specific context of each intervention. Future reviews may not only focus on diversity emerging from the type of product but also from other sources (i.e., product function, addressee, length of intervention, individual or collaborative creation, initial training, support given throughout the intervention, way of sharing the product with the audience, or product assessment). Moreover, systematic reviews and meta-analyses could provide further insights into the effects of creating or using student-generated materials.

Third, the distinction between creator and user of student-generated teaching materials that was adopted in this scoping review may need further consideration. In this kind of practices, according to Contributing Student Pedagogy, the roles of teacher and student become fluid (Hamer et al., 2008). Hence, some possibilities of these practices should be considered: students may become both the creators and users of peer-generated materials; interventions may consider the role of students in peer-assessment practices; students from successive cohorts can use peer-generated materials as learning resources and models.

All in all, student-generated teaching materials is an emerging area of study that has shown potential benefits—and challenges—through a wide range of products across disciplines. Different lines for future research emerge. First, considering that most studies come from higher education, further research is needed in primary and secondary education. Second, future studies should further address the creation and use of student-generated teaching materials in formal sciences and humanities, the two most underrepresented areas in this review. Third, given that there is more information about the material creator rather than the user of student-generated teaching materials, future studies could further focus on the latter. Fourth, in terms of research design, there is a need for randomized controlled trials (Styles & Torgerson, 2018) and quasi-experimental pretest-posttest control-group designs—difference-in-differences designs (Gopalan et al., 2020)—that rigorously assess the effectiveness of interventions and disentangle the effect of creating and using student-generated teaching materials. Mixed methods research such as sequential explanatory design (Creswell, 2015) may offer an interesting approach to shed light on the complex activities involved in the elaboration of teaching materials. Moreover, correlational designs can contribute to the identification of connections between factors involved in these practices, and participatory research designs can help in understanding how to make these practices more sustainable in schools. The intricate relationship between research and practice will have to be considered, both for designing evidence-based interventions (Nelson & Campbell, 2017) and for investigating the implementation of these interventions to contribute to scientific knowledge construction.

5. Availability of data

A summary of data is provided in a separate file (Supplemental online material). This file shows the codification of each article. It is available at: <https://doi.org/10.17613/1jfs-m634>.

References below are the ones cited throughout the manuscript. References of the articles analyzed in this scoping review are gathered in a separate file, which is available at: <https://doi.org/10.17613/xbsy-f944>.

6. Funding details

This work was supported by the Spanish Ministry of Education and Vocational Training under Grant FPU18/01663 for the training of university teachers.

References

- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice*, 8(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/136455703200119616>.
- Bargh, J., & Schul, Y. (1980). On the cognitive benefits of teaching. *Journal of Educational Psychology*, 72(5), 593–604. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.72.5.593>.
- Bruner, J. (1996). *The culture of education*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/9780674251083>.
- Chen, C. H., & Yang, Y. C. (2019). Revisiting the effects of project-based learning on students' academic achievement: A meta-analysis investigating moderators. *Educational Research Review*, 26, 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.11.001>.
- Coll, C. (2013). La educación formal en la nueva ecología del aprendizaje: Tendencias, retos y agenda de investigación [Formal education in the new learning ecology: Trends, challenges, and research agenda]. In J. L. Rodríguez (Ed.), *Aprendizaje y educación en la sociedad digital* (pp. 156–170). Universitat de Barcelona. <https://doi.org/10.1344/106.000002060>.
- Collins, A., & Halverson, R. (2010). The second educational revolution: Rethinking education in the age of technology. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26, 18–27. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00339.x>.
- Collis, B., & Moonen, J. (2005). *An on-going journey: Technology as a learning workbench*. University of Twente.
- Creswell, J. W. (2015). *A concise introduction to mixed methods research*. Sage.
- Danish, J. A., & Enyedy, N. (2007). Negotiated representational mediators: How young children decide what to include in their science representations. *Science Education*, 91(1), 1–35. <https://doi.org/10.1002/sce.20166>.
- Daudt, H. M., van Mossel, C., & Scott, S. J. (2013). Enhancing the scoping study methodology: A large, inter-professional team's experience with Arksey and O'Malley's framework. *BMC Medical Research Methodology*, 13, Article 48. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-13-48>.

- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Kappa Delta Pi.
- Duran, D. (2017). Learning-by-teaching: Evidence and implications as a pedagogical mechanism. *Innovations in Education and Teaching International*, 54(5), 476–484. <http://doi.org/10.1080/14703297.2016.1156011>.
- Duran, D., & Topping, K. J. (2017). *Learning by teaching: Evidence-based strategies to enhance learning in the classroom*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315649047>.
- Farrokhnia, M., Meulenbroeks, R. F., & van Joolingen, W. R. (2020). Student-generated stop-motion animation in science classes: A systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 797–812. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09857-1>.
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2014). Role of expectations and explanations in learning by teaching. *Contemporary Educational Psychology*, 39(2), 75–85. <http://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.01.001>.
- Gallardo-Williams, M., Morsch, L. A., Paye, C., & Seery, M. K. (2020). Student-generated video in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 21, 488–495. <https://doi.org/10.1039/C9RP00182D>.
- García-Peñalvo, F. J. (2022). Developing robust state-of-the-art reports: Systematic literature reviews. *Education in the Knowledge Society*, 23, Article e28600. <https://doi.org/10.14201/eks.28600>
- Gopalan, M., Rosinger, K., & Ahn, J. B. (2020). Use of quasi-experimental research designs in education research: Growth, promise, and challenges. *Review of Research in Education*, 44(1), 218–243. <https://doi.org/10.3102/0091732X20903302>.
- Gray, K., Thompson, C., Sheard, J., Clerehan, R., & Hamilton, M. (2010). Students as web 2.0 authors: Implications for assessment design and conduct. *Australasian Journal of Educational Technology*, 26(1), 105–122. <https://doi.org/10.14742/ajet.1105>.
- Hamer, J., Cutts, Q., Jackova, J., Luxton-Reilly, A., McCartney, R., Purchase, H., Riedesel, C., Saeli, M., Sanders, K., & Sheard, J. (2008). Contributing student pedagogy. *ACM SIGCSE Bulletin*, 40(4), 194–212. <https://doi.org/10.1145/1473195.1473242>.
- Hamer, J., Sheard, J., Purchase, H., & Luxton-Reilly, A. (2012). Contributing student pedagogy. *Computer Science Education*, 22(4), 315–318. <https://doi.org/10.1080/08993408.2012.727709>.
- Hava, K., & Cakir, H. (2017). A systematic review of literature on students as educational computer game designers. In J. Johnston (Ed.), *Proceedings of EdMedia 2017* (pp. 407–419). Association for the Advancement of Computing in Education.
- Hoogerheide, V., Deijkers, L., Loyens, S., Heijltjes, A., & van Gog, T. (2016). Gaining from explaining: Learning improves from explaining to fictitious others on video, not from writing to them. *Contemporary Educational Psychology*, 44–45, 95–106. <http://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.005>.
- Hoogerheide, V., Renkl, A., Fiorella, L., Paas, F., & van Gog, T. (2019). Enhancing example-based learning: Teaching on video increases arousal and improves problem-solving performance. *Journal of Educational Psychology*, 111(1), 45–56. <https://doi.org/10.1037/edu0000272>.
- Kay, R. H. (2012). Exploring the use of video podcasts in education: A comprehensive review of the literature. *Computers in Human Behavior*, 28(3), 820–831. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.01.011>.
- Kobayashi, K. (2019). Learning by preparing-to-teach and teaching: A meta-analysis. *Japanese Psychological Research*, 61(3), 192–203. <https://doi.org/10.1111/jpr.12221>.
- McGarr, O. (2009). A review of podcasting in higher education: Its influence on the traditional lecture. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(3), 309–321. <https://doi.org/10.14742/ajet.1136>.
- Meyerson, I. (1948). *Les fonctions psychologiques et les œuvres* [Psychological functions and works]. J. Vrin.
- Nelson, J., & Campbell, C. (2017). Evidence-informed practice in education: Meanings and applications. *Educational Research*, 59(2), 127–135. <https://doi.org/10.1080/00131881.2017.1314115>.
- Papadopoulos, K. S. (2004). A school programme contributes to the environmental knowledge of blind people. *British Journal of Visual Impairment*, 22(3), 101–104. <https://doi.org/10.1177/0264619604050046>.
- Paré, G., Trudel, M. C., Jaana, M., & Kitsiou, S. (2015). Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. *Information & Management*, 52(2), 183–199. <https://doi.org/10.1016/j.im.2014.08.008>.
- Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic emotions and student engagement. In S. L. Christenson, A. L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of research on student engagement* (pp. 259–282). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7_12.
- Pérez-Echeverría, M. P., Martí, E., & Pozo, J. I. (2010). External representation systems as tools of the mind. *Culture & Education*, 22(2), 133–147. <https://doi.org/10.1174/113564010791304519>.
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2006). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780470754887>.

- Pham, M. T., Rajic, A. R., Greig, J. D., Sargeant, J. M., Papadopoulou, A., & McEwena, S. A. (2014). A scoping review of scoping reviews: Advancing the approach and enhancing the consistency. *Research Synthesis Methods, 5*, 371–385. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1123>.
- Reyna, J., Hanham, J., & Meier, P. (2017). A taxonomy of digital media types for learner-generated digital media assignments. *E-learning and Digital Media, 14*(6), 309–322. <https://doi.org/10.1177/2042753017752973>.
- Reyna, J., & Meier, P. (2018a). Learner-generated digital media (LGDM) as an assessment tool in tertiary science education: A review of literature. *IAFOR Journal of Education, 6*(3), 93–109. <https://doi.org/10.22492/ije.6.3.06>.
- Reyna, J., & Meier, P. (2018b). Using the Learner-Generated Digital Media (LGDM) framework in tertiary science education: A pilot study. *Education Sciences, 8*(3), 93–109. <https://doi.org/10.3390/educsci8030106>.
- Roscoe, R. (2014). Self-monitoring and knowledge building in learning by teaching. *Instructional Science, 42*(3), 327–351. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9283-4>.
- Schwartz, D. L. (1999). The productive agency that drives collaborative learning. In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative learning: Cognitive and computational approaches* (pp. 197–218). Pergamon.
- Snelson, C. (2018). Video production in content-area pedagogy: A scoping study of the research literature. *Learning, Media and Technology, 43*(3), 294–306. <https://doi.org/10.1080/17439884.2018.1504788>.
- Styles, B., & Torgerson, C. (Eds.). (2018). Randomised Controlled Trials (RCTs) in education research – methodological debates, questions, challenges [Special issue]. *Educational Research, 60*(3). <https://doi.org/10.1080/00131881.2018.1500194>.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society*. Harvard University Press.
- Wertsch, J. V. (1985). *Vygotsky and the social formation of mind*. Harvard University Press.
- Winslett, G. (2014). What counts as educational video? Working toward best practice alignment between video production approaches and outcomes. *Australasian Journal of Educational Technology, 30*(5), 487–502. <https://doi.org/10.14742/ajet.458>.
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In M. Shepperd (Ed.), *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering* (Article 38). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>.
- Yeung, K. L., Carpenter, S. K., & Corral, D. (2021). A comprehensive review of educational technology on objective learning outcomes in academic contexts. *Educational Psychology Review, 33*, 1583–1630. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09592-4>.
- Zajonc, R. B. (1966). *Social psychology: An experimental approach*. Wadsworth.

2.2. Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching

Resum

Els estudiants poden generar materials didàctics per a d'altres. Tanmateix, calen proves sòlides de l'efecte sobre l'aprenentatge de l'estudiant que crea el material. Aquesta metaanàlisi pretén explorar les evidències actuals de l'efecte potencial d'aprendre ensenyant sobre l'aprenentatge del contingut que ensenyen els estudiants. Es va incloure a la metaanàlisi un total de 23 articles, que van proporcionar 62 comparacions entre una intervenció en la qual els estudiants havien de crear un material didàctic i una condició alternativa. També es van examinar els possibles moderadors (i. e., producte, nivell educatiu, àrea de contingut i accés al material d'origen). Els resultats mostren diferències estadísticament significatives a favor de la creació de materials didàctics en comparació de les intervencions habituals o alternatives, amb un efecte global de 0,17. No obstant això, el tipus de producte i l'accés al material d'origen moderen significativament els resultats. Els materials audiovisuals i visuals superen considerablement els materials textuais. No tenir accés al material d'origen és millor que tenir-hi accés complet. No s'ha detectat cap biaix de publicació. Tanmateix, el tipus de grup de control modera els resultats: la creació de materials didàctics mostra un efecte significatiu en comparació d'intervencions no beneficioses, més que no pas en comparació d'altres intervencions beneficioses. Les intervencions no beneficioses són intervencions habituals o alternatives que no s'espera que influeixin gaire en el resultat, mentre que les intervencions beneficioses són aquelles que se sap o s'espera que hi tinguin un efecte positiu. Es discuteixen els resultats a partir de les diferents perspectives sobre els mecanismes subjacents d'aprendre ensenyant. Se subratllen les limitacions i les implicacions per a la pràctica, la política i la investigació futura.

Paraules clau: aprenentatge actiu; efectivitat de l'ensenyament; materials didàctics; aprendre ensenyant; revisions de la literatura; contingut generat per estudiants.

Referència

Ribosa, J., & Duran, D. (2022a). Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching. *Educational Research Review*, 37, Article 100475.

<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100475>



Contents lists available at ScienceDirect

Educational Research Review

journal homepage: www.elsevier.com/locate/edurev

Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching

Jesús Ribosa^{*}, David Duran

Department of Basic, Developmental and Educational Psychology, Universitat Autònoma de Barcelona, Catalonia, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Active learning
Instructional effectiveness
Instructional materials
Learning by teaching
Literature reviews
Student-generated content

ABSTRACT

Students can generate teaching materials for others. However, solid evidence of the learning effect for the student creating the material is needed. This meta-analysis aims to explore current evidence of the learning-by-teaching potential effect on students' learning of the content they teach. A total of 23 articles were included in the meta-analysis, providing 62 comparisons between an intervention in which students were required to create a teaching material and an alternative condition. Possible moderators were examined as well (i.e., product, educational level, content area, and access to source material). Results show statistically significant differences in favour of creating teaching materials when compared to business-as-usual or alternative interventions, with an overall effect of 0.17. However, the type of product and the access to source material significantly moderate the findings. Audio-visual and visual materials considerably outperform textual materials. Having no access to the source material is better than having full access to it. No publication bias was detected. However, the type of control group moderates the findings: creating teaching materials shows a significant effect when compared to nonbeneficial interventions rather than to other expected beneficial interventions. Nonbeneficial interventions refer to business-as-usual or alternative interventions that are not expected to influence the outcome much, while beneficial interventions are those that are known or expected to have a positive effect. The findings are discussed based on the different views on the underlying learning-by-teaching mechanisms. Limitations as well as implications for practice, policy, and future research are underlined.

Creating and using student-generated teaching materials has shown potential benefits and challenges through a wide range of products and content areas (Ribosa & Duran, 2022; Snelson, 2018). Students can be engaged as co-creators of learning resources, contributing to the learning of others, and valuing others' contributions (Hamer et al., 2012). Although there are plenty of digital tools that may help students create content (Gray et al., 2010; Reyna et al., 2018), the creation of digital materials by students is one of the least frequent uses of media in education (Kay, 2012; McGarr, 2009; Winslett, 2014). However, some literature reviews have focused on student creation of teaching materials: Gray et al. (2010) identified challenges for assessing student-generated content that is created through Web 2.0 authoring tools; Hava and Cakir (2017) addressed the design of educational computer games; Snelson (2018) analysed video production in content-area classrooms; Reyna and Meier (2018) analysed media creation in tertiary science education;

^{*} Corresponding author.

E-mail address: jesus.ribosa@uab.cat (J. Ribosa).

<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100475>

Received 13 April 2022; Received in revised form 25 May 2022; Accepted 5 July 2022

Available online 13 July 2022

1747-938X/© 2022 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Gallardo-Williams et al. (2020) focused on video in chemistry education; and Farrokhnia et al. (2020) explored the creation of stop-motion animation in science classes.

A prior scoping review aimed at mapping the research field of student-generated teaching materials, based on 280 articles (Ribosa & Duran, 2022). Four wide types of products were identified: audio/visual materials, questions, texts, and educational games. The articles gathered information from four different sources: product creation, use of the product, participants' perceptions, and learning outcomes. A bias towards participants' perceptions was identified in the body of studies, since it was the most frequent source of information by far. This bias should be compensated in the future, especially considering that perceptions of learning may not be much informative when trying to assess the impact of activities on actual learning outcomes. The analysis of learning-related matters showed that studies focused on the socio-cognitive and motivational dimensions of learning, with two broad themes each: subject matter and cross-curricular competencies, and academic emotions and engagement, respectively. Surprisingly, the least frequent explanation that was used by researchers to interpret their findings had to do with learning by teaching, that is, the learning opportunities for students in the teacher's role (Duran & Topping, 2017). However, other explanations were closely connected to the learning-by-teaching potential, such as audience effect, motivational processes, knowledge building, peer learning, and active learning (Duran, 2017).

The following paragraphs will provide insights into the underlying theoretical explanations of why learning by teaching works. Creating teaching materials can be considered an indirect or non-interactive way of teaching (Kobayashi, 2019a; 2019b; Lachner et al., 2022). Expectancy, that is, the expectation of teaching others (Bargh & Schul, 1980; Benware & Deci, 1984), may play an important role. It seems that at least under certain conditions the expectation to teach may alter cognitive processes, leading to revising the content, organising it for presentation, and identifying its basic structure (Duran & Topping, 2017; Fiorella & Mayer, 2014; Kobayashi, 2019b), and it may foster higher motivation as well (Fiorella & Mayer, 2014; Wang et al., 2021). Duran (2017) considers expectancy as the first of four learning-by-teaching levels, from less to more complex and bidirectional: 1) learning by expecting to teach, 2) learning by presenting—knowledge-telling (Roscoe & Chi, 2008)—; 3) learning by explaining—knowledge-building (Roscoe & Chi, 2008)—, and 4) learning by explaining using questions—formulating and answering deeper questions in interaction with the audience (Roscoe & Chi, 2008).

When the activity of learning-by-teaching does not only involve preparing the content in expectancy, but also presenting or explaining the content to an audience, the potential for learning increases (Duran & Topping, 2017). Even without interaction, social presence can enhance the effectiveness of explanations for learning (Hoogerheide et al., 2016; Pi et al., 2021; Zajonc, 1966). The learning potential is limited when the person teaching only transmits or repeats information by summarising the source materials with little elaboration—knowledge-telling (Roscoe & Chi, 2008). However, when the person is engaged in metacognitively monitoring understanding and generating inferences to repair misunderstandings, elaborating upon the source materials—knowledge-building (Roscoe & Chi, 2008)—, the learning potential is higher. Knowledge building is related to deeper understanding (Coleman et al., 1997; Roscoe, 2014) and the generated explanation gives cues for more precise judgments about one's own comprehension (Fukaya, 2013). Both formulating and answering complex questions may foster knowledge-building processes (Roscoe & Chi, 2008). In short, learning by teaching is considered a generative learning strategy, since it aims at meaningful and deep learning (Fiorella & Mayer, 2014, 2016), with retrieval practice (Koh et al., 2018) and social presence (Hoogerheide et al., 2016) as potentially underlying mechanisms as well (Lachner et al., 2022).

All in all, creating teaching materials can be considered a way of learning by teaching, which is profusely found in informal learning, such as guitar song tutorials (Duran & Topping, 2017). However, it seems that the learning benefits of teaching with preparing-to-teach are larger when students expect and engage in direct face-to-face teaching than in indirect teaching through a video or written explanation (Kobayashi, 2019a; 2019b). Research suggests that the modality of the explanations in indirect or non-interactive teaching may have an impact on learning outcomes, with enhanced effects from video-based oral explanations rather than written explanations (Lachner et al., 2022; Lachner et al., 2018). Additional boundary conditions, such as induced social presence, timing, teaching expectancy, prior knowledge, ability beliefs, and features of the source material may play an important role—see Lachner et al. (2022) for a model of non-interactive teaching. Although most studies have focused on individual preparation of the content before teaching, a study by Kobayashi (2021) indicates that collaborative preparation may be more beneficial.

It is necessary for research to focus on this under-explored but burgeoning area of study: student generation of teaching materials from the learning-by-teaching perspective. As seen above, most studies and literature reviews have focused on specific products rather than on the psychological processes involved in the creation of teaching materials, which hinders the advance both in research and practice. There have been some attempts to find a shared theoretical framework for the effectiveness of student-generated teaching materials, such as contributing student pedagogy (Collis & Moonen, 2005; Hamer et al., 2008) and learning by teaching (Duran & Topping, 2017).

The former emphasises having students contribute to the learning of others as content creators, and value others' contributions as content users (Hamer et al., 2008). According to Hamer et al. (2012, p. 135), contributing student pedagogy “incorporates social constructivism in a practical manner, combining both content learning and interpersonal skills acquisition in a meaningful way”. However, little emphasis is placed on the specific learning for the student who teaches peers. Considering the potential for further developments in contributing student pedagogy (Hamer et al., 2012), the learning-by-teaching framework precisely sheds light on the learning opportunities for the person who teaches others (Duran & Topping, 2017). Analysing student creation of teaching materials through the lens of learning by teaching can help in broadening the findings and interpretations of prior studies and reviews. Solid evidence of the learning effect for the material creator should be provided to make these practices sustainable in schools.

This meta-analysis aims to explore current evidence of the learning-by-teaching potential effect on students' learning of the content they teach through the teaching materials. Two research questions are addressed:

Research Question 1: Does generating teaching materials have an impact on student learning of the content they teach, compared to

business-as-usual or alternative interventions that do not involve creating a teaching material?

Research Question 2: Do product, educational level, content area, and access to the source material moderate the findings?

1. Method

A meta-analysis was carried out, following the process described by [Field and Gillett \(2010\)](#). The updated version of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement was considered ([Page et al., 2021](#)), as well as specific recommendations by [Borenstein et al. \(2009\)](#).

1.1. Information sources, search process and study selection

At the end of October 2021, three databases were searched for relevant articles (i.e., PsycInfo, Scopus and Web of Science) from any educational level and publication year, using keywords ([Table 1](#)) and Boolean operators (OR between related search terms, AND between concepts).

The following results were obtained: 68 in PsycInfo, 567 in Scopus, and 245 in Web of Science ([Fig. 1](#)). The first eligibility criterium had to do with accepting only articles published in peer-reviewed journals, to promote higher standards of quality. Automation tools were used to exclude papers published in conference proceedings, doctoral theses, and book chapters. Duplicates were identified as well. Then, one of the authors first screened each record, excluding those that did not address the topic of this meta-analysis, as well as other types of publications—non-journal publications not filtered by automation tools, but also literature reviews and book reviews. After the first screening, the articles were retrieved and assessed with the following ordered eligibility criteria, to accept only:

- Empirical research articles that make use of randomised controlled trials or quasi-experimental designs with independent control groups. This excludes other kinds of research designs, but considers mixed methods designs that include quasi-experiments with independent control groups (*research design* in [Fig. 1](#)).
- Articles that compare intervention groups involving students in the creation of teaching materials to control groups based on business-as-usual or alternative interventions that do not involve creating a teaching material. This excludes articles that compare improved variants and regular variants ([Willingham & Daniel, 2021](#)) of interventions in which students create teaching materials (*create-control* in [Fig. 1](#)).
- Articles that report students creating teaching materials with the aim that a real or imaginary addressee autonomously learns from it. This excludes a) student-generated materials with other purposes rather than teaching, such as entertaining or expressing artistically; b) creating content as a learning task only directed to the teacher or experimenter; c) creating materials to be used as a support for the interaction with the addressee, such as in peer tutoring or oral presentations before the class (*task* in [Fig. 1](#)).
- Articles in which the focus of the study is on student-generated teaching materials. This excludes articles in which student-generated teaching materials are not the focus, are among other kinds of products, or are only a small part of the study (*focus* in [Fig. 1](#)).
- Articles that focus on the creator’s learning outcomes. This excludes articles that only measure the effect of using student-generated teaching materials (*user* in [Fig. 1](#)).
- Articles that assess cognitive learning outcomes through tests or exams. This excludes a) other kinds of learning outcomes, such as social, motivational, or motor skill outcomes; b) other sources of information, such as the product and its creation process, the use of the product, or participants’ perceptions, even when validated scales are used (*tests* in [Fig. 1](#)).
- Articles that specifically measure the effect of creating the material. This excludes articles that only measure the combined effect of creating and using the materials (*combined effect* in [Fig. 1](#)).
- Articles that assess the learning on what is being taught through the teaching material. This excludes articles that measure collateral outcomes, which are not strictly related to what the creator is trying to teach through that teaching material (*teach-learn* in [Fig. 1](#)).

Only three articles from the search results were found eligible for the meta-analysis: [Chang et al. \(2010\)](#), [Hsu and Wang \(2018\)](#), [Shoepe et al. \(2015\)](#). Six articles that first seemed to meet the eligibility criteria were discussed between the two authors and finally excluded: [McGahan et al. \(2016\)](#), [Mitchell et al. \(2007\)](#), [Muis et al. \(2016\)](#), [Pürbudak and Usta \(2020\)](#), [Vázquez et al. \(2012\)](#), [Foos et al. \(1994\)](#).

Snowballing ([Wohlin, 2014](#)) was carried out in the prior scoping review on student-generated teaching materials ([Ribosa & Duran,](#)

Table 1
Search terms.

Concepts	Related search terms
Student-generated	“student-generated” OR “student-created” OR “student-produced” OR “student-made” OR “student-developed” OR “student-authored” OR “pupil-generated” OR “pupil-created” OR “pupil-produced” OR “pupil-made” OR “pupil-developed” OR “pupil-authored” OR “learner-generated” OR “learner-created” OR “learner-produced” OR “learner-made” OR “learner-developed” OR “learner-authored”
Materials	instructional OR educational OR teaching OR material OR artefact OR content OR resource OR tutorial OR media OR video OR screencast OR podcast OR digital story OR animation OR question OR multiple-choice OR quiz OR textbook OR book OR wiki OR blog OR game OR board OR simulation

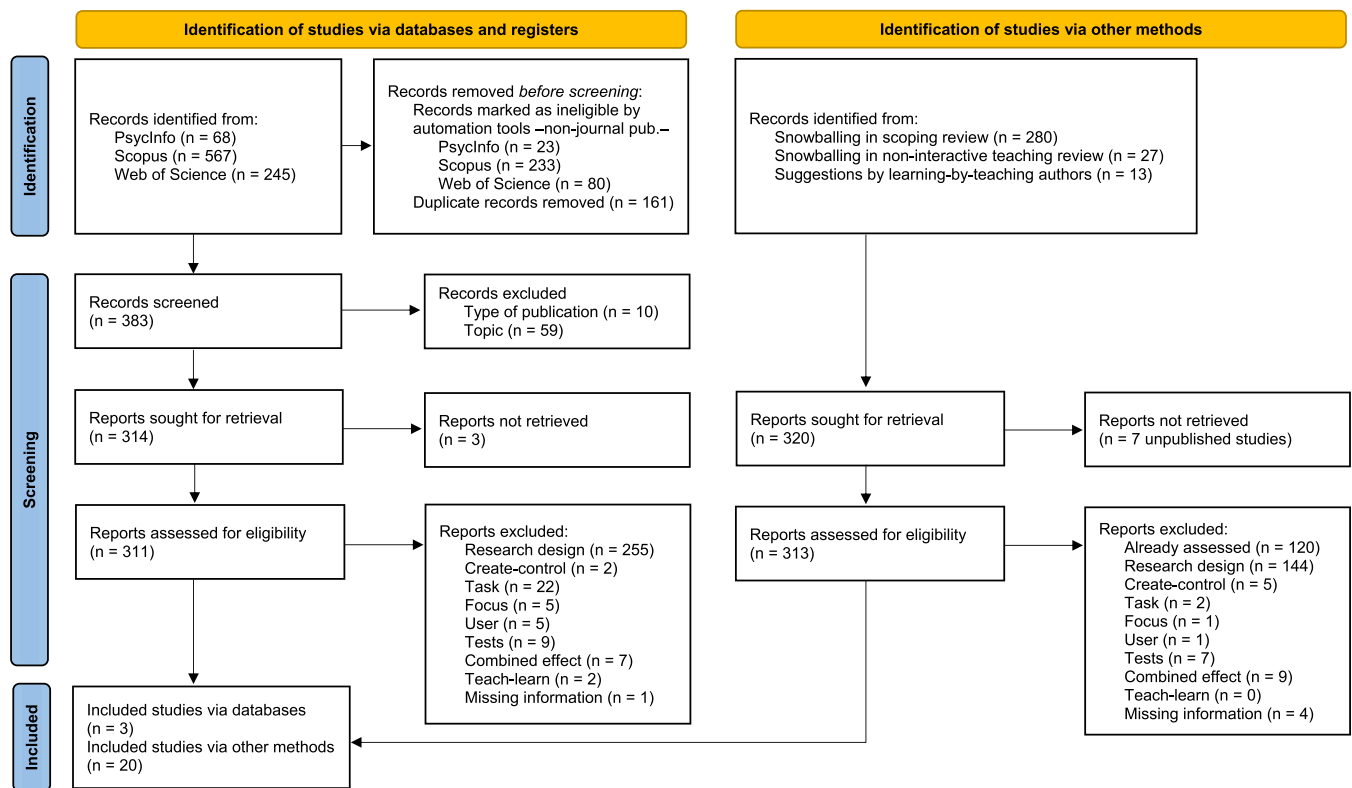


Fig. 1. PRISMA 2020 flow diagram. Note. From Page et al. (2021).

Table 2 Heterogeneity measures.

Statistic	Values
Cochran's Q	296.80
degrees of freedom	61
p-value	<.001
I ²	79.4%
95% confidence interval	[74.1%; 83.7%]

2022). Seven articles were found eligible: Erdmann and March (2014), Fiorella and Mayer (2013), Heafner and Friedman (2008), Hoogerheide, Visee, et al. (2019), Jablonski et al. (2015), Slussareff and Bohackova (2016), Vreman-de Olde et al. (2013). Four articles that met the criteria could not be included due to missing data needed to compute the effect size: Kerkman et al. (1994), Lea et al. (1974), Staub and Bravender (2014), Ward (1973).

Snowballing was also carried out in the review on non-interactive teaching by Lachner et al. (2022). Twelve articles were found eligible: Fiorella and Kuhlmann (2020), Fiorella and Mayer (2014, Experiment 2), Hoogerheide et al. (2016), Hoogerheide et al. (2014), Hoogerheide, Renkl, et al. (2019), Jacob et al. (2020, 2021), Koh et al. (2018), Lachner et al. (2020), Lachner et al. (2021, Experiment 1), Roscoe and Chi (2008), and Van Brussel et al. (2021).

Finally, authors from the field of learning by teaching provided further suggestions. From these suggestions, another article was found eligible: Hoogerheide, Staal, et al. (2019). All in all, there is a total of 23 articles included in the meta-analysis (Fig. 1).

1.2. Effect size calculation

The response variable is the test outcome gathered in the studies to measure student learning. Only posttest outcomes were considered to compute the effect sizes. Sample sizes, mean values and standard deviations were identified and used to estimate the effect size through standardized mean difference (SMD) and its 95% confidence interval.

Given the high degree of heterogeneity among the included studies—based on I² and Cochran's Q values (Table 2)—, a random effects model was deemed appropriate (Borenstein et al., 2009).

Table 3
Data of studies analysed in the meta-analysis.

id.	Reference	Research design	Control group	N create	N control	M create	SD create	M control	SD control	Product	Ed. Level	Content area	Access to source material
1	Chang et al. (2010) 1	Quasi-exp.	Beneficial	64	46*	29,49	11,65	24,09	11,22	Animations (Visual)	Secondary	Natural sciences	Full access
2	Chang et al. (2010) 2	Quasi-exp.	Beneficial	68	46*	18,35	12,01	24,09	11,22	Animations (Visual)	Secondary	Natural sciences	Full access
3	Erdmann and March (2014) b	Quasi-exp.	Nonbeneficial	253	276	0,75	0,19	0,64	0,23	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	Full access
4	Fiorella and Kuhlmann (2020) 1	RCT	Nonbeneficial	30	30*	-0,09	0,49	-0,65	0,86	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
5	Fiorella and Kuhlmann (2020) 2	RCT	Nonbeneficial	30	30*	0,13	0,60	-0,65	0,86	Videos (Visual)	Higher	Natural sciences	No access
6	Fiorella and Kuhlmann (2020) 3	RCT	Nonbeneficial	30	30*	0,65	0,88	-0,65	0,86	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
7	Fiorella and Mayer (2013.1) 1	RCT	Beneficial	30*	32	8,70	2,80	7,90	2,40	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
8	Fiorella and Mayer (2013.1) 2	RCT	Nonbeneficial	30*	31	8,70	2,80	6,20	3,30	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
9	Fiorella and Mayer (2013.2) 1	RCT	Beneficial	25*	25	7,30	2,80	5,60	2,00	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
10	Fiorella and Mayer (2013.2) 2	RCT	Nonbeneficial	25*	25	7,30	2,80	5,00	3,00	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
11	Fiorella and Mayer (2014.2) 1	RCT	Nonbeneficial	27*	24*	5,80	3,50	5,00	3,70	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
12	Fiorella and Mayer (2014.2) 2	RCT	Beneficial	27*	27*	5,80	3,50	4,10	2,90	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
13	Fiorella and Mayer (2014.2) 3	RCT	Nonbeneficial	26*	24*	7,00	3,50	5,00	3,70	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
14	Fiorella and Mayer (2014.2) 4	RCT	Beneficial	26*	27*	7,00	3,50	4,10	2,90	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
15	Heafner and Friedman (2008)	Quasi-exp.	Nonbeneficial	16	16	79,40	13,6	86,10	7,40	Texts (Textual)	Secondary	Social sciences	Full access
16	Hoogerheide et al. (2016.1) 1 b	RCT	Beneficial	33*	30	13,36	7,07	14,87	8,28	Texts (Textual)	Higher	Language and thought	Limited access
17	Hoogerheide et al. (2016.1) 2 b	RCT	Nonbeneficial	33*	29	13,36	7,07	15,97	9,60	Texts (Textual)	Higher	Language and thought	Limited access
18	Hoogerheide et al. (2016.1) 3 b	RCT	Beneficial	31*	30	16,86	7,70	14,87	8,28	Texts (Textual)	Higher	Language and thought	Limited access
19	Hoogerheide et al. (2016.2) 1 a b	RCT	Nonbeneficial	31*	29	16,86	7,70	15,97	9,60	Texts (Textual)	Higher	Language and thought	Limited access
20	Hoogerheide et al. (2016.2) 2 a b	RCT	Nonbeneficial	43	42*	29,28	6,90	26,60	6,33	Texts (Textual)	Higher	Language and thought	Limited access
21	Hoogerheide et al. (2014.1) 1 a b	RCT	Nonbeneficial	44	42*	29,22	6,75	26,60	6,33	Videos (Audio-visual)	Higher	Language and thought	Limited access
22	Hoogerheide et al. (2014.1) 2 a b	RCT	Beneficial	24*	25	28,16	7,15	20,82	6,26	Videos (Audio-visual)	Secondary	Language and thought	Limited access
23	Hoogerheide et al. (2014.1) 2 a b	RCT	Nonbeneficial	24*	27	28,16	7,15	21,05	7,71	Videos (Audio-visual)	Secondary	Language and thought	Limited access
24	Hoogerheide et al. (2014.2) 1 a b	RCT	Beneficial	32*	31	31,28	7,66	29,33	6,39	Videos (Audio-visual)	Higher	Language and thought	Limited access

(continued on next page)

Table 3 (continued)

id.	Reference	Research design	Control group	N create	N control	M create	SD create	M control	SD control	Product	Ed. Level	Content area	Access to source material
25	Hoogerheide et al. (2014,2) 2 ^a b	RCT	Nonbeneficial	32*	32	31,28	7,66	23,45	7,15	Videos (Audio-visual)	Higher	Language and thought	Limited access
26	Hoogerheide, Renkl, et al. (2019) ^b	RCT	Nonbeneficial	30	31	72,22	21,02	58,44	34,77	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	Full access
27	Hoogerheide, Staal, et al. (2019) 1 ^a	RCT	Nonbeneficial	34*	36*	71,19	12,00	80,72	11,68	Questions (Textual)	Higher	Natural sciences	Full access
28	Hoogerheide, Staal, et al. (2019) 2 ^a	RCT	Beneficial	34*	36*	71,19	12,00	78,57	11,96	Questions (Textual)	Higher	Natural sciences	Full access
29	Hoogerheide, Staal, et al. (2019) 3 ^a	RCT	Nonbeneficial	37*	36*	67,47	13,36	80,72	11,68	Questions (Textual)	Higher	Natural sciences	Full access
30	Hoogerheide, Staal, et al. (2019) 4 ^a	RCT	Beneficial	37*	36*	67,47	13,36	78,57	11,96	Questions (Textual)	Higher	Natural sciences	Full access
31	Hoogerheide, Visee, et al. (2019) 1 ^b	RCT	Beneficial	40*	47	12,93	4,17	11,73	4,15	Videos (Audio-visual)	Primary	Natural sciences	Full access
32	Hoogerheide, Visee, et al. (2019) 2 ^b	RCT	Nonbeneficial	40*	44	12,93	4,17	9,99	4,06	Videos (Audio-visual)	Primary	Natural sciences	Full access
33	Hsu and Wang (2018) 1	Quasi-exp.	Beneficial	81*	82	40,25	11,88	27,21	12,22	Games (Visual)	Primary	Language and thought	Full access
34	Hsu and Wang (2018) 2	Quasi-exp.	Beneficial	81*	79	40,25	11,88	37,57	12,63	Games (Visual)	Primary	Language and thought	Full access
35	Jablonski et al. (2015)	Quasi-exp.	Nonbeneficial	51	44	19,94	2,35	18,18	3,06	Videos (Audio-visual)	Secondary	Natural sciences	Full access
36	Jacob et al. (2020) 1 ^b	RCT	Beneficial	40	36*	3,70	1,18	3,75	1,16	Audios	Higher	Natural sciences	No access
37	Jacob et al. (2020) 2 ^b	RCT	Beneficial	40	36*	3,10	1,27	2,84	1,09	Audios	Higher	Natural sciences	No access
38	Jacob et al. (2020) 3 ^b	RCT	Beneficial	39	36*	3,40	1,17	3,75	1,16	Texts (Textual)	Higher	Natural sciences	No access
39	Jacob et al. (2020) 4 ^b	RCT	Beneficial	39	36*	2,83	1,15	2,835	1,09	Texts (Textual)	Higher	Natural sciences	No access
40	Jacob et al. (2021) 1 ^b	RCT	Beneficial	34	34*	3,02	1,11	3,04	1,14	Texts (Textual)	Higher	Natural sciences	No access
41	Jacob et al. (2021) 2 ^b	RCT	Beneficial	35	34*	2,83	1,17	3,04	1,14	Texts (Textual)	Higher	Natural sciences	No access
42	Jacob et al. (2021) 3 ^b	RCT	Beneficial	34	34*	3,05	0,98	3,04	1,14	Audios	Higher	Natural sciences	No access
43	Koh et al. (2018) 1	RCT	Nonbeneficial	31*	31*	13,30	2,69	10,90	3,07	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
44	Koh et al. (2018) 2	RCT	Beneficial	31*	31*	13,30	2,69	13,60	2,80	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
45	Koh et al. (2018) 3	RCT	Nonbeneficial	31*	31*	11,50	3,70	10,90	3,07	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	Full access
46	Koh et al. (2018) 4	RCT	Beneficial	31*	31*	11,50	3,70	13,60	2,80	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	Full access
47	Lachner et al. (2020,1) 1 ^b	RCT	Beneficial	32	29*	0,44	0,18	0,41	0,19	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
48	Lachner et al. (2020,1) 2 ^b	RCT	Beneficial	30	29*	0,40	0,22	0,41	0,19	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
49	Lachner et al. (2020,2) 1 ^b	RCT	Beneficial	34*	30*	0,45	0,18	0,41	0,20	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
50	Lachner et al. (2020,2) 2 ^b	RCT	Beneficial	34*	33*	0,45	0,18	0,36	0,20	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
51	Lachner et al. (2020,2) 3 ^b	RCT	Beneficial	29*	30*	0,39	0,18	0,41	0,20	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access
52	Lachner et al. (2020,2) 4 ^b	RCT	Beneficial	29*	33*	0,39	0,18	0,36	0,20	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	No access

(continued on next page)

Table 3 (continued)

id.	Reference	Research design	Control group	N create	N control	M create	SD create	M control	SD control	Product	Ed. Level	Content area	Access to source material
53	Lachner et al. (2021.1) 1 ^b	RCT	Nonbeneficial	38*	43	0,37	0,14	0,39	0,14	Texts (Textual)	Higher	Natural sciences	No access
54	Lachner et al. (2021.1) 2 ^b	RCT	Beneficial	38*	29	0,37	0,14	0,39	0,12	Texts (Textual)	Higher	Natural sciences	No access
55	Lachner et al. (2021.1) 3 ^b	RCT	Beneficial	38*	37	0,37	0,14	0,40	0,14	Texts (Textual)	Higher	Natural sciences	No access
56	Roscoe and Chi (2008) 1 ^b	RCT	Beneficial	10*	10	22,70	5,05	30,1	7,55	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	Full access
57	Roscoe and Chi (2008) 2 ^b	RCT	Beneficial	10*	10	22,70	5,05	35,00	8,15	Videos (Audio-visual)	Higher	Natural sciences	Full access
58	Shoepé et al. (2015)	Quasi-exp.	Nonbeneficial	90	75	78,10	7,87	74,90	7,88	Photo Atlas	Higher	Natural sciences	Full access
59	Slussareff and Boháčková (2016) ^c	Quasi-exp.	Beneficial	11	16	0,45	0,40	0,28	0,33	Games (Audio-visual)	Primary	Social sciences	Full access
60	Van Brussel et al. (2021) 1 ^b	RCT	Nonbeneficial	46*	51	7,29	1,69	7,57	1,65	Videos (Audio-visual)	Higher	Language and thought	Limited access
61	Van Brussel et al. (2021) 2 ^b	RCT	Beneficial	46*	44	7,29	1,69	7,89	1,85	Videos (Audio-visual)	Higher	Language and thought	Limited access
62	Vreman-de Olde et al. (2013) ^b	Quasi-exp.	Nonbeneficial	21	28	34,91	9,44	35,56	9,13	Questions (Textual)	Secondary	Natural sciences	Full access

Note. The asterisk marks groups of students that were used in more than one comparison.

^a Reported outcomes from an immediate posttest and a one-week delayed posttest.

^b Reported different kinds of outcomes.

^c Reported results broken down by question.

1.3. Non-independence

Fifteen articles reported more than one outcome (Table 3). A composite effect size was calculated in these cases (Borenstein et al., 2009), except for Heafner and Friedman (2008). Only the end-of-course test outcome was taken to calculate the effect size in Heafner and Friedman (2008), since the delayed posttest was based on a subsample of only five students. All included articles gathered their outcome score from written tests or exams. Erdmann and March (2014) also included a practical test.

Fourteen articles reported more than two groups (Table 3). Multiple comparisons between control and intervention groups within the same study were carried out as if each comparison was a separate study. Excluding duplicate groups, the total sample consisted of 1723 students from intervention groups and 1774 from control groups.

1.4. Data analysis

A univariate meta-analysis was carried out through R software v4.1.0. The meta-analysis considered the 62 comparisons from 23 articles that compared an intervention in which students created teaching materials to an alternative condition (Table 3). The target variable was a quantitative learning outcome score, and some other variables were identified as possible explanatory variables. Thus, a random-effects linear regression meta-analysis model was carried out (Borenstein et al., 2009). Meta-regression was used to assess the relationship between study-level covariates and the effect size (Borenstein et al., 2009). Each comparison was labelled according to the following covariates:

- *Year of publication.* Each article was coded according to its year of publication.
- *Research design.* The research design of each study was coded as randomised controlled trial (RCT) or quasi-experimental design.
- *Control group.* Based on Willingham and Daniel (2021), control groups were coded as beneficial (i.e., alternative interventions that are known or expected to have a positive effect, such as retrieval practice) or nonbeneficial (i.e., business-as-usual or alternative interventions that are not expected to influence the outcome much, such as restudying).
- *Product.* Based on the main output format, the student-generated teaching materials were coded as audio-visual materials (i.e., materials that combined audio and visual output), visual materials (i.e., materials based only on visual output, without audio), and textual materials (i.e., materials based on textual output). Audio materials (i.e., recorded explanations) were only reported in two articles (Jacob et al., 2020, 2021) and were left as missing for the meta-regression. The article by Shoepe et al. (2015) was left as missing, since students created a Photo Atlas that combined visual and textual output.
- *Educational level.* The articles were coded based on the educational level in which each study took place: primary, secondary, or higher education. The study by Vreman-de Olde et al. (2013) was coded as secondary education after consultation with the authors and checking the educational policy in the Netherlands (Smulders et al., 2016).
- *Content area.* Based on the content that students were assessed on, the articles were coded in three wide content areas: natural sciences (i.e., chemistry, physics, biology, earth science), social sciences (i.e., social studies, history), or language and thought (i.e., syllogistic reasoning, algorithmic thinking skills, confirmation bias).
- *Access to source material.* Based on whether students had access to the source material when creating the teaching material, the articles were coded as full access, limited access, or no access.

1.5. Publication bias

A funnel plot analysis was used to assess the possible publication bias (Borenstein et al., 2009). Egger's test was used to detect potential asymmetry in the funnel plot (Egger et al., 1997). Year of publication, research design and control group were considered as moderator variables.

2. Results

2.1. Overall effect

The results show statistically significant differences ($p = .013$) in favour of creating teaching materials when compared to business-as-usual or alternative interventions, with an overall effect of 0.17 (Fig. 2).

2.2. Moderator analysis

The analysis of study-level covariates shows that product and access to source material significantly moderate the findings (Table 4). As for the product, the analysis shows statistically significant differences in favour of audio-visual and visual materials when compared to textual materials. As for the access to source material, the analysis shows statistically significant differences in favour of having no access to it rather than full access.

2.3. Publication bias

Year of publication and research design do not significantly moderate the findings, but control group does (Table 5). The effect of

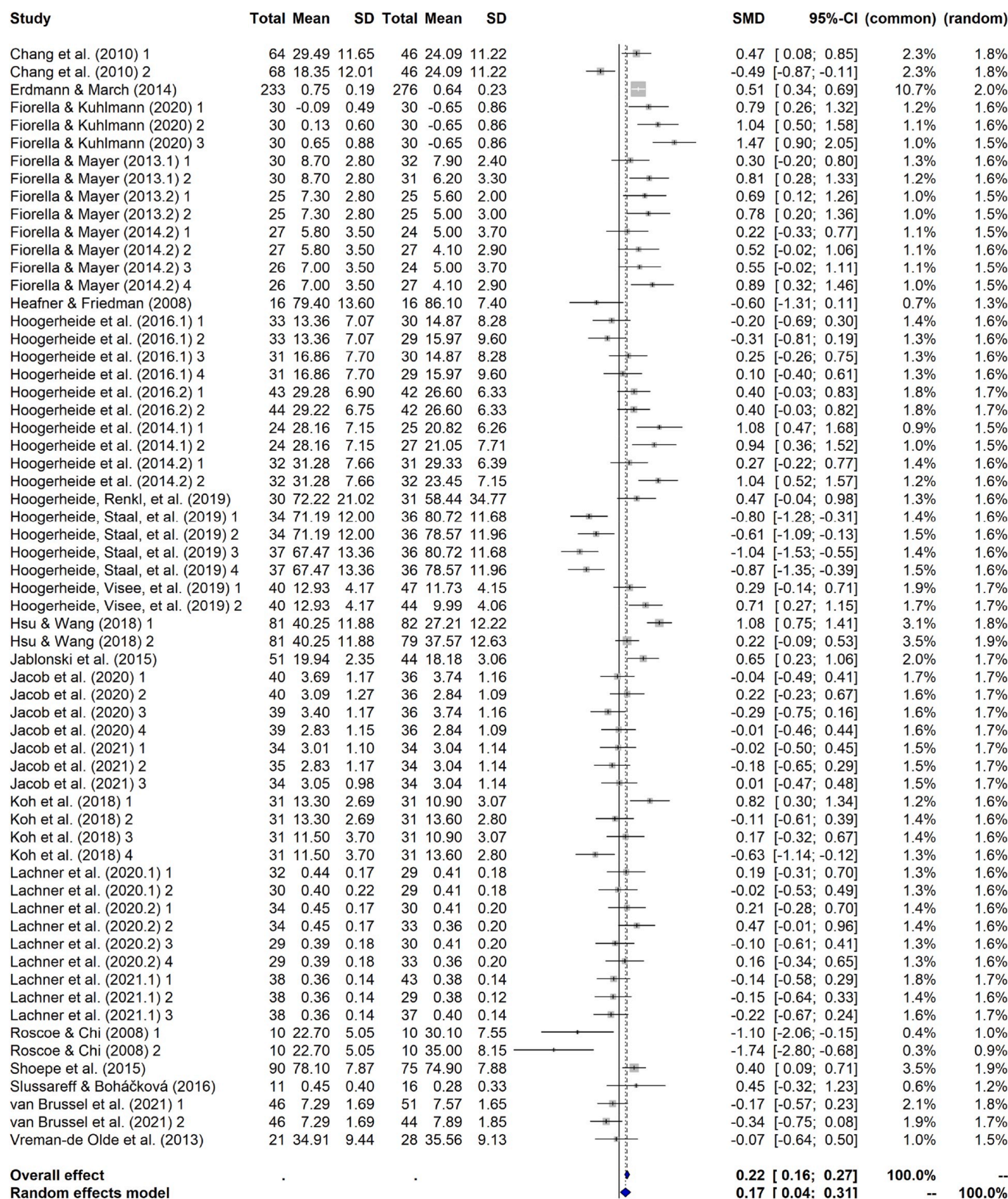


Fig. 2. Forest plot.

creating teaching materials is higher when the control group is a nonbeneficial intervention rather than a beneficial intervention. After controlling for this variable, differences in terms of product and access to source material remain significant.

Visual inspection of the funnel plot shows that 24 comparisons are outside the pseudo 95% confidence limits (Fig. 3). However, Egger's test shows no evidence of asymmetry ($p = .095$).

Table 4
Meta-regression of studies included in the meta-analysis.

Covariates	Estimate	Standard error	p-value
Product			
Audiovisual-Visual	-0.079	0.220	.721
Audiovisual-Textual	0.627	0.141	<.001
Visual-Textual	0.705	0.233	.003
Educational level			
Higher-Secondary	-0.167	0.222	.451
Higher-Primary	-0.436	0.252	.083
Secondary-Primary	-0.269	0.317	.396
Content area			
NaturalSci-SocialSci	0.223	0.446	.617
NaturalSci-LanguageThought	-0.198	0.167	.237
SocialSci-LanguageThought	-0.421	0.462	.363
Access to source material			
FullAccess-LimitedAccess	-0.317	0.198	.109
FullAccess-NoAccess	-0.337	0.157	.032
LimitedAccess-NoAccess	-0.020	0.187	.915

Educational level and content area do not significantly moderate the findings.

Table 5
Year of publication, research design and control group as moderators.

Covariates	Estimate	Standard error	p-value
Year of publication	-0.009	0.021	.675
Research design			
RCT-QuasiExperimental	-0.139	0.187	.458
Control group			
Beneficial-Nonbeneficial	-0.305	0.138	.027

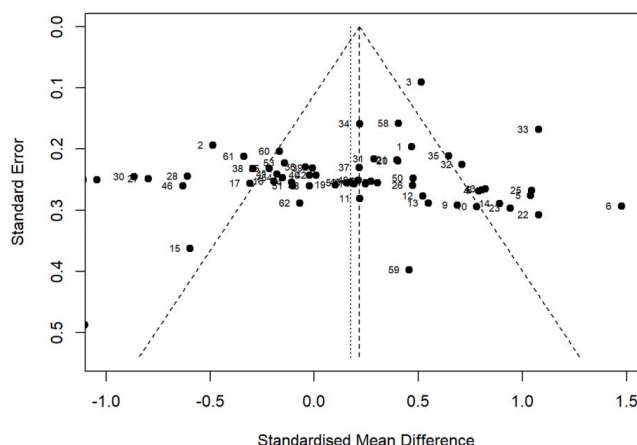


Fig. 3. Funnel plot.

3. Discussion

The findings of the meta-analysis show that having students create teaching materials does have an impact on their learning of the content that is taught through that material. Results from the random effects model show an overall effect of 0.17 SMD. Based on the meta-regression, the effect seems stable across educational levels and content areas.

It is recommended that effect sizes not be interpreted following Cohen’s benchmarks but based on the comparison against effects in the related prior literature (Thompson, 2007). The meta-analysis by Kobayashi (2019b) showed an estimated effect size (Hedges’ *g*s) of 0.48 for non-interactive video teaching. In a cumulating meta-analysis, Lachner et al. (2021) considered both spoken and written non-interactive teaching and found a smaller effect size ($g = 0.22$), similar to the 0.17 SMD from this meta-analysis. Compared to the two prior meta-analyses, four main contributions that add to our knowledge of the field can be highlighted.

First, in this meta-analysis learning by teaching was not included as a keyword in the search, unlike Kobayashi (2019b), Lachner et al. (2021), and Lachner et al. (2022). This enabled the inclusion of articles that have students create teaching materials but are not explicitly framed in the learning-by-teaching framework (e.g., Hsu & Wang, 2018; Shoepe et al., 2015). Moreover, any kind of teaching

material was considered as a way of non-interactive teaching, incorporating new products that had not been included in the prior meta-analyses (e.g., animations, wikis, multiple-choice questions).

Second, it considers a broader definition for the intervention and control groups. As for intervention groups, while Kobayashi (2019b) and Lachner et al. (2021) required a prior preparing-to-teach stage, this meta-analysis considered any group that created a teaching material—with or without preparing-to-teach. As for control groups, this meta-analysis considered all the groups that did not involve the creation of a teaching material. Results show that the type of control group moderates the findings. Creating teaching materials shows a significant effect when compared to nonbeneficial interventions rather than to other expected beneficial interventions, with an estimate difference of 0.305. This needs to be considered when interpreting the effect of creating teaching materials, following the suggestion by Willingham and Daniel (2021).

Third, this meta-analysis suggests that having access to source materials when creating the teaching material can hinder the benefits of non-interactive teaching, with an estimate difference of -0.337 when compared to having no access. These findings may add another possible boundary condition to the model of non-interactive teaching (Lachner et al., 2022).

Fourth, Lachner et al. (2021) and Lachner et al. (2022) already underlined that spoken non-interactive teaching is more beneficial than written non-interactive teaching. This meta-analysis suggests that not only creating audio-visual materials but also generating visual materials outperforms creating written materials, with estimate differences above 0.60. These results encourage the student creation of audio-visual and visual teaching materials (e.g., videos, animations, educational games). The findings are discussed below, focusing first on audio-visual and visual teaching materials and second on textual teaching materials. Limitations of this meta-analysis as well as implications for practice, policy, and future research are underlined at the end of the article.

3.1. Audio-visual and visual teaching materials

The considerable effect of generating audio-visual and visual teaching materials is discussed below from the three different views on the underlying learning-by-teaching mechanisms: retrieval hypothesis, generative hypothesis, and social presence hypothesis (Lachner et al., 2022).

As to the retrieval hypothesis, research has only just started to develop (Kobayashi, 2022). Koh et al. (2018) did not find significant differences between teaching with retrieval and retrieval practice alone. Thus, they interpreted that retrieval practice underlies the learning benefits of teaching. However, as pointed out by Lachner et al. (2022), the comparison between teaching with or without retrieval practice should be interpreted cautiously, as students involved in teaching without retrieval were only asked to read a teaching script aloud prepared by the experimenters beforehand. One might expect different outcomes if the to-be-read outline was generated by the students themselves. This is usually the case in real-context tasks that involve students in creating audio-visual teaching materials (e.g., Erdmann & March 2014; Hoogerheide, Visee, et al., 2019; Jablonski et al., 2015; Slussareff & Boháčková, 2016). Moreover, while some forms of videos (e.g., video lectures) might be inclined to less reliance on the exact words of the script, others (e.g., narrated videos) might be more prone to only reading the script aloud. It is also important that in the preparation stage (i.e., when the script is created) information from the source material is elaborated and transformed into meaningful knowledge, thus generating knowledge building rather than knowledge telling—in the words of Roscoe and Chi (2008). Based on the findings of this meta-analysis, it seems that having access to the source material at the non-interactive teaching stage may hinder elaboration and retrieval practice.

With reference to the second hypothesis, learning by teaching is considered a generative learning strategy (Fiorella & Mayer, 2014, 2016). As stated by Lachner et al. (2022), some studies have shown initial evidence in favour of the generative hypothesis rather than the retrieval hypothesis (e.g., Hoogerheide et al., 2014; Hoogerheide et al., 2016; Jacob et al., 2020). According to Fiorella and Mayer (2016), prototypical learning-by-teaching situations involve further elaboration upon the material by generating a primarily verbal representation of it. However, creating audio-visual and visual materials involves translating the usual text-based source material into one or more forms of representation, including the generation of spatial representations, which is considered by Fiorella and Mayer (2016) as the generative potential of other learning strategies, such as mapping or drawing. Unlike visual-only materials, the multi-modal nature of audio-visual materials emphasises not only spatial but also verbal generative strategies. Fiorella and Kuhlmann (2020) reported that an explain-and-draw group significantly outperformed the explain-only and the draw-only groups. As discussed by Jablonski et al. (2015), by creating a multimodal representation students re-represent the content with different modalities, which involves transfer and meaning-making processes. In this meta-analysis, no significant differences were found between audio-visual and visual materials. However, it is worth considering that some of the audio-visual materials did not necessarily involve the creation of any spatial representation, but only providing an oral explanation while being video-recorded, as in the explain-only group from Fiorella and Kuhlmann (2020).

Based on the learning-by-teaching framework (Duran, 2017; Duran & Topping, 2017; Fiorella & Mayer, 2014; Kobayashi, 2019b; Lachner et al., 2022), one might assume that there are two stages involved in the creation of an audio-visual teaching material: a preparation stage and a non-interactive teaching stage, although in real contexts they are usually blended and recursive. Focusing on the preparation stage, it is worth mentioning the study by Muis et al. (2016), who investigated learning by preparing to teach in mathematics problem solving. Students were told that they would teach the content through a brief video, but the research focused on the first part of the process (i.e., when students solved the problem). Compared to a control condition, students showed a better task definition, were engaged in more metacognitive processing strategies, and had higher levels of mathematics problem solving achievement. No differences were found in planning and goal setting or in the use of cognitive strategies. According to Fiorella and Mayer (2013), who addressed the differences between preparing-to-teach and actually teaching, these two situations might involve different cognitive processes, with actually teaching promoting deeper processing than preparing-to-teach. As pointed out by Lachner

et al. (2022), studying with a teaching expectancy was found to moderate the effectiveness of non-interactive teaching in Fiorella and Mayer (2014), but this moderation effect has not been replicated in other studies (e.g., Hoogerheide et al., 2014; Hoogerheide et al., 2016). Two studies have found that a complementary third phase (i.e., peer assessment) can boost the learning effects when creating animations (Chang et al., 2010) and games (Hwang, Hung, & Chen, 2014).

Regarding the social presence hypothesis, Hoogerheide, Visee, et al. (2019) suggest that the key to the underlying mechanisms of learning by teaching does not only have to do with generative activities. They compared creating an instructional video as homework to another generative strategy (i.e., summarising) and to restudying. Summarising did not lead to better test performance than restudying, but creating an instructional video did. The authors suggested that a plausible explanation may lie in social presence. This is the third hypothesis for explaining the underlying learning-by-teaching mechanisms (Lachner et al., 2022). According to Lachner et al. (2022, p. 15), “social presence during non-interactive teaching may be regarded as a double-edged sword, as high levels of social presence impaired rather than contributed to learning”. However, it seems that perceived social presence may involve higher levels of motivation that could explain the potential effects of non-interactive teaching (Lachner et al., 2022). For instance, students in Hoogerheide, Visee, et al. (2019) perceived the task as more enjoyable than restudying or summarising.

Most studies on non-interactive learning by teaching have created fictional situations in which the material creator knows beforehand—or can easily infer—that the addressee does not actually exist (e.g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2014, 2016). Although some of the studies try to provide realistic instructions that make the creator think of the audience (e.g., Jacob et al., 2021; Lachner et al., 2020), only few articles do set real addressees for student-generated materials, either by providing a potential audience on the internet (Heafner & Friedman, 2008; Shoeppe et al., 2015) or an actual peer audience (Hsu & Wang, 2018). One might hypothesise that a real addressee could involve more learning gains than an imaginary addressee, whose non-existence students are aware of. Establishing a real audience lends the opportunity to have the addressee use the material, which may increase student perceptions of value and usefulness towards the task (Ribosa & Duran, 2022). Considering that the novelty effect of these practices may decrease over time, it is hypothesised that the sustained use of imaginary audiences might hinder the learning-by-teaching potential in real contexts. Future studies might test this hypothesis and compare different types of real addressees (e.g., same-age peers, younger peers, potential internet viewers).

3.2. Textual teaching materials

Focusing on textual teaching materials, the findings from this meta-analysis should be interpreted with caution. First, only seven articles were included: Hoogerheide, Staal, et al. (2019) and Vreman-de Olde et al. (2013) for student-generated questions; and Heafner and Friedman (2008), and Hoogerheide et al. (2016), Jacob et al. (2020, 2021), and Lachner et al. (2021) for student-generated texts.

As for student-generated questions, Vreman-de Olde et al. (2013) did find that students from one class who learned by designing assignments performed significantly better than the control group on conceptual knowledge, but not on procedural knowledge. However, these results were not replicated in another class. In the other study, Hoogerheide, Staal, et al. (2019) reported that restudying outperformed generating multiple-choice questions.

It is worth considering the findings from other studies that could not be included in this meta-analysis. Foos et al. (1994, Experiment 2) did find that students who created study questions outperformed those who received those questions generated by peers, but only on test items that were targeted by the generated materials. It should be noted that in the questions students targeted only about a third of the most important ideas from the source material. Kerkman et al. (1994) reported significantly higher test scores for the students who created questions, compared to a control group. Formal correctness and conceptual quality increased over time, which suggest that practice is needed to make the most of learning by creating questions. Moreover, two studies using within-subjects designs showed that having students create questions has a statistically significant impact on their academic performance (Doyle & Buckley, 2020; Doyle et al., 2021).

Other studies have pointed to possible improvements for these interventions: generating feedback for the users (Yu, 2022; Yu et al., 2018; Yu & Wu, 2020), doing peer assessment (Yu, 2011; Yu & Liu, 2009), creating tests (Yu, 2019; Yu & Wu, 2016), scaffolding the creation process (Yu, 2009; Yu & Yang, 2014), and using peer-generated questions (Hardy et al., 2014; Yu & Chen, 2014). From a learning-by-teaching perspective, these improvements probably activate generative strategies for deeper processing of the content and boost a heightened perception of social presence. Formulating and answering questions is actually a highly valuable activity in learning by teaching (Duran, 2017; Fiorella & Mayer, 2014; Roscoe & Chi, 2008).

In reference to student-generated texts, Heafner and Friedman (2008) did not find any significant differences between the intervention and the control group, based on a small sample. Hoogerheide et al. (2016) found that explaining via writing did not affect learning outcomes when compared to restudying. Moreover, preparing the material with or without teaching expectancy did not make any difference. Jacob et al. (2020) suggested that the difference between explaining orally or in written form emerge when the source material is a high-complex rather than a low-complex text. Since a higher perception of social presence is hypothesised to enhance learning by teaching, Jacob et al. (2021) tried to induce social presence in a writing task by creating a chat condition. However, they did not find any significant effects on learning compared to other writing conditions and retrieval practice. Finally, Lachner et al. (2021) did not find any significant effect of written explanations when compared to written self-explanations and written retrieval practice. In a second experiment that was not included in this meta-analysis, a within-subjects design showed that self-explaining was more effective than instructional writing.

It is worth mentioning a study by Rijlaarsdam et al. (2006), who carefully explored possible improvements. The authors had ninth-grade students write experiment manuals for their peers describing a simple physics investigation, and then their peers were

videotaped while using the peer-generated manuals. They created a control writing-only condition and several experimental conditions, based on pre-writing and post-writing activities. Besides measuring the quality of manuals, three weeks after the intervention the authors had students write a letter-of-advice about criteria for good experiment manuals. Two experimental conditions were salient: students from a pre-writing condition in which not only did they use the peer-generated manual but also commented on it; and students from a post-writing condition who observed their readers and received written comments for revision. Thus, it seems that involving students in peer assessment (i.e., both giving and receiving feedback) is key for the learning potential of student creation of instructional texts. From a learning-by-teaching perspective, it is likely that peer assessment increase student perceived social presence and trigger generative strategies when revising the content. In another study, [Lachner and Neuburg \(2019\)](#) found that automated computer-based feedback with specific information about the quality of written explanations can enhance learning by writing explanations.

3.3. Limitations

Some limitations should be considered. First, grey literature was excluded from this meta-analysis. Moreover, the eligibility criteria and search protocol may have disregarded some articles worth of consideration in this disperse and burgeoning area of study. However, no publication bias was detected, and these other relevant articles were considered in the discussion.

Second, control groups were quite heterogeneous. As stated by [Kraft \(2020\)](#), standard educational practices cannot be evaluated relative to a control group that does not receive any treatment, but relative to a control group that receives an alternative treatment. Some control groups of the included studies involved students in business-as-usual or alternative interventions that were not expected to influence the outcome much, while others involved them in alternative interventions that were known or expected to have a positive effect ([Willingham & Daniel, 2021](#)). Meta-regression did find a moderation effect based on the type of control group.

Third, based on [Kraft \(2020\)](#), some limitations of the outcome measures of the studies should be considered: a) the interventions were usually closely aligned with the outcomes; b) the outcomes were not assessed at the same moment after the intervention in the different studies; and c) most but not all tests had been assessed for reliability.

3.4. Implications for practice, policy, and future research

The results of this meta-analysis indicate that students can learn by teaching through the creation of teaching materials, which can be considered a form of indirect or non-interactive teaching ([Kobayashi, 2019b](#); [Lachner et al., 2022](#)). These findings back up the different kinds of practices that give students an active role in supporting their peers' learning, such as interventions based on contributing student pedagogy ([Hamer et al., 2008, 2012](#)). Students can be engaged as co-creators of learning resources, not only because they contribute to the learning of others and value others' contribution—as pointed out by contributing student pedagogy—, but also and most importantly because they can learn what they teach by doing so.

Just like constructivism ([Lourenço, 2012](#)) and the learning-by-doing principle ([Reese, 2011](#)) have influenced educational policies towards student-centred approaches—with their lights and shadows—, the learning-by-teaching principle can come into play as well. Introducing the learning-by-teaching perspective into educational policies can drive towards knowledge democratisation, in a society in which we be capable of learning from and thus teaching each other ([Duran, 2017](#)). In practice, the learning-by-teaching perspective might involve educational interventions that are based not only on non-interactive teaching (i.e., creating teaching materials) but also on different forms of interactive teaching, such as peer tutoring, cooperative learning, peer assessment, or co-teaching with students ([Duran & Topping, 2017](#)). These forms of interactive teaching could also benefit from research adopting the lens of learning by teaching.

Based on [Kraft \(2020\)](#), two considerations should be underlined. First, the student creation of teaching materials seems a cost-effective practice. In terms of budget, these interventions usually make use of common already-available digital technologies, which do not involve extra costs for the institution. In terms of time, experimental studies that controlled the time students invested in doing the task have shown that learning by creating video lectures can be more effective than restudying (e.g., [Fiorella & Mayer, 2014](#); [Hoogerheide et al., 2016](#); [Hoogerheide, Renkl, et al., 2019](#)). However, the time invested by students in real contexts has to be controlled ([Hoogerheide, Visee, et al., 2019](#)). Second, this kind of practices might be relatively easy to replicate at scale under ordinary circumstances—as shown by studies that were carried out in real contexts (e.g., [Chang et al., 2010](#)). However, teacher resistance to sharing the teaching responsibility with students should be addressed carefully ([Croft et al., 2013](#); [Duran & Topping, 2017](#)).

All in all, this meta-analysis shows that creating teaching materials can enhance student learning of the content they teach through those materials. Further research will have to explore if the sustained practice of creating teaching materials may have an impact on standardized tests rather than specialised topic tests aligned with the treatment ([Kraft, 2020](#)). Besides subject matter, other learning outcomes can also be addressed in future reviews, such as cross-curricular competencies, academic emotions, or engagement ([Ribosa & Duran, 2022](#)). Moreover, future experimental and quasi-experimental studies may intentionally address the covariates and potential improvements. Qualitative studies could further examine the creation process of teaching materials to shed more light on the actions that boost student learning.

Author statement

Jesús Ribosa: Conceptualization, Methodology, Formal analysis (with statistical advice), Writing - Original Draft, Visualization.

David Duran: Conceptualization, Methodology, Validation, Writing - Review & Editing, Visualization, Supervision.

Funding details

This work was supported by the Spanish Ministry of Education and Vocational Training under Grant FPU18/01663 for the training of university teachers.

Declaration of competing interest

None.

Acknowledgements

We want to thank the Applied Statistics Service from Universitat Autònoma de Barcelona for their statistical advice.

References

References marked with an asterisk indicate articles included in the meta-analysis.

- Bargh, J., & Schul, Y. (1980). On the cognitive benefits of teaching. *Journal of Educational Psychology*, 72(5), 593–604. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.72.5.593>
- Benware, C. A., & Deci, E. L. (1984). Quality of learning with an active versus passive motivational set. *American Educational Research Journal*, 21(4), 755–765. <https://doi.org/10.3102/00028312021004755>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons.
- * Chang, H. Y., Quintana, C., & Krajcik, J. S. (2010). The impact of designing and evaluating molecular animations on how well middle school students understand the particulate nature of matter. *Science Education*, 94(1), 73–94. <https://doi.org/10.1002/sc.20352>
- Coleman, E. B., Brown, A. L., & Rivkin, I. D. (1997). The effect of instructional explanations on formal learning from scientific texts. *The Journal of the Learning Sciences*, 6(4), 347–365.
- Collis, B., & Moonen, J. (2005). *An on-going journey: Technology as a learning workbench*. University of Twente.
- Croft, T., Duah, F., & Loch, B. (2013). 'I'm worried about the correctness': Undergraduate students as producers of screencasts of mathematical explanations for their peers - lecturer and student perceptions. *International Journal of Mathematical Education in Science & Technology*, 44(7), 1045–1055. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2013.823252>
- Doyle, E., & Buckley, P. (2020). *The impact of co-creation: An analysis of the effectiveness of student authored multiple choice questions on achievement of learning outcomes*. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1777166>
- Doyle, E., Buckley, P., & McCarthy, B. (2021). The impact of content co-creation on academic achievement. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 46(3), 494–507. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1782832>
- Duran, D. (2017). Learning-by-teaching: Evidence and implications as a pedagogical mechanism. *Innovations in Education & Teaching International*, 54(5), 476–484. <https://doi.org/10.1080/14703297.2016.1156011>
- Duran, D., & Topping, K. J. (2017). *Learning by teaching: Evidence-based strategies to enhance learning in the classroom*. Routledge.
- Egger, M., Smith, G. D., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ*, 315, 629–634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- * Erdmann, M. A., & March, J. L. (2014). Video reports as a novel alternate assessment in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education: Research and Practice*, 15(4), 650–657. <https://doi.org/10.1039/C4RP00107A>
- Farrokhnia, M., Meulenbroeks, R. F., & van Joolingen, W. R. (2020). Student-generated stop-motion animation in science classes: A systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 797–812. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09857-1>
- Field, A. P., & Gillett, R. (2010). How to do a meta-analysis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 63(3), 665–694. <https://doi.org/10.1348/000711010X502733>
- * Fiorella, L., & Kuhlmann, S. (2020). Creating drawings enhances learning by teaching. *Journal of Educational Psychology*, 112(4), 811–822. <https://doi.org/10.1037/edu0000392>
- * Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2013). The relative benefits of learning by teaching and teaching expectancy. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.06.001>
- * Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2014). Role of expectations and explanations in learning by teaching. *Contemporary Educational Psychology*, 39(2), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.01.001>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016). Eight ways to promote generative learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 717–741. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9348-9>
- Foos, P. W., Mora, J. J., & Tkacz, S. (1994). Student study techniques and the generation effect. *Journal of Educational Psychology*, 86(4), 567–576. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.86.4.567>
- Fukaya, T. (2013). Explanation generation, not explanation expectancy, improves metacomprehension accuracy. *Metacognition and Learning*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11409-012-9093-0>
- Gallardo-Williams, M., Morsch, L. A., Paye, C., & Seery, M. K. (2020). Student-generated video in chemistry education. *Chemistry Education: Research and Practice*, 21, 488–495. <https://doi.org/10.1039/C9RP00182D>
- Gray, K., Thompson, C., Sheard, J., Clerehan, R., & Hamilton, M. (2010). Students as web 2.0 authors: Implications for assessment design and conduct. *Australasian Journal of Educational Technology*, 26(1), 105–122. <https://doi.org/10.14742/ajet.1105>
- Hamer, J., Cutts, Q., Jackova, J., Luxton-Reilly, A., McCartney, R., Purchase, H., et al. (2008). Contributing student pedagogy. *ACM SIGCSE Bulletin*, 40(4), 194–212. <https://doi.org/10.1145/1473195.1473242>
- Hamer, J., Sheard, J., Purchase, H., & Luxton-Reilly, A. (2012). Contributing student pedagogy. *Computer Science Education*, 22(4), 315–318. <https://doi.org/10.1080/08993408.2012.727709>
- Hardy, J., Bates, S. P., Casey, M. M., Galloway, K. W., Galloway, R. K., Kay, A. E., et al. (2014). Student-generated content: Enhancing learning through sharing multiple-choice questions. *International Journal of Science Education*, 36(13), 2180–2194. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.916831>
- Hava, K., & Cakir, H. (2017). A systematic review of literature on students as educational computer game designers. In J. Johnston (Ed.), *Proceedings of EdMedia 2017* (pp. 407–419). Association for the Advancement of Computing in Education.
- * Heafner, T. L., & Friedman, A. M. (2008). Wikis and constructivism in secondary social studies: Fostering a deeper understanding. *Computers in the Schools*, 25(3–4), 288–302. <https://doi.org/10.1080/07380560802371003>
- * Hoogerheide, V., Deijkers, L., Loyens, S., Heijltjes, A., & van Gog, T. (2016). Gaining from explaining: Learning improves from explaining to fictitious others on video, not from writing to them. *Contemporary Educational Psychology*, 44–45, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.005>
- * Hoogerheide, V., Loyens, S. M., & van Gog, T. (2014). Effects of creating video-based modeling examples on learning and transfer. *Learning and Instruction*, 33, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.04.005>
- * Hoogerheide, V., Renkl, A., Fiorella, L., Paas, F., & van Gog, T. (2019). Enhancing example-based learning: Teaching on video increases arousal and improves problem-solving performance. *Journal of Educational Psychology*, 111(1), 45–56. <https://doi.org/10.1037/edu0000272>

- * Hoogerheide, V., Staal, J., Schaap, L., & van Gog, T. (2019). Effects of study intention and generating multiple choice questions on expository text retention. *Learning and Instruction*, 60, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.006>.
- * Hoogerheide, V., Visee, J., Lachner, A., & van Gog, T. (2019). Generating an instructional video as homework activity is both effective and enjoyable. *Learning and Instruction*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101226>. Article 101226.
- * Hsu, C. C., & Wang, T. I. (2018). Applying game mechanics and student-generated questions to an online puzzle-based game learning system to promote algorithmic thinking skills. *Computers & Education*, 121, 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.02.002>.
- Hwang, G. J., Hung, C. M., & Chen, N. S. (2014). Improving learning achievements, motivations and problem-solving skills through a peer assessment-based game development approach. *Educational Technology Research & Development*, 62(2), 129–145. <https://doi.org/10.1007/s11423-013-9320-7>
- * Jablonski, D., Hoban, G. F., Ransom, H. S., & Ward, K. S. (2015). Exploring the use of “slowmation” as a pedagogical alternative in science teaching and learning. *Pacific-Asian Education*, 27(1), 5–20.
- * Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2020). Learning by explaining orally or in written form? Text difficulty matters. *Learning and Instruction*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101344>. Article 101344.
- * Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2021). Does increasing social presence enhance the effectiveness of writing explanations?. *PLoS One*, 16(4), Article e0250406. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250406>.
- Kay, R. H. (2012). Exploring the use of video podcasts in education: A comprehensive review of the literature. *Computers in Human Behavior*, 28(3), 820–831. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.01.011>
- Kerkman, D. D., Kellison, K. L., Piñon, M. E., Schmidt, D., & Lewis, S. (1994). The quiz game: Writing and explaining questions improve quiz scores. *Teaching of Psychology*, 21(2), 104–106. https://doi.org/10.1207/s15328023top2102_11
- Kobayashi, K. (2019a). Interactivity: A potential determinant of learning by preparing to teach and teaching. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02755>. Article 2755.
- Kobayashi, K. (2019b). Learning by preparing-to-teach and teaching: A meta-analysis. *Japanese Psychological Research*, 61, 192–203. <https://doi.org/10.1111/jpr.12221>
- Kobayashi, K. (2021). Effects of collaborative versus individual preparation on learning by teaching. *Instructional Science*, 49, 811–829. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09561-6>
- Kobayashi, K. (2022). The retrieval practice hypothesis in research on learning by teaching: Current status and challenges. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.842668>. Article 842668.
- * Koh, A. W. L., Lee, S. C., & Lim, S. W. H. (2018). The learning benefits of teaching: A retrieval practice hypothesis. *Applied Cognitive Psychology*, 32(3), 401–410. <https://doi.org/10.1002/acp.3410>.
- Kraft, M. A. (2020). Interpreting effect sizes of education interventions. *Educational Researcher*, 49(4), 241–253. <https://doi.org/10.3102/0013189X20912798>
- * Lachner, A., Backfisch, I., Hoogerheide, V., van Gog, T., & Renkl, A. (2020). Timing matters! Explaining between study phases enhances students' learning. *Journal of Educational Psychology*, 112(4), 841–853. <https://doi.org/10.1037/edu0000396>.
- Lachner, A., Hoogerheide, V., van Gog, T., & Renkl, A. (2022). Learning-by-teaching without audience presence or interaction: When and why does it work? *Educational Psychology Review*, 34, 575–607. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09643-4>
- * Lachner, A., Jacob, L., & Hoogerheide, V. (2021). Learning by writing explanations: Is explaining to a fictitious student more effective than self-explaining?. *Learning and Instruction*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101438>. Article 101438.
- Lachner, A., Ly, K.-T., & Nückles, M. (2018). Providing written or oral explanations? Differential effects of the modality of explaining on students' conceptual learning and transfer. *The Journal of Experimental Education*, 86(3), 344–361. <https://doi.org/10.1080/00220973.2017.1363691>
- Lachner, A., & Neuburg, C. (2019). Learning by writing explanations: Computer-based feedback about the explanatory cohesion enhances students' transfer. *Instructional Science*, 47(1), 19–37. <https://doi.org/10.1007/s11251-018-9470-4>
- Lea, J., Stritter, F. T., Flair, M. D., & Irvin, J. L. (1974). Students as contributors to the instructional process. *Academic Medicine*, 49(7), 700–703.
- Lourenço, O. (2012). Piaget and Vygotsky: Many resemblances, and a crucial difference. *New Ideas in Psychology*, 30(3), 281–295. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2011.12.006>
- McGahan, W. T., Ernst, H., & Dyson, L. E. (2016). Individual learning strategies and choice in student-generated multimedia. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 8(3), 1–18. <https://doi.org/10.4018/IJMBL.2016070101>
- McGarr, O. (2009). A review of podcasting in higher education: Its influence on the traditional lecture. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(3), 309–321. <https://doi.org/10.14742/ajet.1136>
- Mitchell, B., Bailey, J., & Monroe, E. (2007). Integrating technology and a standards-based pedagogy in a geometry classroom: A mature teacher deals with the reality of multiple demands and paradigm shifts. *Computers in the Schools*, 24(1–2), 75–91. https://doi.org/10.1300/J025v24n01_06
- Muis, K. R., Psaradellis, C., Chevrier, M., Di Leo, I., & Lajoie, S. P. (2016). Learning by preparing to teach: Fostering self-regulatory processes and achievement during complex mathematics problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 474–492. <https://doi.org/10.1037/edu0000071>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Article 71.
- Pi, Z., Zhang, Y., Zhou, W., Xu, K., Chen, Y., Yang, J., et al. (2021). Learning by explaining to oneself and a peer enhances learners' theta and alpha oscillations while watching video lectures. *British Journal of Educational Technology*, 52(2), 659–679. <https://doi.org/10.1111/bjet.13048>
- Piürbudak, A., & Usta, E. (2021). Collaborative group activities in the context of learning styles on Web 2.0 environments: An experimental study. *Participatory Educational Research*, 8(2), 407–420. <https://doi.org/10.17275/per.21.46.8.2>
- Reese, H. W. (2011). The learning-by-doing principle. *Behavioral Development Bulletin*, 17(1), 1–19. <https://doi.org/10.1037/h0100597>
- Reyna, J., Hanham, J., & Meier, P. (2018). The Internet explosion, digital media principles and implications to communicate effectively in the digital space. *E-learning and Digital Media*, 15(1), 36–52. <https://doi.org/10.1177/2042753018754361>
- Reyna, J., & Meier, P. (2018). Learner-generated digital media (LGDM) as an assessment tool in tertiary science education: A review of literature. *IAFOR Journal of Education*, 6(3), 93–109. <https://doi.org/10.22492/ije.6.3.06>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022). Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field. *Education in the Knowledge Society*, 23, Article 27443. <https://doi.org/10.14201/eks.27443>
- Rijlaarsdam, G., Couzijn, M., Janssen, T., Braaksmas, M., & Kieft, M. (2006). Writing experiment manuals in science education: The impact of writing, genre, and audience. *International Journal of Science Education*, 28(2–3), 203–233. <https://doi.org/10.1080/09500690500336932>
- Roscoe, R. (2014). Self-monitoring and knowledge building in learning by teaching. *Instructional Science*, 42(3), 327–351. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9283-4>
- * Roscoe, R. D., & Chi, M. T. (2008). Tutor learning: The role of explaining and responding to questions. *Instructional Science*, 36(4), 321–350. <https://doi.org/10.1007/s11251-007-9034-5>.
- * Shoepe, T. C., Cavedon, D. K., Derian, J. M., Levy, C. S., & Morales, A. (2015). The ATLAS project: The effects of a constructionist digital laboratory project on undergraduate laboratory performance. *Anatomical Sciences Education*, 8(1), 12–20. <https://doi.org/10.1002/ase.1448>.
- * Slussareff, M., & Boháčková, P. (2016). Students as game designers vs. ‘just’ players: Comparison of two different approaches to location-based games implementation into school curricula. *Digital Education Review*, 29, 284–297. <https://doi.org/10.1344/der.2016.29.284-297>.
- Smulders, H., Cox, A., & Westerhuis, A. (2016). Vocational education and training in Europe – Netherlands. Cedefop ReferNet VET in Europe reports http://libserver.cedefop.europa.eu/vetelib/2016/2016_CR_NL.pdf.
- Snelson, C. (2018). Video production in content-area pedagogy: A scoping study of the research literature. *Learning, Media and Technology*, 43(3), 294–306. <https://doi.org/10.1080/17439884.2018.1504788>
- Staub, N. A., & Bravender, M. (2014). Principal candidates create decision-making simulations to prepare for the JOB. *International Journal of Educational Leadership Preparation*, 9(1), 171–185.

- Thompson, B. (2007). Effect sizes, confidence intervals, and confidence intervals for effect sizes. *Psychology in the Schools*, 44(5), 423–432. <https://doi.org/10.1002/pits.20234>
- * Van Brussel, S., Timmermans, M., Verkoeijen, P., & Paas, F. (2021). Teaching on video as an instructional strategy to reduce confirmation bias: A pre-registered study. *Instructional Science*, 49(4), 475–496. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09547-4>.
- Vázquez, A. V., McLoughlin, K., Sabbagh, M., Runkle, A. C., Simon, J., Coppola, B. P., et al. (2012). Writing-to-teach: A new pedagogical approach to elicit explanative writing from undergraduate chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 89(8), 1025–1031. <https://doi.org/10.1021/ed200410k>
- * Vreman-de Olde, C., de Jong, T., & Gijlers, H. (2013). Learning by designing instruction in the context of simulation-based inquiry learning. *Journal of Educational Technology and Society*, 16(4), 47–58.
- Wang, Y., Lin, L., & Chen, O. (2021). The benefits of teaching on comprehension, motivation, and perceived difficulty: Empirical evidence of teaching expectancy and the interactivity of teaching. *British Journal of Educational Psychology*, 91(4), 1275–1290. <https://doi.org/10.1111/bjep.12416>
- Ward, C. D. (1973). Multiple-choice question writing: Research participation and exam performance. *Journal of College Science Teaching*, 3(1), 77–78.
- Willingham, D. T., & Daniel, D. B. (2021). Making education research relevant: How researchers can give teachers more choices. *Education Next*, 21(2). <https://www.educationnext.org/making-education-research-relevant-how-researchers-can-give-teachers-more-choices/>.
- Winslett, G. (2014). What counts as educational video? Working toward best practice alignment between video production approaches and outcomes. *Australasian Journal of Educational Technology*, 30(5), 487–502. <https://doi.org/10.14742/ajet.458>
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In M. Shepperd (Ed.), *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering (Article 38)*. Association for Computing Machinery.
- Yu, F. Y. (2009). Scaffolding student-generated questions: Design and development of a customizable online learning system. *Computers in Human Behavior*, 25(5), 1129–1138. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2009.05.002>
- Yu, F. Y. (2011). Multiple peer-assessment modes to augment online student question-generation processes. *Computers & Education*, 56(2), 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.08.025>
- Yu, F. Y. (2019). The learning potential of online student-constructed tests with citing peer-generated questions. *Interactive Learning Environments*, 27(2), 226–241. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1458040>
- Yu, F. Y. (2022). An online learning system supporting student-generated explanations for questions: Design, development, and pedagogical potential. *Interactive Learning Environments*, 30(5), 782–802. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1686398>
- Yu, F. Y., & Chen, Y. J. (2014). Effects of student-generated questions as the source of online drill-and-practice activities on learning. *British Journal of Educational Technology*, 45(2), 316–329. <https://doi.org/10.1111/bjet.12036>
- Yu, F. Y., & Liu, Y. H. (2009). Creating a psychologically safe online space for a student-generated questions learning activity via different identity revelation modes. *British Journal of Educational Technology*, 40(6), 1109–1123. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00905.x>
- Yu, F. Y., & Wu, C. P. (2016). The effects of an online student-constructed test strategy on knowledge construction. *Computers & Education*, 94, 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.005>
- Yu, F. Y., & Wu, W. S. (2020). Effects of student-generated feedback corresponding to answers to online student-generated questions on learning: What, why, and how? *Computers & Education*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103723>. Article 103723.
- Yu, F. Y., Wu, W. S., & Huang, H. C. (2018). Promoting middle school students' learning motivation and academic emotions via student-created feedback for online student-created multiple-choice questions. *Asia-Pacific Education Researcher*, 27(5), 395–408. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0398-x>
- Yu, F. Y., & Yang, Y. T. (2014). To see or not to see: Effects of online access to peer-generated questions on performance. *Journal of Educational Technology and Society*, 17(3), 27–39.
- Zajonc, R. B. (1966). *Social psychology: An experimental approach*. Wadsworth.

2.3. Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity

Resum

Context. Davant l'escassa però prometedora pràctica d'intervencions educatives basades en la creació de materials didàctics per part d'estudiants, s'ha dissenyat el Projecte Bikos.

Propòsit. Aquest article presenta i avalua el Projecte Bikos. Les parelles d'estudiants creen de manera cooperativa videotutorials a partir de preguntes que sorgeixen de la seva curiositat científica. Van abordar-se quatre preguntes de recerca: (1) Els estudiants milloren el coneixement específic sobre la pregunta?; (2) Els estudiants perceben millores en l'aprenentatge?; (3) A què atribueixen l'aprenentatge els estudiants?, i (4) Com avaluen el projecte els estudiants?.

Mostra. El projecte es va dur a terme en dues escoles de primària, amb 44 estudiants de sisè (i. e., 23 noies i 21 nois d'entre 11 i 12 anys), que es van agrupar en parelles. Cadascuna de les 22 parelles d'estudiants va crear dos videotutorials.

Disseny i mètode. Es va dur a terme un disseny pretest-posttest d'un sol grup per tal d'identificar possibles millores en el coneixement específic, i al final del projecte es va fer una enquesta en línia per tal de recollir les percepcions dels estudiants.

Resultats. El pretest-posttest mostra que els estudiants milloren significativament el coneixement específic sobre les preguntes. Perceben aquestes millores en el coneixement específic i en altres àrees d'aprenentatge, incloses les relacionades amb la cerca d'informació i l'ús d'eines tecnològiques. Principalment, atribueixen l'aprenentatge a l'elecció de la pregunta i a l'ajuda del company. Es valoren positivament les tecnologies digitals, l'aprenentatge cooperatiu i l'aprenentatge sobre les pròpies preguntes, mentre que se subratllen la inversió de temps i les dificultats a l'hora de cercar informació i d'enregistrar la narració.

Conclusió. Sembla que els beneficis d'aprenentatge del projecte no es limiten al coneixement específic sobre la pregunta, sinó que també impliquen altres àrees. Tanmateix, cal evitar que els aspectes tecnològics del projecte monopolitzin tota l'atenció i la desviïn del repte principal: transformar la informació en coneixement.

Paraules clau: aprenentatge actiu; vídeo educatiu; aprendre ensenyant; ensenyament de les ciències; materials didàctics.

Referència

Ribosa, J., & Duran, D. (2022d). Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity. *Research in Science & Technological Education*. Publicació avançada en línia. <http://doi.org/10.1080/02635143.2022.2116419>

Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity

Jesús Ribosa^{a*} and David Duran^a

^aDepartment of Basic, Developmental and Educational Psychology, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Catalonia

* jesus.ribosa@uab.cat

ORCID Jesús Ribosa <https://orcid.org/0000-0002-3551-0022>

ORCID David Duran <https://orcid.org/0000-0002-0640-3834>

Twitter from the Research Group on Peer Learning [@GraiUab](https://twitter.com/GraiUab)

This is an Author's Accepted Manuscript of an article published by Taylor & Francis Group in *Research in Science & Technological Education* on 05 Sep 2022, available online: <https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/02635143.2022.2116419>

Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity

Background: Given the scarce but promising practice of educational interventions based on the creation of teaching materials by students, Bikos Project has been designed.

Purpose: This article presents and assesses Bikos Project. Pairs of students cooperatively create video tutorials from questions that arise from their scientific curiosity. Four research questions were addressed: (1) Do students improve their specific knowledge about the question?; (2) Do students perceive improvements in their learning?; (3) What do students attribute their learning to?, and (4) How do students evaluate the project?.

Sample: The project was carried out in two primary schools, with 44 sixth-grade students (i.e., 23 girls and 21 boys aged 11-12 years old), who were grouped in pairs. Each of the 22 pairs of students created two video tutorials.

Design and methods: A one-group pretest-posttest design was carried out to identify possible improvements in their specific knowledge, and an online survey was administered at the end of the project to gather student perceptions.

Results: The pretest-posttest shows that students significantly improve their specific knowledge about the questions. They perceive these improvements in specific knowledge, and in other areas of learning, including those related to information searching and the use of technological tools. Mainly, they attribute their learning to choosing the question and to the help from the partner. Digital technologies, cooperative learning, and learning about their questions were positively valued, while time investment, and difficulties when searching for information and recording the voice-over were underlined.

Conclusion: It seems that the learning benefits of the project are not limited to the specific knowledge about the question, but also involve other areas. However, it is necessary to avoid that the technological aspects of the project monopolize all the attention and deviate it from the main challenge: transforming information into knowledge.

Keywords: active learning; educational video; learning by teaching; science education; teaching materials

Introduction

It is increasingly evident that science teaching and learning practices need to enable students to talk about science, that is, to verbally formulate and exchange explanations to communicate and argue scientific ideas (Bennett et al. 2010; Colley and Windschitl 2016; S. W. Lin et al. 2016; Ødegaard, Arnesen, and Klette 2016). Teaching and learning practices that have students communicate scientific ideas are likely to consider that the presenting or explaining activity offers them opportunities for learning about the scientific concepts and procedures they talk about. That is, they assume—at least implicitly—that students can learn by teaching their peers. Duran (2017) presented a review of studies that provide evidence and limitations of the possibilities of learning by teaching, organized into four levels: a) learning expecting to teach, b) learning by presenting, c) learning by explaining, and d) learning by explaining using questions.

The creation of teaching materials so that other potential learners can also learn is a way of learning by teaching (Duran 2017). More specifically, it has been referred to as an indirect or non-interactive way of teaching (Kobayashi 2019; Lachner et al. 2021). If this material is prepared to be made available to the potential learner, and not as a mere support for an explanation, the practice of generating teaching materials could be mainly considered part of the first level of the learning-by-teaching framework: learning with the expectation that someone will use this material to learn. Expectancy (i.e., the expectation to teach) has been found to foster content retention (Bargh and Schul 1980; Benware and Deci 1984), as well as benefits in content organization (Nestojko, Bui, and Kornell 2014), comprehension and metacognitive processes (Muis et al. 2016), and motivation (Fiorella and Mayer 2013, 2014).

A considerable number of studies have explored the creation of teaching materials by students, mainly in higher education. In these higher stages, there are

multiple examples in different areas —mathematics, physics, chemistry, biology and earth sciences— and a great variety of products —mainly videos of different types and multiple-choice questions, but also photos, collaborative notes, blogs, websites and textbooks—, with very promising results for students' motivation and learning (Ribosa and Duran 2022). As for motivational outcomes, research shows that most students positively value this kind of tasks, considering that some factors may promote or hinder engagement, such as time and effort, novelty, audience, teacher guidance, and choice and sense of ownership (Ribosa and Duran 2022). Concerning socio-cognitive outcomes, research points to learning of the subject matter, but also to the development of cross-curricular competencies, such as the use of digital tools, information searching, communication and teamwork skills (Ribosa and Duran 2022).

However, in compulsory education research is scarce. In secondary education, in the area of environmental chemistry, Siko (2013) analyzed the questions that students generated and introduced into games that they created with PowerPoint. The analysis of 1,250 questions showed that most of them were not cognitively complex, classified by the authors as knowledge-level questions according to Bloom's taxonomy (Bloom et al. 1956). Focusing on audiovisual materials, some interventions can be found in the fields of earth sciences (Mills, Tomas, and Lewthwaite 2019), biology (Jablonski et al. 2015) and physics (Downie, Morton, and McCoustra 2017). The student creation of videos is actually becoming more and more commonplace in science class (Farrokhnia, Meulenbroeks, and van Joolingen 2020; Gallardo-Williams et al. 2020; Reyna and Meier 2018; Snelson 2018). Mills, Tomas, and Lewthwaite (2019) had small groups of ninth-grade students construct slowmations (slow animations) to explain the geological processes at tectonic plate boundaries. A pretest-posttest showed a significant improvement in conceptual knowledge, and the analysis of student interaction found

increased sophistication of their ideas. Eight-grade students were also asked to create slowmations in Jablonski et al. (2015), in this case on protists. When compared to a control group that created a wire hanger mobile, the students creating slowmations outperformed the control group in a test on the unit content. Downie, Morton, and McCoustra (2017) had students prepare a short video to present a scientific experiment on light. Results showed that the more satisfied the students were with their own video, the more likely they were to recommend similar projects and to pursue science courses in the future.

In primary education, three studies reporting student-generated teaching materials in science class were found. Hsu and Wang (2018) investigated the generation of questions in geometric puzzle-solving games that students created themselves. Results showed that generating questions motivated students to engage in learning activities and improved their algorithmic thinking skills. The other two studies focused on the development of multimedia teaching materials. Penttilä et al. (2016) investigated the creation of short digital stories in which students explained scientific experiments in chemistry. Results suggested that the students who created the digital stories showed a higher level of abstraction about the learning content. In another study, Hoogerheide et al. (2019) had students create instructional videos on photosynthesis as homework and compared their test performance to two other situations: summarizing and restudying. The authors found that summarizing did not lead to better performance than restudy, but creating an instructional video did. Moreover, students perceived the task of creating an instructional video as more enjoyable than restudying or summarizing.

Most of the research on the creation of teaching materials by students, in the different educational stages, do not explicitly attribute the benefits to learning by teaching (Ribosa and Duran 2022). The most frequent explanations provided by

researchers in their studies refer to active learning, motivational processes, the role of Information and Communication Technology (ICT), and knowledge building (Ribosa and Duran 2022). This highlights the need to design interventions based on the learning-by-teaching perspective (Duran 2017; Duran and Topping 2017) to maximize their benefits and anticipate possible difficulties.

Given the scarce but promising practice of educational interventions based on the creation of teaching materials by students, Bikos Project has been designed, and it is presented and assessed in this article. Based on learning by teaching, in a format that aims to develop digital literacy and self-directed learning, this educational project proposes that pairs of students formulate scientific questions, from their interests and curiosity to know the world, and jointly regulate their activity to create video tutorials as a mechanism for their own learning. The dynamic nature of knowledge requires the school to move from transmitting answers to teaching how to ask questions and how to develop the necessary strategies to find answers (Fernández-Enguita 2017). As Freire and Faundez (1989) point out, the beginning of knowledge is the question, and only from this point should the search for answers begin.

Bikos Project

From the area of science education, Bikos Project aims to contribute to the development of several competences, especially those related to learning to learn, the digital field and information processing (Ribosa and Duran 2021). It proposes that pairs of students elaborate a video tutorial to answer a question about the world that they formulate. In this proposal, the concept of video tutorial tries to move away from the procedural transmissive model usually found on the internet. Here, the video tutorial is understood as a video of maximum three minutes in which the content is presented guiding the audience in their comprehension process, by formulating prior knowledge questions at

the beginning, comprehension questions during the video tutorial, and a global comprehension question at the end. It is about creating a material that allows potential learners to learn what these students are learning while elaborating the material; therefore, it is a situation of learning by teaching in expectancy, that is, learning with the expectation that someone will use this material to learn (Duran 2017; Fiorella and Mayer 2013, 2014).

In a classroom organization based on cooperative learning (Topping et al. 2017), it is proposed that students work in pairs, with two complementary roles: responsible for content and responsible for technology. Two rounds of video tutorial creation are carried out, exchanging roles between pair members. Cooperative learning tasks have been reported to have a positive impact on student learning of science (e.g., Chang and Hsin 2021; Thurston et al. 2010; Topping et al. 2011; Warfa, Nyachwaya, and Roehrig 2018; Zacharia, Xenofontos, and Manoli 2011). The interaction between students may lead them to verbalize and exchange their scientific ideas, making divergent perspectives emerge (Eymur and Geban 2017). Cooperative learning has been widely used and researched for conceptual change (J. W. Lin et al. 2016), one of the central research topics in science teaching (Furberg and Arnseth 2009; T. J. Lin et al. 2019). Two materials will help students structure their joint activity: a role guide, which defines the tasks that the pair has to carry out and the specific responsibilities of the roles in each task; and an activity sheet, which offers a visual map to help students take notes and track the process. Both materials were created considering the following stages for the creation of the video tutorial:

- (0) Definition of the question. Each pair of students defines the question for their video tutorial. Although it is the responsible for content who takes the initiative in formulating the question, a negotiation process between both members is

necessary so that the question motivates and involves them both in the creation of the video tutorial.

- (1) **Prior knowledge.** Each member of the pair elaborates a conjectural answer to the question, that is, they propose a hypothetical explanation of the phenomenon—based on their prior knowledge, without consulting sources of information. They then share their answers and define their doubts.
- (2) **Information searching.** In a recursive process, students define the key concepts for the search; they search, select, and contrast different sources of information; they tackle initial doubts and raise new questions. This process concludes with the elaboration of a shared answer to the question.
- (3) **Script elaboration.** The students write the video script, organizing and transforming the information to present it to a real potential audience through a video tutorial. This includes writing the voice-over for the video tutorial, as well as planning the visual aids and the prior-knowledge questions at the beginning, the comprehension questions during the video tutorial, and the global comprehension question at the end.
- (4) **Video production.** Students create the video tutorial based on the script. This stage consists of two periods: generation of resources and technical editing; and pedagogical editing, to introduce the interactive questions. In the implementation reported in this article, PowerPoint was used for the technical editing of the video and EDpuzzle for the pedagogical editing, but other technological tools could also be used depending on the implementation context.

ICT plays an important role throughout the video tutorial creation process, especially in stages 2 and 4. Digital technologies in class can be beneficial as long as its use enhances effective learning principles (Yeung, Carpenter, and Corral 2021). With

the challenge of educating students in a digital culture (Webb and Cox 2004; Bawden and Robinson 2009; Coll and Rodríguez 2008; Ilomäki et al. 2016), information searching has become one of the key components of digital literacy (Branch, 2000; Coiro 2011; Coiro and Dobler 2007; Goldman et al. 2012; Monereo 2005). Scaffolding is needed to support strategic information searching, especially in primary and secondary education (Coiro and Dobler 2007; Knight and Mercer 2015; Macedo-Rouet et al. 2013; Zhang and Quintana 2012).

Developing information searching strategies plays an important role in scientific literacy. For example, PISA assesses the competency in explaining phenomena scientifically, that is, to recognize, offer and evaluate explanations for a range of natural and technological phenomena (Organization for Economic Cooperation and Development [OECD], 2019, p. 100). Everyday people either intentionally search or accidentally come across scientific claims from different sources (Sinatra and Lombardi 2020). Research has found how difficult it is for them to evaluate those claims when they read on the Internet (Sinatra and Hofer 2016). It is expected that the project—with its scaffolding roles and materials—provides students with opportunities to learn these information searching strategies, as well as their skills to effectively communicate scientific ideas using digital tools.

It is proposed to carry out two rounds of video tutorial creation with the class, exchanging the roles of the pair, so that both members can take the initiative to formulate the question they want to inquire into. Each round has a duration of about 12 hours of class. The resulting video tutorials will be organized in a virtual platform available to other students and schools.

The project aims for students to make decisions and jointly direct their learning process (Loyens, Magda, and Rikers 2008; Järvelä et al. 2013). Not only does this

purpose require teacher assessment throughout the process, but also students' involvement in assessment. As regards the teacher, he/she carries out three forms of assessment: initial assessment, to detect prior knowledge about the question students want to inquire into (i.e., stage 1); formative assessment (i.e., having access to students' interaction and the reported process in the activity sheet), which allows the teacher to approach students' learning process, to monitor and adjust supports; and final assessment (i.e., by having students individually answer their question at the end), which enables the identification of students' learning progress related to the question, by comparing their initial and final knowledge. As for students, they are involved in two self-assessment activities in pairs: self-assessment at the end of each stage of the video tutorial creation process, to reflect on the learning process and the emotions involved; and self-assessment at the end of each round of video tutorial creation, to reflect on how they work as a pair and set improvement goals for the future. Students are provided with guidelines for self-assessment in the role guide, in the shape of questions that prompt their reflection (Topping 2009).

Research questions

To assess the first implementation of the project, four research questions were addressed:

- (1) Do students improve their specific knowledge about the question addressed in each video tutorial?
- (2) Do students perceive improvements in their learning thanks to their participation in the project?
- (3) What do students attribute their learning to?
- (4) How do students evaluate the project?

Materials and methods

Participants and context of implementation

After a pilot test in the 2017–2018 academic year, in 2018-2019 the project was implemented in two primary education schools in Catalonia. Specifically, 44 sixth grade students (i.e., 23 girls and 21 boys aged 11–12 years old) participated in the project, that is, 22 pairs, who created two video tutorials each. Pairs were created considering that the two members had a similar level in formulating questions about the environment, using data searching strategies and analyzing results to find answers—one of the competences of the Catalan curriculum for science education. Initial teacher training was carried out, as well as meetings to adjust the implementation of the project to the context of each school. The students then received initial training from the teachers, to become familiar with the project objectives, the type of product, the creation process and the support materials. During the implementation of the project, teachers and researchers collaborated to carry it out in the classrooms and evaluate the outcomes, in two rounds of video tutorial creation.

In their video tutorials, the students addressed very diverse questions, about the universe (e.g., What is the Big Bang? How did the Milky Way form?), about phenomena in the natural environment (e.g., How does snow form?, Why do sunsets have different colors?), about animals and plants (e.g., Why are pandas endangered?, Why can light move plants?), about phenomena of the social environment (e.g., Why are there so many languages in the world? What is Norse mythology?), about human beings (e.g., How does the brain work? Why do we humans have feelings?) and about technology (e.g., How does the calculator calculate? Which artificial intelligences are more intelligent than human?). Many of these questions address interdisciplinary issues. Two examples of student-generated video tutorials can be consulted in the following

links: Per què el cel és blau? [Why is the sky blue?] (in Catalan, available at <https://edpuzzle.com/media/5c8bbf4adedf7c409e552be8>), ¿La luz interviene en cómo vemos los colores? [Does light intervene in how we see colors?] (in Spanish, available at <https://edpuzzle.com/media/5c5027287fa15e411ebffb7>).

Data collection and analysis

For research question 1, a pretest-posttest was carried out, in which students answered their question before and after the creation of each video tutorial, without being able to consult sources of information. A six-item rubric (Appendix) was elaborated to assess the answers, based on the model by Zhu, Bernhard, and Gurevych (2009):

- Completeness of information: Does the answer completely respond to the question?
- Comprehensibility: Is the answer clear and easy to read?
- Relevance: Is the information focused on the purpose of the question?
- Veracity: Is the answer credible?
- Degree of detail: Is the answer sufficiently detailed in all the presented ideas?
- Expertise: Does the answer seem to be elaborated by an expert who masters the content?

Each item was assessed between 0 and 3 points, according to four levels described in the rubric (Appendix). The rubric was validated by three raters. In the different items, values between 0.61 and 0.86 were obtained in weighted Cohen's kappa coefficient. After evaluating the answers, pretest and posttest scores of all the video tutorials were compared, considering that each pair of students created two videos (N = 88). Wilcoxon signed-rank test was used to compare the score in the specific items,

given its ordinal nature. As for the total score, Shapiro-Wilk test suggested no deviation from normality ($p = 0.332$), so Student's t-test was carried out. Cohen's d was reported as a measure of the effect size of the changes in total score. The length of the answers in the pretest and posttest were also compared. Here, Shapiro-Wilk test pointed to a deviation from normality ($p < 0.001$). Thus, Wilcoxon signed-rank test was used.

At the end of the project implementation —after the two creation rounds—, a survey was administered to the students through an online form, which they answered in class. It contained two questions: one about students' perception of improvement in autonomy, social skills, use of PowerPoint, use of computer or tablet, reading comprehension, information searching, knowledge about the question —for research question 2—; and another question about what they attributed their learning improvements to: to work at one's own pace, to the help from the materials, to the help from the teacher, to the help from the partner, to the opportunity to choose the question —for research question 3. Students were asked to assess each item in a 4-level Likert scale. Frequencies were reported for the two questions.

At the end of the form, two open response fields were added so that students could indicate what they liked the most and the least, as prompts for their evaluation of the project —research question 4. Content analysis was carried out and emergent codes were identified to organize the aspects that students underlined about the project.

Results

Specific knowledge about the question

Results show that students significantly improve their level of specific knowledge about the questions addressed in their video tutorials (Table 1), with an effect size of 1.09. In the absence of comparison groups, we cannot confidently attribute these improvements

to the intervention. However, since students' questions address such specific knowledge that is not worked on in other instructional situations, and given the large effect size, we assume that the participation in the project may be the main responsible for the improvements.

Table 1. Pretest and posttest scores of the specific knowledge about the question in all the video tutorials created by the students

	Pretest Mean	Pretest <i>SD</i>	Posttest Mean	Posttest <i>SD</i>	Difference post-pre	<i>p</i> value
Completeness of information	0.64	0.53	1.48	0.68	0.84	0.000
Comprehensibility	2.63	0.72	2.42	0.69	-0.21	0.016
Relevance	2.13	1.32	2.00	1.10	-0.13	0.419
Veracity	0.94	0.94	1.59	0.62	0.65	0.000
Degree of detail	0.13	0.45	1.08	0.86	0.95	0.000
Expertise	0.32	0.49	1.50	0.70	1.18	0.000
Total	6.77	2.66	10.07	2.80	3.30	0.000

The extension of the answers increases significantly between pretest and posttest (Table 2). This indicates that after developing the video tutorials the students have more to say about the question they formulate.

Table 2. Comparison of the number of words in the pretest and posttest

	Pretest Mean	Pretest <i>SD</i>	Posttest Mean	Posttest <i>SD</i>	Difference post-pre	<i>p</i> value
Number of words	20.09	13.17	61.89	29.15	41.80	0.000

From the six items, completeness of information, veracity, degree of detail and expertise show significant improvements. In other words, the answers become more complete and more credible, and the ideas presented are more developed and show a higher level of mastery of the content. However, relevance does not show significant changes, and comprehensibility decreases significantly (Table 1). Regarding relevance,

it should be noted that in the information searching process students find large amounts of information that do not always fit their purpose. If they do not properly regulate the selection of information, in their answers not only can they include key information for the purpose of the question but also anecdotal information, deviating from the focus. In reference to the significant decrease in comprehensibility, it is probably because the posttest answers are considerably more extensive and sophisticated than those from the pretest. Therefore, the longer the answer, the more likely it is to find a poorly worded idea, which lowers the score in comprehensibility.

Students' perception of learning

Results from the survey show that students perceive very positively the impact of the project on their learning. Most students perceive that they learned very much or rather much in all the listed learning domains (Figure 1).

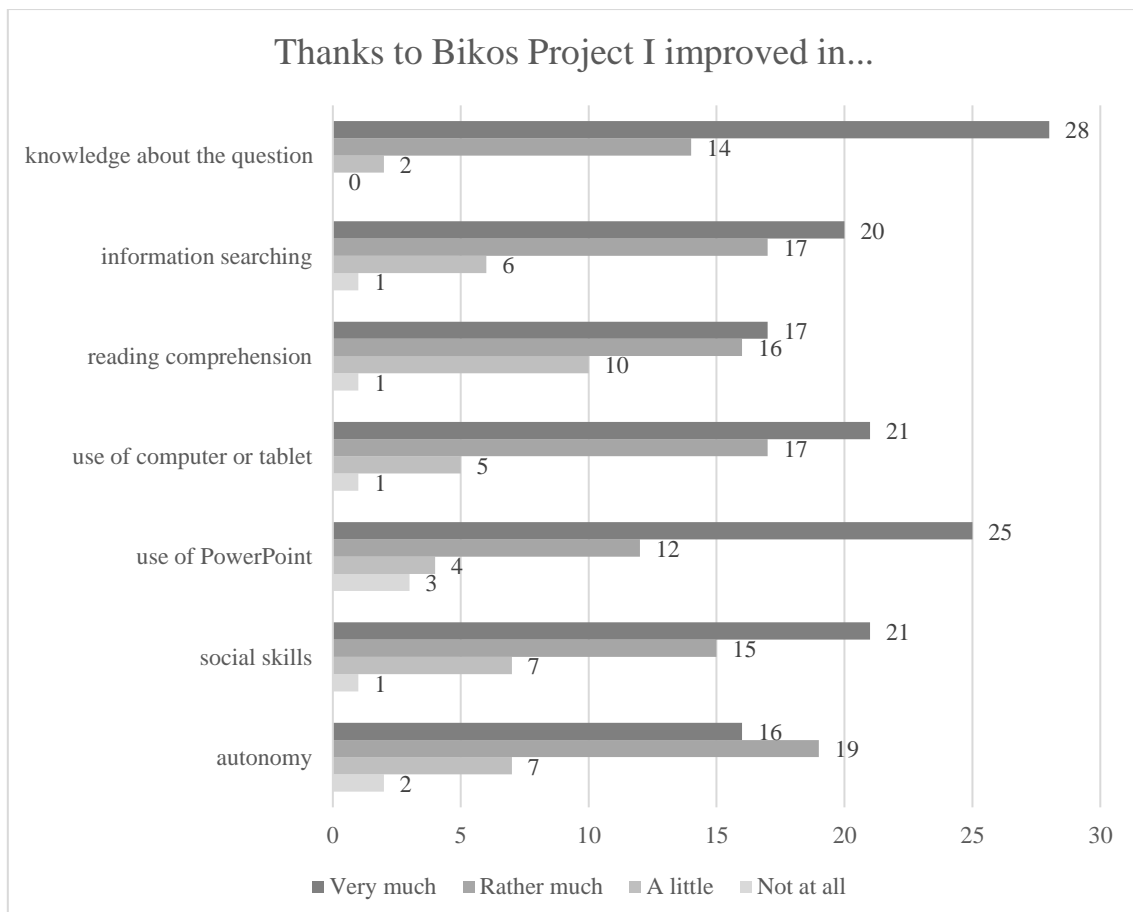


Figure 1. Number of students by their answers to the final questionnaire regarding the question about learning perception

Particularly noteworthy is the perception of improved knowledge about the questions, with 42 out of the 44 students claiming to have learned very much or rather much.

Students' attribution of their learning

Results from the survey show that students attribute these improvements in learning mainly to the fact that they were able to choose the question they were interested in to create each video tutorial and to the help from their partner —each with 40 out of the 44 evaluations between agree and strongly agree (Figure 2). The other items also obtain mostly positive evaluations.

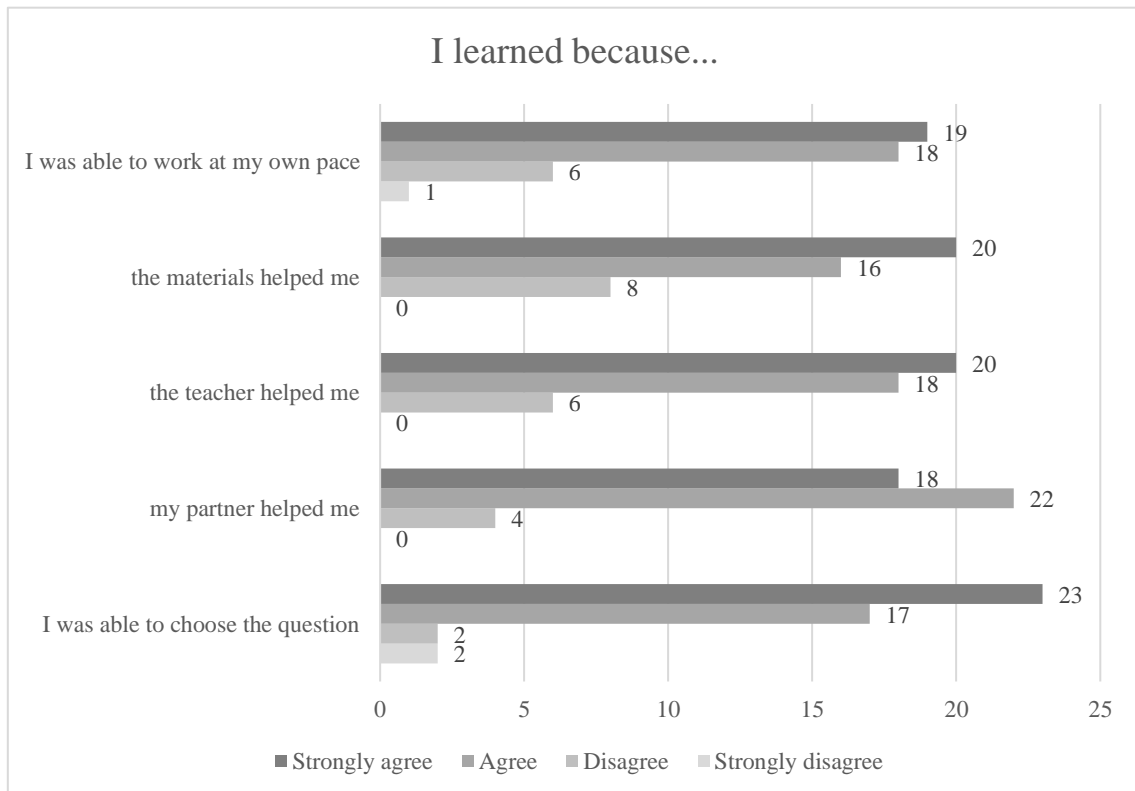


Figure 2. Number of students by their answers to the final questionnaire regarding the question about attribution of learning improvements

Students' evaluation of the project

In the open response fields the students could point out what they liked the most and the least about the project. More comments are made referring to positive (49) rather than negative (29) aspects.

They positively highlight the use of new technologies (14), working with their partner (10), learning about the topics of the questions (8), the opportunity to choose the question (5), teacher's support (5), and information searching (3). There are also other comments referring to the fact that the video could help someone to learn (1), the support materials to guide the activity (1), the possibility of working at their own pace (1) and realizing that they could solve their own doubts (1).

As for what they liked the least, they highlight the high investment of time (5), information searching (5), the difficulties when recording the audios of the video tutorial voice-over (5), the frustration in some tasks (3), conflicts or difficulties when working with the partner (3), the need to assess the intensive or extensive implementation format (3), fatigue or bore (2), and the preparation of the PowerPoint and the video (2) and the script (1).

Discussion

First results from the implementation of Bikos Project suggest that the participation of the students in the project leads them to significantly improve their level of specific knowledge about the questions addressed in the video tutorials. This may seem obvious, since the pairs spend a considerable number of hours working on each video tutorial. However, it is necessary to prove that there are improvements in knowledge to ensure that it is time well spent, even more considering that the questions that students formulate are usually very complex. These findings are in line with prior studies that

analyzed pretest and posttest outcomes in compulsory education science classes (Hoogerheide et al. 2019; Jablonski et al., 2015; Mills, Tomas, and Lewthwaite 2019). Future studies on Bikos Project will have to consider the use of control groups as well, as in Hoogerheide et al. (2019) and Jablonski et al. (2015). The meta-analysis by Kobayashi (2019) reported a medium effect for non-interactive teaching ($g = 0.48$). However, the large effect found in this study must be interpreted cautiously, considering that the intervention was closely aligned with the assessed outcomes, which leads to larger effects (Kraft 2020).

Focusing on the six items analyzed in the initial and final answers, significant improvements were identified in completeness of information, veracity, degree of detail and expertise. The absence of changes in the relevance of the answers is probably due to the open nature of the reading processes on the internet (Coiro and Dobler 2007), and the decrease in comprehensibility may have its origin in the larger extension of the posttest answers.

Students highly valued the opportunity to choose the question they wanted to inquire into. This possibility of choice about the learning object can generate a high degree of initial motivation that encourages them to face the task with engagement (Loyens, Magda, and Rikers 2008). However, in addition to the efforts to activate students' interest, teachers must also guide them throughout the process to maintain this degree of motivation (Kerssen-Griep, Hess, and Trees 2003; Pintrich 1999). Although at the beginning of the creation process the pair members are asked to agree on the question, it is the responsible for content who takes the initiative in proposing and choosing the question. It should be considered whether there are differences in motivation and learning between the two roles. In similar tasks that have students create teaching materials, the relevance of giving students choices has been underlined, not

only when it comes to the topic, but also regarding the type of product, its format, or the digital tools that are used (Hubbard, Jones, and Gallardo-Williams 2019; McGahan, Ernst, and Dyson 2016; Nielsen et al. 2020). Overall, in this study it seems that students valued the task —especially digital technologies, cooperative learning, and learning about their questions. These positive perceptions are in line with prior studies that assess student enjoyment when creating videos (e.g., Hoogerheide et al. 2019). As for negative aspects, students underlined time investment, and difficulties when searching for information and recording the voice-over. These issues have been indicated in extant literature on student generation of teaching materials (Ribosa and Duran 2022).

The improvements in specific knowledge about the questions are widely perceived by students, as well as other areas of learning that they assess in the survey, including those related to information searching and the use of technological tools. In relation to the use of these tools, the multiple difficulties related to the use of the computer or tablet might have turned into opportunities to improve their mastery. In line with Penttilä et al. (2016), although students used to improvise when it comes to the audiovisual aspects of the video tutorial, it seems that they were able to become familiar with the features of the product creation process. As regards information searching — and the necessary online reading processes involved—, it is likely that the obstacles that students encountered in finding and understanding information focused on the purpose of their question forced conscious regulation at different times in the process, a key element when searching for information (Coiro 2011; Coiro and Dobler 2007; Monereo 2005). However, these obstacles can also generate episodes of frustration, which underlines the need to address the processes of socially shared regulation (Isohätälä, Järvenoja, and Järvelä 2017; Järvelä et al. 2013; Panadero and Järvelä 2015), both cognitively and emotionally (Järvelä 2001).

When asking students what they attributed their learning to, in addition to the opportunity to choose the question, they highlighted the help from the partner of the pair. The development of social skills was positively evaluated by students. Besides the partner, the other two sources of support —the teacher and the materials— also got mostly positive ratings. These results reveal two important interrelated aspects that should be considered in students' initial training and during the development of this kind of tasks: the relevance of the support materials and the need to structure the interaction so that students cooperate. The high level of complexity of some tasks, especially the first time they are carried out, makes it necessary to offer help and support throughout the video tutorial creation process. In line with Penttilä et al. (2016), scaffolding will be key to ensure the success of the project. Some of these supports may take the form of direct interventions by the teacher with the pairs of students, as he/she can move freely around the classroom thanks to the organization offered by cooperative learning situations (Duran et al., 2019). However, the other sources of support available to students must be considered: support materials —the activity sheet and the role guide— and the partner. It is important that the teacher encourages them to review the materials and helps them become familiar with those materials, so that they are less and less dependent on the teacher's help. After all, the goal is to train autonomous learners who are capable of learning throughout life (United Nations 2016). Both the perceived improvement in autonomy and the opportunity to work at their own pace were valued by most students. Emphasis should be placed on the understanding of the two roles and the use of the role guide, since this is what will enable to structure the interaction between the pair members and make better use of peer support (Topping et al. 2017). The approach of the project aims to offer opportunities for students to regulate —and learn how to regulate— their cognition and motivation together. In the future, it would

be interesting to analyze the interaction between students during the creation of video tutorials to identify actions that help explain their learning, as carried out by Mills, Tomas, and Lewthwaite (2019).

The creation of a video tutorial with a real potential audience, which includes questions to guide the audience in the comprehension process, should help ensure that the learning benefits are not exclusively related to the expectation of learning by teaching, but also to processes linked to other levels of learning by teaching (Duran 2017). It seems that students improve their knowledge by adopting the role of teacher (Penttilä et al. 2016) and having to generate an explanation for other people in the video. ICT is likely to play an important role here, since by creating a multimodal representation students use and integrate information from different channels and have to represent the content with different modalities, which is essential for knowledge building (Jablonski et al. 2015; Penttilä et al. 2016). Considering the epistemic role of the external representation systems (Pérez-Echeverría, Martí, and Pozo 2010), this integration of multiple languages is especially interesting in the field of science for the construction of scientific concepts, although it is a complex task (Lemke 2002). Thus, in the project the use of digital technologies might boost effective learning principles (Yeung, Carpenter, and Corral 2021). In addition, it seems that the learning benefits of the project are not limited to the specific knowledge about the question, but also involve other areas, mainly related to information searching and the use of technological tools. However, it is necessary to avoid that the technological aspects of the project—and the difficulties that arise when working with the devices— monopolize all the attention and deviate it from the main challenge: transforming information into knowledge.

Acknowledgements

We wish to thank the teachers from the two schools that carried out the project with their students, as well as the two colleagues from the research group who helped during the implementation of the project and the validation of the rubric.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

This work was supported by the Spanish Ministry of Education and Vocational Training under Grant FPU18/01663 for the training of university teachers.

References

- Bargh, J., and Schul, Y. 1980. "On the Cognitive Benefits of Teaching." *Journal of Educational Psychology* 72(5): 593-604. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.72.5.593>
- Bawden, D., and Robinson, L. 2009. "The Dark Side of Information: Overload, Anxiety and Other Paradoxes and Pathologies." *Journal of Information Science* 35(2): 180-191.
- Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B., and Robinson, A. 2010. "Talking Science: The Research Evidence on the Use of Small Group Discussions in Science Teaching." *International Journal of Science Education* 32(1): 69-95. <https://doi.org/10.1080/09500690802713507>
- Benware, C., and Deci, E. 1984. "Quality of Learning with an Active versus Passive Motivational Set." *American Educational Research Journal* 21(4): 755-765. <http://doi.org/10.3102/00028312021004755>
- Bloom, B. S., Englehart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., and Krathwohl, D. R. 1956. *Taxonomy of Educational Objectives: Handbook I. Cognitive Domain*. New York: David McKay.
- Branch, J. L. 2000. "Investigating the Information-Seeking Processes of Adolescents: The Value of Using Think Alouds and Think Afters." *Library and Information Science Research* 22(4): 371-392. [http://doi.org/10.1016/s0740-8188\(00\)00051-7](http://doi.org/10.1016/s0740-8188(00)00051-7)
- Chang, T. L., and Hsin, H. T. 2020. "The Effect of the Self-explain–Discuss–Re-explain (SDR) Learning Strategy on High- and Low-Achieving Fifth-Grade Students' Achievement in Science." *Research in Science & Technological Education* 39(4): 461-488. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1772223>

- Coiro, J. 2011. "Predicting Reading Comprehension on the Internet: Contributions of Offline Reading Skills, Online Reading Skills, and Prior Knowledge." *Journal of Literacy Research* 43(4): 352-392. <https://doi.org/10.1177/1086296X11421979>
- Coiro, J., and Dobler, E. 2007. "Exploring the Online Reading Comprehension Strategies Used by Sixth-Grade Skilled Readers to Search for and Locate Information on the Internet." *Reading Research Quarterly* 42(2): 214-257. <http://doi.org/10.1598/RRQ.42.2.2>
- Coll, C., and Rodríguez, J. L. 2008. "Alfabetización, nuevas alfabetizaciones y alfabetización digital: Las TIC en el currículum escolar." [Literacy, New Literacies and Digital Literacy: ICT in the School Curriculum.] In *Psicología de la Educación Virtual* [Psychology of Virtual Education], edited by C. Coll and C. Monereo, 325-347. Madrid: Morata.
- Colley, C., and Windschitl, M. 2016. "Rigor in Elementary Science Students' Discourse: The Role of Responsiveness and Supportive Conditions for Talk." *Science Education* 100(6): 1009-1038. <https://doi.org/10.1002/sce.21243>
- Downie, J., Morton, J. A., and McCoustra, M. R. 2017. "Bright Lights: Big Experiments! A Public Engagement Activity for International Year of Light." *Physics Education* 52(1): Article 015005.
- Duran, D. 2017. "Learning-by-Teaching: Evidence and Implications as a Pedagogical Mechanism." *Innovations in Education and Teaching International* 54(5): 476-484. <http://doi.org/10.1080/14703297.2016.1156011>
- Duran, D., Flores, M., and Miquel, E. 2019. "The Teacher's Role during Cooperative Learning: Should I Leave the Classroom When Students Are Independently Working in Teams?" *Journal of Classroom Interaction* 54(2): 24-40.

- Duran, D., and Topping, K. J. 2017. *Learning by Teaching: Evidence-Based Strategies to Enhance Learning in the Classroom*. London: Routledge.
- Eymur, G., and Geban, Ö. 2017. “The Collaboration of Cooperative Learning and Conceptual Change: Enhancing the Students’ Understanding of Chemical Bonding Concepts.” *International Journal of Science and Mathematics Education* 15(5): 853-871. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9716-z>
- Farrokhnia, M., Meulenbroeks, R. F., and van Joolingen, W. R. 2020. “Student-Generated Stop-Motion Animation in Science Classes: A Systematic Literature Review.” *Journal of Science Education and Technology* 29: 797-812. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09857-1>
- Fernández-Enguita, M. 2017. *Más escuela y menos aula* [More School and Less Classroom]. Madrid: Morata.
- Fiorella, L., and Mayer, R. E. 2013. “The Relative Benefits of Learning by Teaching and Teaching Expectancy.” *Contemporary Educational Psychology* 38(4): 281-288. <http://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.06.001>
- Fiorella, L., and Mayer, R. E. 2014. “Role of Expectations and Explanations in Learning by Teaching.” *Contemporary Educational Psychology* 39(2): 75-85. <http://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.01.001>
- Freire, P., and Faundez, A. 1989. *Learning to Question: A Pedagogy of Liberation*. Geneva: WCC Publications.
- Furberg, A., and Arnseth, H. C. 2009. “Reconsidering Conceptual Change from a Socio-Cultural Perspective: Analyzing Students’ Meaning Making in Genetics in Collaborative Learning Activities.” *Cultural Studies of Science Education* 4(1): 157-191. <https://doi.org/10.1007/s11422-008-9161-6>

- Gallardo-Williams, M., Morsch, L. A., Paye, C., and Seery, M. K. 2020. "Student-Generated Video in Chemistry Education." *Chemistry Education Research and Practice* 21: 488-495. <https://doi.org/10.1039/C9RP00182D>
- Goldman, S. R., Braasch, J. L., Wiley, J., Graesser, A. C., and Brodowinska, K. 2012. "Comprehending and Learning from Internet Sources: Processing Patterns of Better and Poorer Learners." *Reading Research Quarterly* 47(4): 356-381. <https://doi.org/10.1002/RRQ.027>
- Hoogerheide, V., Visee, J., Lachner, A., and van Gog, T. 2019. "Generating an Instructional Video as Homework Activity Is both Effective and Enjoyable." *Learning and Instruction* 64: Article 101226. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101226>
- Hsu, C. C., and Wang, T. I. 2018. "Applying Game Mechanics and Student-Generated Questions to an Online Puzzle-Based Game Learning System to Promote Algorithmic Thinking Skills." *Computers and Education* 121: 73-88. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.02.002>
- Iloimäki, L., Paavola, S., Lakkala, M., and Kantosalo, A. 2016. "Digital Competence: An Emergent Boundary Concept for Policy and Educational Research." *Education and Information Technologies* 21(3): 655-679. <https://doi.org/10.1007/s10639-014-9346-4>
- Isöhätälä, J., Järvenoja, H., and Järvelä, S. 2017. "Socially Shared Regulation of Learning and Participation in Social Interaction in Collaborative Learning." *International Journal of Educational Research* 81: 11-24. <http://doi.org/10.1016/j.ijer.2016.10.006>

- Jablonski, D., Hoban, G. F., Ransom, H. S., and Ward, K. S. 2015. "Exploring the Use of "Slowmation" as a Pedagogical Alternative in Science Teaching and Learning." *Pacific-Asian Education* 27(1): 5-20.
- Järvelä, S. 2001. "Shifting Research on Motivation and Cognition to an Integrated Approach on Learning and Motivation in Context." In *Motivation in Learning Contexts: Theoretical Advances and Methodological Implications*, edited by S. Volet and S. Järvelä, 3-14. London: Pergamon/Elsevier.
- Järvelä, S., Järvenoja, H., Malmberg, J., and Hadwin, A. 2013. "Exploring Socially-Shared Regulation in the Context of Collaboration." *Journal of Cognitive Education and Psychology* 12(3): 267-286. <http://doi.org/10.1891/1945-8959.12.3.267>
- Kerssen-Griep, J., Hess, J. A., and Trees, A. R. 2003. "Sustaining the Desire to Learn: Dimensions of Perceived Instructional Facework Related to Student Involvement and Motivation to Learn." *Western Journal of Communication* 67(4): 357-381. <https://doi.org/10.1080/10570310309374779>
- Knight, S., and Mercer, N. 2015. "The Role of Exploratory Talk in Classroom Search Engine Tasks." *Technology, Pedagogy and Education* 24(3): 303-319. <https://doi.org/10.1080/1475939x.2014.931884>
- Kobayashi, K. 2019. "Learning by Preparing-to-Teach and Teaching: A Meta-Analysis." *Japanese Psychological Research* 61: 192-203. <https://doi.org/10.1111/jpr.12221>
- Kraft, M. A. 2020. "Interpreting Effect Sizes of Education Interventions." *Educational Researcher* 49(4): 241-253. <https://doi.org/10.3102/0013189X20912798>
- Lachner, A., Hoogerheide, V., van Gog, T., and Renkl, A. 2021. "Learning-by-Teaching without Audience Presence or Interaction: When and Why Does it Work?"

Educational Psychology Review. Advance online publication.

<https://doi.org/10.1007/s10648-021-09643-4>

- Lemke, J. L. 2002. "Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: Palabras, símbolos, imágenes y acciones." [Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images, and Actions.] In *La educación en ciencias: Ideas para mejorar su práctica* [Education in Science: Ideas for Improving Its Practice], edited by M. Benlloch, 159-186. Barcelona: Paidós. Available in English at:
<http://doi.org/10.13140/2.1.4022.5608>
- Lin, J. W., Yen, M. H., Liang, J., Chiu, M. H., and Guo, C. J. 2016. "Examining the Factors that Influence Students' Science Learning Processes and their Learning Outcomes: 30 Years of Conceptual Change Research." *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 12(9): 2617-2646.
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.000600a>
- Lin, S. W., Liu, Y., Chen, S. F., Wang, J. R., and Kao, H. L. 2016. "Elementary School Students' Science Talk Ability in Inquiry-Oriented Settings in Taiwan: Test Development, Verification, and Performance Benchmarks." *International Journal of Science and Mathematics Education* 14(7): 1199-1214.
<https://doi.org/10.1007/s10763-015-9663-0>
- Lin, T. J., Lin, T. C., Potvin, P., and Tsai, C. C. 2019. "Research Trends in Science Education from 2013 to 2017: A Systematic Content Analysis of Publications in Selected Journals." *International Journal of Science Education* 41(3): 367-387.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1550274>
- Loyens, S. M., Magda, J., and Rikers, R. M. 2008. "Self-Directed Learning in Problem-Based Learning and Its Relationships with Self-Regulated Learning." *Educational Psychology Review* 20(4): 411-427. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9082-7>

- Macedo-Rouet, M., Braasch, J. L., Britt, M. A., and Rouet, J. F. 2013. "Teaching Fourth and Fifth Graders to Evaluate Information Sources during Text Comprehension." *Cognition and Instruction* 31(2): 204-226.
<https://doi.org/10.1080/07370008.2013.769995>
- Mills, R., Tomas, L., and Lewthwaite, B. 2019. "The Impact of Student-Constructed Animation on Middle School Students' Learning about Plate Tectonics." *Journal of Science Education and Technology* 28(2): 165-177.
<https://doi.org/10.1007/s10956-018-9755-z>
- Monereo, C., ed. 2005. *Internet y competencias básicas: Aprender a colaborar, a comunicarse, a participar, a aprender* [Internet and Core Competences: Learning to Collaborate, Communicate, Participate, Learn]. Barcelona: Graó.
- Muis, K. R., Psaradellis, C., Chevrier, M., Di Leo, I., and Lajoie, S. P. 2016. "Learning by Preparing to Teach: Fostering Self-Regulatory Processes and Achievement during Complex Mathematics Problem Solving." *Journal of Educational Psychology* 108(4): 474-492. <http://doi.org/10.1037/edu0000071>
- Nestojko, J. F., Bui, D. C., and Kornell, N. 2014. "Expecting to Teach Enhances Learning and Organization of Knowledge in Free Recall of Text Passages." *Memory and Cognition* 42(7): 1038-1048. <http://doi.org/10.3758/s13421-014-0416-z>
- Ødegaard, M., Arnesen, N. E., and Klette, K. 2016. "Talk and Use of Language in the Science Classroom: Characteristic Features." In *Teaching and Learning in Lower Secondary Schools in the Era of PISA and TIMSS*, edited by K. Klette, O. K. Bergem, and A. Roe, 101-112. Cham: Springer.
- OECD. 2017. "How Does PISA for Development Measure Scientific Literacy? PISA for Development Brief 2017/2." *OECD Publishing*, February.

<https://www.oecd.org/pisa/pisa-for-development/10-How-PISA-D-measures-science-literacy.pdf>

- Panadero, E., and Järvelä, S. 2015. "Socially Shared Regulation of Learning: A Review." *European Psychologist* 20(3): 190-203. <http://doi.org/10.1027/1016-9040/a000226>
- Penttilä, J., Kallunki, V., Niemi, H. M., and Multisilta, J. 2016. "A Structured Inquiry into a Digital Story: Students Report the Making of a Superball." *International Journal of Mobile and Blended Learning* 8(3): 19-34. <http://doi.org/10.4018/ijmbl.2016070102>
- Pintrich, P. 1999. "The Role of Motivation in Promoting and Sustaining Self-Regulated Learning." *International Journal of Educational Research* 31(6): 459-470. [http://doi.org/10.1016/s0883-0355\(99\)00015-4](http://doi.org/10.1016/s0883-0355(99)00015-4)
- Pérez-Echeverría, M., Martí, E., and Pozo, J. I. 2010. "External Representation Systems as Tools of the Mind." *Culture and Education* 22(2): 133-147. <https://doi.org/10.1174/113564010791304519>
- Reyna, J., and Meier, P. 2018. "Learner-Generated Digital Media (LGDM) as an Assessment Tool in Tertiary Science Education: A Review of Literature." *IAFOR Journal of Education* 6(3): 93-109. <https://doi.org/10.22492/ije.6.3.06>
- Ribosa, J., and Duran, D. 2021. "Cuando la Curiosidad Científica se Transforma en un Videotutorial para Aprender Enseñando: Conocimiento del Contenido, Elaboración de las Explicaciones y Complejidad de las Preguntas." *Revista Iberoamericana de Educación* 87(2): 85-101. <https://doi.org/10.35362/rie8724572>
- Ribosa, J., and Duran, D. 2022. "Student-Generated Teaching Materials: A Scoping Review Mapping the Research Field." *Education in the Knowledge Society* 23: e27126. <https://doi.org/10.14201/eks.27126>

- Siko, J. P. 2013. "Are They Climbing the Pyramid? Rating Student-Generated Questions in a Game Design Project." *Canadian Journal of Learning and Technology* 39(1): 1-14. <https://doi.org/10.21432/t26k5m>
- Sinatra, G. M., and Hofer, B. K. 2016. "Public Understanding of Science: Policy and Educational Implications." *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences* 3(2): 245-253. <https://doi.org/10.1177/2372732216656870>
- Sinatra, G. M., and Lombardi, D. 2020. "Evaluating Sources of Scientific Evidence and Claims in the Posttruth Era May Require Reappraising Plausibility Judgments." *Educational Psychologist* 55(3): 120-131. <https://doi.org/10.1080/00461520.2020.1730181>
- Snelson, C. 2018. "Video Production in Content-Area Pedagogy: A Scoping Study of the Research Literature." *Learning, Media and Technology* 43(3): 294-306. <http://doi.org/10.1080/17439884.2018.1504788>
- Thurston, A., Topping, K. J., Tolmie, A., Christie, D., Karagiannidou, E., and Murray, P. 2010. "Cooperative Learning in Science: Follow-Up from Primary to High School." *International Journal of Science Education* 32(4): 501-522. <https://doi.org/10.1080/09500690902721673>
- Topping, K. J. 2009. "Peer Assessment." *Theory into Practice* 48(1): 20-27. <https://doi.org/10.1080/00405840802577569>
- Topping, K. J., Buchs, C., Duran, D., and Van Keer, H. 2017. *Effective Peer Learning: from Principles to Practical Implementation*. London: Routledge.
- Topping, K. J., Thurston, A., Tolmie, A., Christie, D., Murray, P., and Karagiannidou, E. 2011. "Cooperative Learning in Science: Intervention in the Secondary School." *Research in Science & Technological Education* 29(1): 91-106. <https://doi.org/10.1080/02635143.2010.539972>

- United Nations. 2016. *Report of the UN Special Rapporteur on the Right to Education: Lifelong Learning*. Retrieved from <https://www.right-to-education.org/resource/report-un-special-rapporteur-right-education-lifelong-learning>
- Warfa, A. R. M., Nyachwaya, J., and Roehrig, G. 2018. "The Influences of Group Dialog on Individual Student Understanding of Science Concepts." *International Journal of STEM Education* 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0142-3>
- Webb, M., and Cox, M. 2004. "A Review of Pedagogy Related to Information and Communications Technology." *Technology, Pedagogy and Education* 13(3): 235-286. <https://doi.org/10.1080/14759390400200183>
- Yeung, K. L., Carpenter, S. K., and Corral, D. 2021. "A Comprehensive Review of Educational Technology on Objective Learning Outcomes in Academic Contexts." *Educational Psychology Review* 33: 1583-1630. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09592-4>
- Zacharia, Z. C., Xenofontos, N. A., and Manoli, C. C. 2011. "The Effect of Two Different Cooperative Approaches on Students' Learning and Practices within the Context of a Webquest Science Investigation." *Educational Technology Research and Development* 59(3): 399-424. <https://doi.org/10.1007/s11423-010-9181-2>
- Zhang, M., and Quintana, C. 2012. "Scaffolding Strategies for Supporting Middle School Students' Online Inquiry Processes." *Computers & Education* 58(1): 181-196. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.04.010>
- Zhu, Z., Bernhard, D., and Gurevych, I. 2009. *A Multi-Dimensional Model for Assessing the Quality of Answers in Social Q&A Sites* (Report Number TUD-CS-2009-0158). Technische Universität Darmstadt. Retrieved from https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1940/1/TR_dimension_model.pdf

Appendix

Item	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3
Completeness of information	The answer does not respond to the question at all. An information searching process should begin to answer the question.	The answer responds to the question very partially. Much more information should be searched to understand the answer.	The answer responds to the question almost completely. A particular piece of information should be searched to understand the answer.	The answer completely responds to the question. No further information should be searched to understand the answer.
Comprehensibility	The answer is difficult to read. The writing of the ideas is not clear. I needed to reread all the answer.	The answer is quite difficult to read. The writing of most of the ideas is not much clear. I needed to reread most part of the answer.	In general, the answer is easy to read, although the writing of a particular idea is difficult to understand. I needed to reread this part of the answer.	The answer is easy to read. The writing of the ideas is clear. I did not need to reread the answer to understand it.

Relevance	<p>The information is completely deviated from the purpose of the question.</p> <p>The formulation of the question should be different to coincide with the answer.</p>	<p>Most of the information is deviated from the purpose of the question. It is not needed to change the formulation of the question, but to eliminate excessive anecdotic ideas that push the purpose of the question into the background, which is superficially addressed.</p>	<p>Information focused on the purpose of the question is provided, but also an anecdotic idea that is clearly deviated from the focus and is not much connected to the rest of explanation.</p>	<p>The necessary information focused on the purpose of the question is directly provided. There is no anecdotic idea that is clearly deviated from the focus and not connected to the rest of explanation.</p>
Veracity	<p>The answer is not credible.</p> <p>The information shows many inconsistencies.</p>	<p>Most part of the answer is credible, although an idea is not much consistent with the rest of information.</p>	<p>The answer is credible. The information provided is consistent, but there is no evidence to back it up.</p>	<p>The answer is credible. The information provided is consistent and evidence is provided to back it up.</p>

Degree of detail	None of the ideas are sufficiently detailed.	Most of the ideas need a higher degree of detail to understand the explanation better.	Most of the ideas are sufficiently detailed, but a particular idea needs more detail.	The answer is sufficiently detailed in all the ideas presented.
------------------	--	--	---	---

Expertise	The answer does not show any knowledge about the topic, or what is shown is clearly wrong, confusing or imprecise.	The answer shows some knowledge or inquiry into the topic, but the level of mastery of the content is low.	In general, the answer seems to be elaborated by an expert. It shows considerable mastery of the topic, although there might be some particular confusion with the use of specific vocabulary.	The answer seems to be elaborated by an expert. It shows mastery of the topic and an appropriate use of specific vocabulary.
-----------	--	--	--	--

2.4. Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: Conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas

Resum

La creació de materials didàctics per part dels estudiants és una manera d'aprendre ensenyant, que ofereix una situació comunicativa en establir una audiència i pot contribuir a activar mecanismes d'elaboració del coneixement. Davant l'escassa però prometedora pràctica d'aquesta mena de propostes educatives a educació primària, s'ha dissenyat el Projecte Bikos, en què parelles d'estudiants elaboren cooperativament videotutorials a partir de la seva curiositat científica. A partir d'aquesta innovació, es plantegen tres objectius de recerca: 1) Examinar si es produeixen millores en el coneixement específic sobre la pregunta que els estudiants responen a cada videotutorial; 2) Estimar el grau d'elaboració del coneixement a les explicacions que els estudiants ofereixen als videotutorials; i 3) Analitzar el grau de complexitat de les preguntes de comprensió per a l'audiència que els estudiants afegeixen al llarg dels videotutorials. Els resultats d'un pretest-posttest mostren millores significatives en el coneixement específic. L'anàlisi exploratòria de les explicacions suggereix que prop de dos terços de la informació ha estat prou elaborada pels estudiants. L'anàlisi de les preguntes de comprensió assenyalava que la gran majoria té un baix nivell de complexitat.

Paraules clau: aprendre ensenyant; aprenentatge cooperatiu; ensenyament de les ciències; material didàctic; vídeo educatiu.


Referència

Ribosa, J., & Duran, D. (2021b). Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: Conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 85–101.

<https://doi.org/10.35362/rie8724572>

Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas

Jesús Ribosa ¹ 

David Duran ¹ 

¹ Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), España

Resumen. La creación de materiales didácticos por parte de los estudiantes es una forma de aprender enseñando, que ofrece una situación comunicativa al establecer una audiencia y puede contribuir a activar mecanismos de elaboración del conocimiento. Ante la escasa, pero prometedora, práctica de este tipo de propuestas educativas en educación primaria, se ha diseñado el Proyecto Bikos, en el que parejas de estudiantes elaboran cooperativamente videotutoriales a partir de su curiosidad científica. A partir de esta innovación, se plantean tres objetivos de investigación: 1) Examinar si se producen mejoras en el conocimiento específico sobre la pregunta que los estudiantes responden en cada videotutorial; 2) Estimar el grado de elaboración del conocimiento en las explicaciones que los estudiantes ofrecen en sus videotutoriales; y, 3) Analizar el grado de complejidad de las preguntas de comprensión para la audiencia que los estudiantes añaden a lo largo de sus videotutoriales. Los resultados de un pretest-posttest muestran mejoras significativas en el conocimiento específico. El análisis exploratorio de las explicaciones sugiere que cerca de dos tercios de la información ha sido suficientemente elaborada por los estudiantes. El análisis de las preguntas de comprensión señala que su gran mayoría tiene un bajo nivel de complejidad.

Palabras clave: aprender enseñando; aprendizaje cooperativo; enseñanza de las ciencias; material didáctico; vídeo educativo.

Quando a curiosidade científica se transforma em um vídeo tutorial para aprender ensinando: conhecimento do conteúdo, elaboração das explicações e complexidade das perguntas

Resumo. A criação de materiais didáticos pelos estudantes é uma forma de aprender ensinando, que oferece uma situação comunicativa ao estabelecer um público e pode contribuir para ativar mecanismos para a elaboração do conhecimento. Diante da escassa, mas promissora, prática deste tipo de propostas educacionais no ensino primário (anos iniciais do ensino fundamental), foi elaborado o Projeto Bikos, no qual pares de alunos criam, cooperativamente, vídeos tutoriais baseados na curiosidade científica. A partir desta inovação, propõem-se três objetivos de pesquisa: 1) examinar se há melhorias no conhecimento específico sobre a pergunta respondida pelos estudantes em cada vídeo tutorial; 2) estimar o grau de elaboração do conhecimento nas explicações oferecidas pelos alunos nos vídeos tutoriais; e 3) analisar o nível de complexidade das perguntas de compreensão feitas pelos estudantes para o público ao longo dos seus vídeos tutoriais. Os resultados de um pré-teste e pós-teste mostram melhorias significativas em conhecimentos específicos. A análise exploratória das explicações indica que cerca de dois terços das informações foram suficientemente elaboradas pelos estudantes. A análise das perguntas de compreensão aponta que a grande maioria delas tem um baixo nível de complexidade.

When scientific curiosity turns into a video tutorial for learning by teaching: content knowledge, elaboration of the explanations, and complexity of the questions

Abstract. The creation of teaching materials by students is a way of learning by teaching, which offers a communicative situation by setting an audience and can contribute to activating mechanisms for knowledge elaboration. Given the scarce, but promising, practice of this kind of educational proposals in primary education, Bikos Project has been designed, in which pairs of students cooperatively create video tutorials based on their scientific curiosity. Three research aims are addressed: 1) To examine if there is any improvement in the specific knowledge about the question that the students answer in each video tutorial; 2) To estimate the degree of knowledge elaboration in the explanations that students offer in their video tutorials; and 3) To analyze the degree of complexity of the comprehension questions for the audience that students add throughout their video tutorials. The results of a pretest-posttest show significant improvements in specific knowledge. The exploratory analysis of the explanations suggests that about two thirds of the information has been sufficiently elaborated by students. The analysis of the comprehension questions indicates that the vast majority show a low level of complexity.

Keywords: cooperative learning; educational video; learning by teaching; science education; teaching materials.

1. Introducción

Cada vez resulta más evidente la necesidad de que las prácticas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias permitan que los estudiantes hablen de ciencia, es decir, formulen verbalmente explicaciones para comunicar y argumentar ideas científicas (Bennett et al., 2010; Colley y Windschitl, 2016; S. W. Lin et al., 2016; Ødegaard et al., 2016). El relevante papel del lenguaje en la construcción del conocimiento ha sido ampliamente argumentado en los postulados socioconstructivistas (Mercer, 2000; Vygotsky, 1978). En el área de ciencias, en todas las etapas educativas, numerosas propuestas plantean que los estudiantes verbalicen ideas científicas, ya sea al exponer delante de la clase o de otra audiencia (p. ej., Perales y Vílchez, 2015; Rosa y Martínez-Aznar, 2019), o al interactuar con sus compañeros cuando resuelven una tarea cooperativamente (p. ej., Durán-García y Durán-Aponte, 2013; Pavón y Martínez-Aznar, 2014; Reigosa y Jiménez, 2011). El aprendizaje cooperativo es una de las estrategias didácticas más utilizadas e investigadas para el cambio conceptual (J. W. Lin et al., 2016). Uno de los temas centrales de investigación sobre el aprendizaje de las ciencias tiene que ver con las concepciones cotidianas de los estudiantes, consideradas habitualmente como representaciones que deben ser sustituidas por explicaciones científicas correctas (Furberg y Arnseth, 2009). El aprendizaje que tiene lugar cuando se revisan estas concepciones alternativas previas se conoce como cambio conceptual (Mason y Zaccoletti, 2020), constructo que sigue siendo considerablemente investigado (T. J. Lin et al., 2019). El aprendizaje cooperativo se considera una estrategia privilegiada por su potencial para que los estudiantes, al verbalizar sus ideas científicas, hagan emerger perspectivas divergentes en la interacción y generen así conflictos sociocognitivos (p. ej., Can y Boz, 2016; De la Hera et al., 2019; Eymur y Geban, 2017).

El desarrollo y la difusión de las Tecnologías Digitales (TD) ofrecen nuevas posibilidades para comprender y expresar información en múltiples lenguajes y formatos (Coll, 2013). Tienen a su vez un gran impacto en la cantidad de información accesible, así como en el número y la diversidad de contextos donde participar (Coll, 2013; Collins y Halverson, 2010). El uso de las TD en el aula puede ser beneficioso si las oportunidades que ofrecen se aprovechan para potenciar los principios del aprendizaje efectivo (Yeung et al., 2021). Actualmente, uno de los principales retos de la educación es cómo educar en el marco de una cultura digital (Coll y Rodríguez, 2008; Ilomäki et al., 2016).

Uno de los componentes principales de la alfabetización digital es el proceso de búsqueda de información, cuya regulación consciente es un elemento clave (Coiro, 2011; Coiro y Dobler, 2007; Goldman et al., 2012; Monereo y Fuentes, 2008). Para que los estudiantes actúen estratégicamente, es necesario planear formas de apoyo a lo largo del proceso, especialmente en educación primaria y secundaria (Coiro y Dobler, 2007; Knight y Mercer, 2015; Macedo-Rouet et al., 2013; Zhang y Quintana, 2012). El desarrollo de estrategias de búsqueda de información juega un papel importante en la alfabetización científica. Una de las competencias científicas evaluadas en PISA es la de explicar fenómenos científicamente, es decir, “reconocer, ofrecer y evaluar explicaciones para un abanico de fenómenos naturales y tecnológicos” (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2019, p. 100). A

diario las personas buscan intencionadamente o se encuentran accidentalmente con afirmaciones científicas procedentes de distintas fuentes (Sinatra y Lombardi, 2020). Las investigaciones muestran cuán difícil es evaluar esas afirmaciones al leer en internet (Sinatra y Hofer, 2016). Leer en línea es más complejo porque no solamente implica la construcción interna de significado, sino también un proceso autodirigido de construcción del texto a través de la selección de webs y enlaces (Coiro y Dobler, 2007; Pozo, 2014).

El uso de las TD en el aula exige a los docentes llevar a cabo un razonamiento pedagógico más complejo para planificar, implementar y evaluar sus prácticas educativas (Webb y Cox, 2004). Además del acceso a dispositivos, cabe considerar también el conocimiento tecnológico, pedagógico y del contenido que tiene el docente, así como las creencias, actitudes y emociones que pueden estar detrás de la decisión de utilizar o no las TD en clase (Howard, 2013; Petko, 2012; Voogt et al., 2012). En el aula de ciencias, la creación de vídeos por parte de los estudiantes es una práctica cada vez más habitual (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Reyna y Meier, 2018; Snelson, 2018). Estos vídeos pueden elaborarse para ofrecer una explicación a una audiencia real, potencial o ficticia –es decir, pueden tomar la forma de materiales didácticos–. La creación de materiales didácticos para que otros potenciales aprendices también puedan aprender el contenido es una forma de aprender enseñando –o *aprenseñar*– (Duran, 2014). Si este material se elabora para ponerlo a disposición del potencial aprendiz, y no como apoyo a una explicación, nos situaríamos en el marco del primer nivel de *aprenseñar*: aprender con la expectativa de que alguien utilizará ese material para aprender (Duran, 2014). Esta expectativa generada en la situación de aprender para enseñar –aunque finalmente no se enseñe– se conoce como *expectancy* (Bargh y Schul, 1980; Benware y Deci, 1984). Las investigaciones sobre este constructo indican que, al menos bajo determinadas condiciones, la expectativa de enseñar puede generar procesos de revisión del contenido, organización para presentarlo e identificación de su estructura básica (Duran, 2014, 2017; Kobayashi, 2019) y promover una mayor motivación (Fiorella y Mayer, 2014; Hoogerheide et al., 2019). La creación de materiales didácticos también podría generar procesos vinculados a los otros niveles de *aprenseñar*: aprender y exponer, aprender y explicar, y aprender y explicar mediante preguntas (Duran, 2014, 2017).

En educación obligatoria, el número de artículos de investigación que analizan la creación de vídeos educativos por parte de los estudiantes es muy reducido (Ribosa y Duran, 2021). En educación primaria, Penttilä et al. (2016) investigan la creación de breves historias digitales en las que los estudiantes explican experimentos científicos en el área de química. Los resultados sugieren que los estudiantes que crean historias digitales muestran un mayor nivel de abstracción sobre los contenidos de aprendizaje. En otra investigación, Hoogerheide et al. (2019) piden a los estudiantes que generen como deberes un vídeo educativo a partir de un texto sobre biología. En comparación con volver a estudiar el material o hacer un resumen, los estudiantes percibieron la tarea como más divertida. En cuanto al conocimiento conceptual, no se encontraron diferencias significativas entre crear el vídeo o hacer un resumen. Aun así, de estos dos tratamientos, solo el grupo que creó el vídeo obtuvo diferencias significativas con respecto al grupo de control que estudió el material. En matemáticas existen algunos

estudios en educación primaria que reportan beneficios de aprendizaje a través de la creación de vídeos, al analizar los productos generados por los estudiantes (Soto, 2015) y también el proceso de representación mental del problema (Muis et al., 2016). También en educación secundaria encontramos algunos estudios de creación de vídeos en áreas como ciencias de la tierra (Mills, Tomas y Lewthwaite, 2020), biología (Jablonski et al., 2015) o física (Downie et al., 2017). Aunque algunos de estos estudios se sitúan en la perspectiva de aprender enseñando (Hoogerheide et al., 2019; Muis et al., 2016), la mayoría de las investigaciones sobre la creación de materiales didácticos por parte de los estudiantes no atribuyen explícitamente los beneficios a la actividad de aprender enseñando (Ribosa y Duran, 2021). Es necesario diseñar intervenciones que partan de esta perspectiva para maximizar sus beneficios y anticipar posibles dificultades (Duran, 2014, 2017).

Ante la escasa, pero prometedora, práctica de propuestas educativas basadas en la creación de materiales didácticos por parte de los estudiantes en educación primaria, se ha diseñado el *Proyecto Bikos*, objeto y contexto de estudio del presente artículo. En un formato para desarrollar la alfabetización digital y el aprendizaje auto-dirigido, la propuesta didáctica plantea que parejas de estudiantes formulen preguntas científicas, a partir de sus propios intereses y curiosidad por conocer el mundo, y creen videotutoriales como mecanismo para su propio aprendizaje. Ante el carácter dinámico del conocimiento, es necesario que la escuela no se limite a transmitir respuestas, sino que enseñe a hacerse preguntas y a desarrollar estrategias para encontrarles respuesta (Fernández-Enguita, 2017). Como señalan Freire y Faundez (2010), el inicio del conocimiento es la pregunta, y solo a partir de esta se debe iniciar la búsqueda de respuestas. Además, la posibilidad de elección sobre lo que se aprende, para conectarlo con los intereses y experiencias del aprendiz, es una de las implicaciones de la personalización del aprendizaje (Coll, 2018).

En el marco de este proyecto, en el presente artículo se plantean los siguientes objetivos:

1. Examinar si se producen mejoras en el conocimiento específico sobre la pregunta que los estudiantes responden en cada videotutorial.
2. Estimar el grado de elaboración del conocimiento en las explicaciones que los estudiantes ofrecen en sus videotutoriales.
3. Analizar el grado de complejidad de las preguntas de comprensión para la audiencia que los estudiantes añaden a lo largo de sus videotutoriales.

2. Métodos y materiales

Para dar respuesta a estos tres objetivos, se adoptó un enfoque metodológico mixto. Se llevó a cabo un diseño pretest-posttest de un solo grupo, en el que se implementó el proyecto de intervención –descrito en el siguiente subapartado–. Con el análisis del pretest-posttest se pretende examinar si se producen mejoras en el conocimiento específico sobre las preguntas –primer objetivo–. Este diseño preexperimental se combina con un análisis exploratorio de los videotutoriales elaborados, para explicar las posibles diferencias entre el pretest y el posttest. Este análisis exploratorio pone el foco en el grado de elaboración de las explicaciones –segundo objetivo– y el grado de complejidad de las preguntas de comprensión –tercer objetivo–.

2.1 Descripción del proyecto

Desde el área de conocimiento del medio, el *Proyecto Bikos* pretende contribuir al desarrollo de una serie de competencias del marco curricular catalán (Decreto 119/2015), especialmente las vinculadas a aprender a aprender, al ámbito digital y al tratamiento de la información. Se ha diseñado para que pueda implementarse en ciclo superior de educación primaria y primer ciclo de educación secundaria obligatoria. La propuesta didáctica plantea que parejas de estudiantes elaboren un videotutorial para responder una pregunta sobre el mundo, que ellos mismos formulan. En esta propuesta, el concepto de videotutorial intenta alejarse del modelo transmisivo procedimental que normalmente encontramos en las redes. Entendemos el videotutorial como un vídeo de máximo tres minutos en el que el contenido se presenta acompañando a la audiencia en su proceso de comprensión, mediante la formulación de preguntas de conocimientos previos al inicio, preguntas de comprensión durante el videotutorial y una pregunta de comprensión global al final. Se trata pues de crear un material que permite a potenciales aprendices aprender lo que estos estudiantes han aprendido previamente; por lo tanto, de aprender enseñado en *expectancy* (Duran, 2017; Fiorella y Mayer, 2014).

En una organización del aula basada en el aprendizaje cooperativo (Topping, et al. 2017), se propone que los estudiantes trabajen en parejas, con dos roles complementarios: responsable de contenido y responsable tecnológico. Los estudiantes disponen de dos materiales que les ayudan a estructurar su actividad conjunta: una guía de roles y una hoja de actividad, que contemplan las siguientes fases:

0. Definición de la pregunta. Cada pareja define la pregunta para su videotutorial. Aunque es el responsable de contenido quien lleva la iniciativa en la formulación de la pregunta, es necesario un proceso de negociación entre ambos miembros para que la pregunta los motive e implique en la creación del videotutorial.
1. Conocimientos previos. Cada miembro de la pareja elabora una respuesta conjetural a la pregunta planteada, es decir, propone una explicación hipotética del fenómeno –basándose en sus conocimientos previos, sin consultar fuentes de información–. Seguidamente, comparten sus respuestas y definen dudas.
2. Búsqueda de información. En un proceso recursivo, los estudiantes definen los conceptos clave de la búsqueda; buscan, seleccionan y contrastan diferentes fuentes de información; resuelven dudas iniciales y se plantean nuevas cuestiones. Este proceso concluye con la elaboración de una respuesta compartida a la pregunta planteada.
3. Elaboración del guion. Los estudiantes elaboran el guion del vídeo, en el que organizan y transforman la información con el objetivo de presentarla a una audiencia potencial real a través de un videotutorial. Esto incluye la redacción de la narración del videotutorial, y también la planificación de los recursos visuales y de las preguntas de conocimientos previos al inicio, las preguntas de comprensión durante el videotutorial y la pregunta de comprensión global al final.

4. Producción del vídeo. Los estudiantes crean el videotutorial a partir del guion. Esta fase consta de dos periodos: generación de recursos y edición técnica; y edición pedagógica, para introducir las preguntas interactivas. En la implementación descrita en el presente artículo, se utilizó PowerPoint para la edición técnica del vídeo y EDpuzzle para la edición pedagógica, pero también podrían utilizarse otras herramientas tecnológicas en función del contexto de implementación.

Se propone llevar a cabo dos rondas de creación de videotutoriales con el grupo clase. Entre una y otra se intercambian los roles de la pareja, de forma que ambos miembros tengan la oportunidad de llevar la iniciativa al formular la pregunta en la que quieren indagar. Cada ronda de creación de videotutoriales tiene una duración aproximada de 12 horas de clase. Los videotutoriales resultantes serán organizados en un espacio virtual a disposición de otros estudiantes y centros educativos.

2.2 Contexto y participantes

Después de llevar a cabo una prueba piloto en el curso 2017-2018, en el curso 2018-2019 el proyecto fue implementado en dos centros públicos de educación primaria de Catalunya. Se requería que los centros dispusieran de los recursos digitales suficientes –un ordenador o tableta por pareja, con conexión a internet– para implementar el proyecto. Sin embargo, se quería que no llevaran a cabo frecuentemente prácticas en las que los estudiantes usaran tecnologías digitales. Participaron en el proyecto un total de 44 estudiantes de sexto de primaria, es decir, 22 parejas, que crearon dos videotutoriales cada una. Se llevó a cabo una formación inicial de cuatro docentes, así como reuniones para ajustar la implementación del proyecto al contexto de cada centro. Luego, los estudiantes recibieron una formación inicial por parte de los docentes para familiarizarse con los objetivos del proyecto, el tipo de producto, el proceso de creación y los materiales de apoyo. Durante la implementación del proyecto, docentes e investigadores colaboraron para llevarlo a cabo en las aulas y evaluarlo en dos rondas de creación de videotutoriales. Uno de los investigadores asistió como observador participante a todas las sesiones del proyecto de intervención en ambas escuelas, para ayudar a los docentes a organizar el aula y ofrecer apoyo especialmente en las cuestiones tecnológicas.

Los estudiantes formularon en sus videotutoriales preguntas muy diversas, sobre el universo (p. ej., ¿qué es el Big Bang?, ¿cómo se formó la Vía Láctea?), sobre fenómenos del entorno natural (p. ej., ¿cómo se forma la nieve?, ¿por qué los atardeceres tienen diferentes colores?), sobre animales y plantas (p. ej., ¿por qué los pandas están en peligro de extinción?, ¿por qué motivos la luz puede mover las plantas?), sobre fenómenos del entorno social (p. ej., ¿por qué hay tantos idiomas en el mundo?, ¿qué es la mitología nórdica?), sobre los seres humanos (p. ej., ¿cómo funciona el cerebro?, ¿por qué los humanos tenemos sentimientos?) y sobre tecnología (p. ej., ¿cómo calcula la calculadora?, ¿qué inteligencias artificiales son más inteligentes que la humana?). Como se puede ver, muchas de ellas abordan cuestiones interdisciplinarias.¹

¹ Pueden consultarse dos ejemplos de videotutoriales elaborados por estudiantes: Per què el cel és blau? (en catalán, ¿Por qué el cielo es azul?, disponible en <https://edpuzzle.com/media/5c8bbf4adedf7c409e552be8>), ¿La luz interviene en cómo vemos los colores? (en castellano, disponible en <https://edpuzzle.com/media/5c5027287fa15e411ebffbf7>).

2.3 Recogida y análisis de datos

Para el primer objetivo –examinar si se producen mejoras en el conocimiento específico sobre las preguntas–, se llevó a cabo un pretest-posttest, en el que los estudiantes respondían a su pregunta sin poder acceder a fuentes de información antes y después de la creación de cada videotutorial. Las respuestas se evaluaron con una rúbrica de seis ítems, elaborada a partir del modelo de Zhu et al. (2009): completitud de la información, comprensibilidad, pertinencia, veracidad, grado de detalle y apariencia de experto. La rúbrica fue validada por tres jueces. En los distintos ítems se obtuvieron valores entre 0,61 y 0,86 en el coeficiente kappa de Cohen ponderado. Después de evaluar las respuestas de los estudiantes, se compararon las puntuaciones del pretest y del posttest de todos los videotutoriales, mediante la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. Esta prueba también se llevó a cabo para comparar la extensión de las respuestas del pretest y las del posttest.

Para el segundo objetivo –estimar el grado de elaboración del conocimiento en las explicaciones–, se transcribieron las explicaciones que los estudiantes desarrollaron en sus videotutoriales, así como cualquier texto sobreimpreso que añadieran en las imágenes. Para la estimación del grado de elaboración de las explicaciones, se utilizó la herramienta de detección de plagio Quetext, por su avanzada tecnología que le permite llevar a cabo un análisis contextual y detectar cambios superficiales (<https://www.quetext.com/>). Como esta herramienta no detecta plagios en los textos y fuentes en catalán, la lengua utilizada por los estudiantes –junto al castellano–, se tomaron dos medidas adicionales: a) se tradujeron al castellano con el traductor de Google –y posterior revisión– las transcripciones de aquellos videotutoriales que se encontraban en catalán para poder analizarlas con Quetext; y b) se identificaron los videotutoriales en los que los estudiantes reportaron haber utilizado alguna fuente de información en catalán. En estos casos en los que se utilizaron fuentes de información en catalán, las transcripciones originales fueron analizadas con otra herramienta de detección de plagio: la de SmallSEOTools (<https://smallseotools.com/es/plagiarism-checker/>). Si bien esta no utiliza una tecnología tan avanzada como Quetext, sí que funciona correctamente con los textos y fuentes en catalán. En caso de que el porcentaje de plagio de una transcripción detectado con esta herramienta fuera superior al detectado con Quetext, este porcentaje pasaba a ser el que tenía validez para análisis posteriores con el conjunto de las transcripciones. En estos análisis se reportaron los estadísticos descriptivos siguientes: mínimo, máximo, media, desviación estándar y percentiles.

Para el tercer objetivo –analizar el grado de complejidad de las preguntas de comprensión para la audiencia–, se transcribieron los enunciados de las preguntas de comprensión que los estudiantes habían añadido a lo largo de sus videotutoriales. Se excluyeron del análisis las otras dos preguntas: la pregunta de conocimientos previos al inicio y la pregunta de comprensión global al final. También se excluyeron del análisis las opciones de respuesta –correctas y distractores– y la retroalimentación posterior que algunos estudiantes habían añadido para la audiencia. A partir de la taxonomía revisada de Bloom (Anderson y Bloom, 2001), el enunciado de cada pregunta de comprensión se codificó en una de las siguientes categorías, considerando también la información que los estudiantes aportaban en la explicación del videotutorial: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar, crear (Tabla 1).

Tabla 1. Definición de las categorías de la taxonomía revisada de Bloom

	Definición
Crear	Juntar elementos para formar un todo coherente o funcional; reorganizar elementos en un nuevo patrón o estructura.
Evaluar	Emitir juicios a partir de criterios o normas.
Analizar	Descomponer el material en sus partes constituyentes y determinar cómo las partes se relacionan entre ellas y con una estructura o propósito generales.
Aplicar	Llevar a cabo o utilizar un procedimiento en una situación dada.
Comprender	Construir significado a partir de mensajes instructivos, incluyendo comunicación oral, escrita y gráfica.
Recordar	Recuperar conocimiento relevante de la memoria a largo plazo.

Fuente: extraída de Anderson y Bloom (2001).

Se reportaron frecuencias, porcentajes y ejemplos de las categorías identificadas. Aunque las orientaciones del proyecto dictaban que estas preguntas de comprensión fueran de opción múltiple, se revisaron todas para identificar si los estudiantes habían utilizado también otros formatos.

3. Resultados

3.1 Conocimiento específico sobre la pregunta

Los resultados muestran que los estudiantes mejoran significativamente su nivel de conocimiento específico sobre las preguntas que se plantean en sus videotutoriales (Tabla 2). Al no disponer de grupos de comparación, no podemos atribuir con seguridad estas mejoras a la intervención. Sin embargo, al tratarse de un conocimiento tan específico, que no se trabaja en otras situaciones de instrucción, asumimos que la participación en el proyecto puede ser la principal responsable de las mejoras.

Tabla 2. Análisis del pretest-posttest del conocimiento específico sobre las preguntas

	Media pretest	Media posttest	Diferencia post-pre	Desviación estándar	Sig. (bilateral)
Complejidad de la información	0,64	1,48	0,84	0,741	0,000
Comprensibilidad	2,63	2,42	-0,21	0,761	0,027
Pertinencia	2,13	2,00	-0,13	1,429	0,424
Veracidad	0,94	1,59	0,65	0,983	0,000
Grado de detalle	0,13	1,08	0,95	0,870	0,000
Apariencia de experto	0,32	1,50	1,18	0,687	0,000
Total	6,77	10,07	3,30	3,025	0,000

Fuente: elaboración propia.

De los seis ítems analizados, la complejidad de la información, la veracidad, el grado de detalle y la apariencia de experto sí muestran mejoras significativas. No obstante, la pertinencia no muestra cambios significativos, y la comprensibilidad disminuye significativamente (Tabla 2). En cuanto a la pertinencia, cabe señalar que en el proceso de búsqueda los estudiantes encuentran grandes cantidades de infor-

mación que no siempre se ajusta a su propósito. Si no regulan adecuadamente la selección de información, pueden incluir en sus respuestas no solo información clave para el propósito de la pregunta, sino también información anecdótica, que se desvía del foco principal. En referencia a la disminución significativa de la comprensibilidad, probablemente se deba a que las respuestas del posttest son considerablemente más extensas y sofisticadas que las del pretest. La media de palabras del pretest (20,09) se sitúa muy por debajo de la media de palabras del posttest (61,89). La prueba de significación estadística muestra que la extensión de las respuestas aumenta significativamente entre el pretest y el posttest ($p=0,000$). Por ello, resulta más probable encontrar alguna idea cuya redacción no resulte clara, hecho que disminuye la puntuación de comprensibilidad.

3.2 Grado de elaboración de las explicaciones

Los resultados del análisis de las explicaciones muestran que, de media, un 37,48% (SD=24,72) de la información que aportan los estudiantes en las explicaciones podría considerarse plagio –es decir, no se encuentra suficientemente elaborada respecto a la fuente original– (Tabla 3).

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los porcentajes de plagio detectados en las explicaciones

Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Percentiles		
				25	50	75
0	82	37,48	24,72	16,5	38,5	57,5

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de plagio podría ser mayor, ya que cabe tener en cuenta dos limitaciones. En primer lugar, la utilización de otros tipos de fuentes de información que no pueden ser detectadas tan fácilmente por las herramientas de detección de plagio –en 12 de los 44 videotutoriales los estudiantes reportan haber utilizado vídeos como fuentes de información–. En segundo lugar, la imposibilidad de la herramienta Quetext para contrastar la respuesta con fuentes de información en catalán –en 18 de los 44 videotutoriales los estudiantes reportan haber utilizado fuentes de información en catalán–. Solo en uno de estos dieciocho videotutoriales el uso del detector de plagio de SmallSEOTools identificó un porcentaje superior al de la herramienta Quetext. A pesar de estas limitaciones, cabe destacar que este análisis exploratorio sugiere que una media del 62,52% de la información ha sido suficientemente elaborada por los estudiantes a partir de la búsqueda de información.

3.3 Grado de complejidad de las preguntas de comprensión para la audiencia

En los 44 videotutoriales aparecen un total de 145 preguntas de comprensión. Se recomendaba a los estudiantes añadir una pregunta por cada apartado de su explicación, y como orientación se proponía organizar la explicación en tres o cuatro bloques. De las 145 preguntas, casi un 90% pertenecen al nivel inferior de la taxonomía revisada de Bloom (Tabla 4).

Tabla 4. Frecuencias, porcentajes y ejemplos de los tipos de preguntas de comprensión

	f	%	Ejemplo
Crear	1	0,69	¿Qué podemos hacer para salvarlos [a los pandas]?
Evaluar	0	0	-
Analizar	0	0	-
Aplicar	0	0	-
Comprender	13	8,97	¿Qué tienen las fosas marinas en común con las placas tectónicas?
Recordar	129	88,97	¿Cuántos movimientos tiene la Tierra?
No codificable	2	1,38	¿Ahora ya sabéis qué es el Big Bang?

Fuente: elaboración propia.

Las dos preguntas no codificables forman parte del mismo videotutorial, y adoptan un enfoque metacognitivo, al pedir a la audiencia que piense si ha entendido o no lo que se ha explicado (Tabla 4).

En cuanto al formato de las preguntas, aunque como orientación se recomendó que las preguntas de comprensión fueran de opción múltiple, 6 de las 145 preguntas de comprensión tienen un formato de respuesta abierta (p. ej., ¿Te acuerdas del nombre de alguna mariposa de las que te hemos enumerado?).

4. Discusión y conclusiones

Parece que la participación de los estudiantes en el proyecto los lleva a mejorar significativamente su nivel de conocimiento específico sobre las preguntas que se plantean en los videotutoriales. Resulta necesario probar estas mejoras para estar convencidos de que se trata de un tiempo bien invertido, aún más al considerar la elevada complejidad de las preguntas que suelen plantearse los estudiantes. En el futuro, deberán compararse los resultados de los participantes en el proyecto con los de grupos de comparación. Al centrarnos en los seis ítems analizados en las respuestas iniciales y finales, hemos visto que se producen mejoras significativas en la completitud de la información, la veracidad, el grado de detalle y la apariencia de experto. La ausencia de cambios en la pertinencia de las respuestas probablemente se deba a la naturaleza abierta de los procesos de lectura en la red (Coiro y Dobler, 2007; Pozo, 2014). La disminución de la comprensibilidad puede tener su origen en la mayor extensión de las respuestas del posttest. En línea con estudios previos sobre intervenciones que plantean la creación de vídeos educativos, parece que los estudiantes mejoran su conocimiento al adoptar el rol de enseñante y tener que generar en los videotutoriales una explicación para otras personas, hecho que activa procesos metacognitivos (Hoogerheide et al., 2019; Penttilä et al., 2016; Soto, 2015).

En referencia al grado de elaboración del conocimiento en las explicaciones que los estudiantes ofrecen en sus videotutoriales, las estimaciones muestran que, de media, más del 60% de la información se encuentra suficientemente elaborada. En palabras de Roscoe y Chi (2007), podríamos considerar que en casi dos tercios de la información los estudiantes adoptan un enfoque de *construir el conocimiento*, es decir,

lo ajustan para explicarlo a su audiencia potencial real a través del videotutorial; y en más de un tercio de la información adoptan un enfoque de *decir el conocimiento*, al transmitirlo a su audiencia con un bajo grado de elaboración. Cabe destacar aquí las limitaciones del uso de herramientas de detección de plagio, que en este estudio se han utilizado de forma exploratoria al contar con explicaciones de temas muy diversos que parten de las preguntas y de las fuentes que buscan los estudiantes. En el futuro, será necesario considerar otras formas para evaluar el grado de elaboración de las explicaciones, como la que utilizan Jacob, Lachner y Scheiter (2021). Estos autores proponen analizar el número de elaboraciones a partir de la identificación de ideas no mencionadas en el material de estudio, que los estudiantes presentan en forma de ejemplos, analogías o experiencias propias.

En el presente artículo, el análisis se ha centrado en el componente verbal de las explicaciones: la narración oral de los videotutoriales y el texto sobrepreso que los estudiantes hubieran añadido en las imágenes. Sin embargo, la evaluación del grado de elaboración de las explicaciones en productos audiovisuales deberá considerar no solo el componente verbal de la explicación, sino también el componente visual y la relación entre ambos. Como señala Lemke (2002), el lenguaje de las palabras no es suficiente para expresar muchas de las ideas de la ciencia, y es por ello por lo que esta adopta un lenguaje que combina palabras, diagramas, imágenes, gráficas, mapas, ecuaciones, tablas y otras formas de expresión visual y matemática. Tanto el lenguaje escrito como los demás sistemas semióticos, que son culturalmente específicos y aprendidos socialmente, moldean nuestro pensamiento y, por consiguiente, nuestra forma de construir los conceptos científicos (Lemke, 2002; Pérez-Echeverría, Martí y Pozo, 2010; Vygotsky, 1978, 1995).

En cuanto al grado de complejidad de las preguntas de comprensión para la audiencia que los estudiantes añaden a lo largo de sus videotutoriales, los resultados muestran que la gran mayoría de preguntas –casi un 90%– se sitúan en el nivel inferior de la taxonomía revisada de Bloom: la categoría recordar, es decir, preguntas que solo requieren reconocer o recuperar la respuesta de la memoria. Este porcentaje es parecido al 94% encontrado por Barbour et al. (2009), pero superior al 61% identificado por Siko (2013). Estos autores analizaron 1885 y 1250 preguntas, respectivamente, fruto de proyectos en los que estudiantes de secundaria crearon e introdujeron preguntas en juegos hechos con PowerPoint, en ciencias sociales (Barbour et al., 2009) y en química ambiental (Siko, 2013). Curiosamente, solamente en Barbour et al. (2009) –que identificaron un 94% de preguntas en el nivel inferior– los estudiantes recibieron formación sobre la formulación de preguntas. En cambio, ni en el presente artículo ni en Siko (2013) –que obtuvo un porcentaje menor de preguntas del nivel inferior– los estudiantes no recibieron formación específica sobre cómo generar preguntas complejas. Aun así, cabe señalar que formular este tipo de preguntas –aunque sean del nivel inferior– puede ayudar a los estudiantes a identificar las ideas clave de su explicación. En cualquier caso, los altos porcentajes de preguntas de este nivel sugieren la necesidad de pensar cómo enseñar explícitamente a formular preguntas de niveles superiores, y cómo ofrecer apoyos durante su creación. Los autores también proponen mostrar

ejemplos variados de preguntas, ofrecer modelos y modelaje, e introducir espacios de evaluación y revisión de las preguntas, también con situaciones de evaluación entre iguales (Barbour et al., 2009; Siko, 2013; Yu y Yang, 2014).

En futuros estudios sobre el proyecto, u otras propuestas similares que consideren la creación de preguntas de comprensión de opción múltiple, se deberá poner el foco no solo en el nivel del enunciado de las preguntas, sino también en la elaboración de las opciones de respuesta –como hacen por ejemplo Tabach y Friedlander (2017) en matemáticas– y en la retroalimentación para la audiencia. En el caso de la retroalimentación, diversos estudios sugieren que hacer que los estudiantes elaboren comentarios para respuestas potenciales de la audiencia tiene beneficios en el uso de estrategias cognitivas y metacognitivas, en la calidad de las preguntas y en las habilidades de toma de perspectiva (Yu y Wu, 2020), así como en la motivación y las emociones académicas positivas (Yu et al., 2018). Zurcher et al. (2016) señalan que elaborar comentarios de retroalimentación ofrece la oportunidad de anticipar concepciones erróneas de la audiencia. Desde la perspectiva de *aprender enseñando* (Duran, 2014), el carácter interactivo de la actividad de elaborar preguntas y retroalimentación para la audiencia podría promover procesos de construcción del conocimiento. De este modo, se complementaría el carácter más expositivo del vídeo.

En resumen, este artículo presenta los primeros resultados del *Proyecto Bikos*, en el que parejas de estudiantes elaboran videotutoriales cooperativamente a partir de una pregunta sobre el mundo que ellos mismos se plantean. Estos resultados muestran mejoras significativas en el conocimiento específico del contenido, un grado suficiente de elaboración de las explicaciones aproximadamente en dos tercios de la información, y una gran mayoría de preguntas de comprensión orientadas a recordar ideas concretas de la explicación. Hay que poner en valor estos resultados, ya que señalan que los estudiantes fueron capaces de aprender sobre el contenido de sus preguntas al trabajar de forma cooperativa para buscar información y elaborarla –incluso cuando abordaban temas complejos– con el objetivo de crear un videotutorial. La variedad de temas que surgen en el proyecto –y la flexibilidad de la propuesta para ajustarse a cualquier temática– muestra el potencial de la intervención desde la perspectiva de la personalización del aprendizaje (Coll, 2018). En el futuro, sería interesante analizar en profundidad las concepciones erróneas que los estudiantes modifican o mantienen después de haber buscado información y de haber elaborado el videotutorial, para comprender mejor las potencialidades y limitaciones de este tipo de proyectos de indagación documental. Las tareas de indagación documental pueden complementarse muy bien con los proyectos de indagación experimental. De hecho, el planteamiento del *Proyecto Bikos* permitiría incluir también en el videotutorial la explicación de un experimento, o podría convertirse en el punto de partida para formular hipótesis de cara a un posterior trabajo experimental o de observación. En definitiva, ante la abrumadora cantidad de afirmaciones científicas que recibimos –y buscamos– a diario (Sinatra y Lombardi, 2020), resulta necesario generar situaciones en las que podamos enseñar a los estudiantes a evaluar y a comunicar ideas científicas. La creación de materiales didácticos por parte de los estudiantes –para que otros aprendan, pero también como mecanismo para su propio aprendizaje– puede ofrecer oportunidades de elaborar el conocimiento y de progresar hacia la alfabetización científica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por el Ministerio de Educación y Formación Profesional a través del contrato FPU18/01663 para la formación de docentes universitarios.

Referencias

- Anderson, L. W. y Bloom, B. S. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Barbour, M., Kromrei, H., McLaren, A., Toker, S., Mani, N. y Wilson, V. (2009). Testing an assumption of the potential of homemade PowerPoint games. En I. Gibson, R. Weber, K. McFerrin, R. Carlsen y D. Willis (Eds.), *Proceedings of SITE 2009: Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 1381-1387). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Bargh, J. y Schul, Y. (1980). On the cognitive benefits of teaching. *Journal of Educational Psychology*, 72(5), 593-604. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.72.5.593>
- Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B. y Robinson, A. (2010). Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1), 69-95. <https://doi.org/10.1080/09500690802713507>
- Benware, C. y Deci, E. (1984). Quality of learning with an active versus passive motivational set. *American Educational Research Journal*, 21(4), 755-765. <http://doi.org/10.3102/00028312021004755>
- Can, H. B. y Boz, Y. (2016). Structuring cooperative learning for motivation and conceptual change in the concepts of mixtures. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(4), 635-657. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9602-5>
- Coiro, J. (2011). Predicting reading comprehension on the Internet: Contributions of offline reading skills, online reading skills, and prior knowledge. *Journal of Literacy Research*, 43(4), 352-392. <https://doi.org/10.1177/1086296X11421979>
- Coiro, J. y Dobler, E. (2007). Exploring the online reading comprehension strategies used by sixth-grade skilled readers to search for and locate information on the Internet. *Reading Research Quarterly*, 42(2), 214-257. <http://doi.org/10.1598/RRQ.42.2.2>
- Coll, C. (2013). La educación formal en la nueva ecología del aprendizaje: Tendencias, retos y agenda de investigación. En J. L. Rodríguez (Comp.), *Aprendizaje y educación en la sociedad digital* (pp. 156-170). Universitat de Barcelona. <https://doi.org/10.1344/106.000002060>
- Coll, C. (2018). Procesos de aprendizaje generadores de sentido y estrategias de personalización. En C. Coll (Coord.), *La personalización del aprendizaje* (pp. 14-18). Graó.
- Coll, C. y Rodríguez, J. L. (2008). Alfabetización, nuevas alfabetizaciones y alfabetización digital: Las TIC en el currículum escolar. En C. Coll y C. Monereo (Eds.), *Psicología de la educación virtual* (pp. 325-347). Morata.
- Colley, C. y Windschitl, M. (2016). Rigor in elementary science students' discourse: The role of responsiveness and supportive conditions for talk. *Science Education*, 100(6), 1009-1038. <https://doi.org/10.1002/sce.21243>
- Collins, A. y Halverson, R. (2010). The second educational revolution: Rethinking education in the age of technology. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26, 18-27. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00339.x>
- De la Hera, D. P., Sigman, M. y Calero, C. I. (2019). Social interaction and conceptual change pave the way away from children's misconceptions about the Earth. *NPJ Science of Learning*, 4(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41539-019-0051-3>
- Downie, J., Morton, J. A. y McCoustra, M. R. (2017). Bright lights: Big experiments! A public engagement activity for international year of light. *Physics Education*, 52(1), Article 015005.
- Duran, D. (2014). *Aprensenar: Evidencias e implicaciones educativas de aprender enseñando*. Narcea.
- Duran, D. (2017). Learning-by-teaching: Evidence and implications as a pedagogical mechanism. *Innovations in Education and Teaching International*, 54(5), 476-484. <http://doi.org/10.1080/14703297.2016.1156011>

- Durán-García, M. E. y Durán-Aponte, E. E. (2013). La termodinámica en los estudiantes de tecnología: Una experiencia de aprendizaje cooperativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 45-59. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.614>
- Eymur, G. y Geban, Ö. (2017). The collaboration of cooperative learning and conceptual change: Enhancing the students' understanding of chemical bonding concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(5), 853-871. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9716-z>
- Farrokhnia, M., Meulenbroeks, R. F. y van Joolingen, W. R. (2020). Student-generated stop-motion animation in science classes: A systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 797-812. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09857-1>
- Fernández-Enguita, M. (2017). *Más escuela y menos aula*. Morata.
- Fiorella, L. y Mayer, R. E. (2014). Role of expectations and explanations in learning by teaching. *Contemporary Educational Psychology*, 39(2), 75-85. <http://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.01.001>
- Freire, P. y Faundez, A. (2010). *Per una pedagogia de la pregunta*. (V. Berenguer y C. Berenguer, Trad.). Edicions del Crec i Denes Editorial. (Obra original publicada en 1985)
- Furberg, A. y Arnseth, H. C. (2009). Reconsidering conceptual change from a socio-cultural perspective: Analyzing students' meaning making in genetics in collaborative learning activities. *Cultural Studies of Science Education*, 4(1), 157-191. <https://doi.org/10.1007/s11422-008-9161-6>
- Gallardo-Williams, M., Morsch, L. A., Paye, C. y Seery, M. K. (2020). Student-generated video in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 21, 488-495. <https://doi.org/10.1039/C9RP00182D>
- Decreto 119/2015, de 23 de junio, de ordenación de las enseñanzas de la educación primaria. *Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC)*, Núm. 6900. Departament d'Ensenyament, Generalitat de Catalunya. <https://bit.ly/3AVs9hf>
- Goldman, S. R., Braasch, J. L., Wiley, J., Graesser, A. C. y Brodowinska, K. (2012). Comprehending and learning from Internet sources: Processing patterns of better and poorer learners. *Reading Research Quarterly*, 47(4), 356-381. <https://doi.org/10.1002/RRQ.027>
- Hoogerheide, V., Visee, J., Lachner, A. y van Gog, T. (2019). Generating an instructional video as homework activity is both effective and enjoyable. *Learning and Instruction*, 64, Article 101226. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101226>
- Howard, S. K. (2013). Risk-aversion: Understanding teachers' resistance to technology integration. *Technology, Pedagogy and Education*, 22(3), 357-372. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2013.802995>
- Illomäki, L., Paavola, S., Lakkala, M. y Kantosalu, A. (2016). Digital competence: An emergent boundary concept for policy and educational research. *Education and Information Technologies*, 21(3), 655-679. <https://doi.org/10.1007/s10639-014-9346-4>
- Jablonski, D., Hoban, G. F., Ransom, H. S. y Ward, K. S. (2015). Exploring the use of "slowmation" as a pedagogical alternative in science teaching and learning. *Pacific-Asian Education*, 27(1), 5-20.
- Jacob, L., Lachner, A. y Scheiter, K. (2021). Does increasing social presence enhance the effectiveness of writing explanations? *PLoS ONE*, 16(4), e0250406. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250406>
- Knight, S. y Mercer, N. (2015). The role of exploratory talk in classroom search engine tasks. *Technology, Pedagogy and Education*, 24(3), 303-319. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2014.931884>
- Kobayashi, K. (2019). Learning by preparing- to- teach and teaching: A meta- analysis. *Japanese Psychological Research*, 61(3), 192-203. <https://doi.org/10.1111/jpr.12221>
- Lemke, J. L. (2002). Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: Palabras, símbolos, imágenes y acciones. En M. Benlloch (Comp.), *La educación en ciencias: Ideas para mejorar su práctica*. Paidós.
- Lin, J. W., Yen, M. H., Liang, J., Chiu, M. H. y Guo, C. J. (2016). Examining the factors that influence students' science learning processes and their learning outcomes: 30 years of conceptual

- change research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(9), 2617-2646. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.000600a>
- Lin, S. W., Liu, Y., Chen, S. F., Wang, J. R. y Kao, H. L. (2016). Elementary school students' science talk ability in inquiry-oriented settings in Taiwan: Test development, verification, and performance benchmarks. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(7), 1199-1214. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9663-0>
- Lin, T. J., Lin, T. C., Potvin, P. y Tsai, C. C. (2019). Research trends in science education from 2013 to 2017: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 41(3), 367-387. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1550274>
- Macedo-Rouet, M., Braasch, J. L., Britt, M. A. y Rouet, J. F. (2013). Teaching fourth and fifth graders to evaluate information sources during text comprehension. *Cognition and Instruction*, 31(2), 204-226. <https://doi.org/10.1080/07370008.2013.769995>
- Mason, L. y Zaccoletti, S. (2021). Inhibition and conceptual learning in science: A review of studies. *Educational Psychology Review*, 33, 181-212. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09529-x>
- Mercer, N. (2001). *Palabras y mentes: Cómo usamos el lenguaje para pensar juntos*. (G. Sánchez-Barberán, Trad.). Paidós. (Obra original publicada en 2000)
- Mills, R., Tomas, L. y Lewthwaite, B. (2019). The impact of student-constructed animation on middle school students' learning about plate tectonics. *Journal of Science Education and Technology*, 28(2), 165-177. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9755-z>
- Monereo, C. y Fuentes, M. (2008). La enseñanza y el aprendizaje de estrategias de búsqueda y selección de la información en entornos virtuales. En C. Coll y C. Monereo (Eds.), *Psicología de la educación virtual* (pp. 386-408). Morata.
- Muis, K. R., Psaradellis, C., Chevrier, M., Di Leo, I. y Lajoie, S. P. (2016). Learning by preparing to teach: Fostering self-regulatory processes and achievement during complex mathematics problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 474-492. <http://doi.org/10.1037/edu0000071>
- OCDE (2017, Febrero). How does PISA for development measure scientific literacy? *PISA for Development Brief 2017/2*. <https://www.oecd.org/pisa/pisa-for-development/10-How-PISA-D-measures-science-literacy.pdf>
- Ødegaard, M., Arnesen, N. E. y Klette, K. (2016). Talk and use of language in the science classroom: Characteristic features. En K. Klette, O. K. Bergem y A. Roe (Eds.), *Teaching and Learning in Lower Secondary Schools in the Era of PISA and TIMSS* (pp. 101-112). Springer.
- Pavón, F. y Martínez-Aznar, M. M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): Una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en estudiantes que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469-492. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1290>
- Penttilä, J., Kallunki, V., Niemi, H. M. y Multisilta, J. (2016). A structured inquiry into a digital story: Students report the making of a superball. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 8(3), 19-34. <http://doi.org/10.4018/IJMBL.2016070102>
- Perales, F. J. y Vílchez, J. M. (2015). Iniciación a la investigación educativa con estudiantes de secundaria: El papel de las ilustraciones en los libros de texto de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 243-262. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1484>
- Pérez-Echeverría, M., Martí, E. y Pozo, J. I. (2010). Los sistemas externos de representación como herramientas de la mente. *Cultura y Educación*, 22(2), 133-147. <https://doi.org/10.1174/113564010791304519>
- Petko, D. (2012). Teachers' pedagogical beliefs and their use of digital media in classrooms: Sharpening the focus of the 'will, skill, tool' model and integrating teachers' constructivist orientations. *Computers & Education*, 58(4), 1351-1359. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.12.013>
- Pozo, J. I. (2014). *Psicología del aprendizaje humano: Adquisición de conocimiento y cambio personal*. Morata.

- Reigosa, C. y Jiménez, M. P. (2011). Formas de actuar de los estudiantes de laboratorio para la fundamentación de afirmaciones y propuestas de acción. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 23-34. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n1.128>
- Reyna, J. y Meier, P. (2018). Learner-generated digital media (LGDM) as an assessment tool in tertiary science education: A review of literature. *IAFOR Journal of Education*, 6(3), 93-109. <https://doi.org/10.22492/ije.6.3.06>
- Ribosa, J. y Duran, D. (2021). *Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field* [Manuscrito presentado para su publicación]. Departamento de Psicología Básica, Evolutiva y de la Educación, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Rosa, D. y Martínez-Aznar, M. M. (2019). Resolución de problemas abiertos en ecología para la ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 25-42. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2541>
- Roscoe, R. y Chi, M. (2007). Understanding tutor learning: Knowledge-building and knowledge-telling in peer tutors' explanations and questions. *Review of Educational Research*, 77(4), 534-574. <https://doi.org/10.3102/0034654307309920>
- Siko, J. P. (2013). Are they climbing the pyramid? Rating student-generated questions in a game design project. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 39(1), 1-14. <https://doi.org/10.21432/t26k5m>
- Sinatra, G. M. y Hofer, B. K. (2016). Public understanding of science: Policy and educational implications. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(2), 245-253. <https://doi.org/10.1177/2372732216656870>
- Sinatra, G. M. y Lombardi, D. (2020). Evaluating sources of scientific evidence and claims in the post-truth era may require reappraising plausibility judgments. *Educational Psychologist*, 55(3), 120-131. <https://doi.org/10.1080/00461520.2020.1730181>
- Snelson, C. (2018). Video production in content-area pedagogy: A scoping study of the research literature. *Learning, Media and Technology*, 43(3), 294-306. <http://doi.org/10.1080/17439884.2018.1504788>
- Soto, M. (2015). Elementary students' mathematical explanations and attention to audience with screencasts. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(4), 242-258. <http://doi.org/10.1080/15391523.2015.1078190>
- Tabach, M. y Friedlander, A. (2017). Algebraic procedures and creative thinking. *ZDM*, 49(1), 53-63. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0803-y>
- Topping, K., Buchs, C., Duran, D. y Van Keer, H. (2017). *Effective peer learning: From principles to practical implementation*. Routledge.
- Voogt, J., Fisser, P., Pareja-Roblin, N., Tondeur, J. y van Braak, J. (2013). *Technological pedagogical content knowledge: A review of the literature*. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(2), 109-121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00487.x>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. (A. R. Luria, M. López-Morillas, M. Cole y J. V. Wertsch, Trad.). Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. (M. M. Rotger, Trad.). Fausto. (Obra original publicada en 1934)
- Webb, M. y Cox, M. (2004). A review of pedagogy related to information and communications technology. *Technology, Pedagogy and Education*, 13(3), 235-286. <https://doi.org/10.1080/14759390400200183>
- Yeung, K. L., Carpenter, S. K. y Corral, D. (2021). A comprehensive review of educational technology on objective learning outcomes in academic contexts. *Educational Psychology Review*. Publicación avanzada en línea. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09592-4>
- Yu, F. Y. y Wu, W. S. (2020). Effects of student-generated feedback corresponding to answers to online student-generated questions on learning: What, why, and how? *Computers and Education*, 145, Article 103723. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103723>
- Yu, F. Y., Wu, W. S. y Huang, H. C. (2018). Promoting middle school students' learning motivation and academic emotions via student-created feedback for online student-created multiple-choice

- questions. *Asia-Pacific Education Researcher*, 27(5), 395-408. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0398-x>
- Yu, F. Y. y Yang, Y. T. (2014). To see or not to see: Effects of online access to peer-generated questions on performance. *Journal of Educational Technology and Society*, 17(3), 27-39.
- Zhang, M. y Quintana, C. (2012). Scaffolding strategies for supporting middle school students' online inquiry processes. *Computers & Education*, 58(1), 181-196. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.04.010>
- Zhu, Z., Bernhard, D. y Gurevych (2009). *A multi-dimensional model for assessing the quality of answers in social QyA sites* (Informe núm. TUD-CS-2009-0158). Technische Universität Darmstadt. https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1940/1/TR_dimension_model.pdf
- Zurcher, D. M., Phadke, S., Coppola, B. P. y McNeil, A. J. (2016). Using student-generated instructional materials in an e-homework platform. *Journal of Chemical Education*, 93(11), 1871-1878. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00384>

Cómo citar en APA:

Ribosa, J. y Duran, D. (2021). Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 85-101. <https://doi.org/10.35362/rie8724572>

2.5. Students' feelings of social presence when creating learning-by-teaching educational videos for a potential audience

Resum

Aprendre ensenyant posa èmfasi en l'audiència. Aquest article se centra en 44 estudiants de sisè que han creat de manera cooperativa videotutorials en parella. Analitza: 1) la percepció autoreportada d'audiència; 2) les referències personals als videotutorials; 3) les accions verbals que fan referència a l'audiència al llarg del procés de creació. En primer lloc, la percepció autoreportada és alta, especialment en produir el vídeo. En segon lloc, el 2,23% de les paraules són referències personals, amb diferències entre l'explicació (1,73%) i les preguntes (2,91%). En tercer lloc, l'elaboració del guió i la producció del vídeo apleguen la majoria d'accions verbals que fan referència a l'audiència (108 enunciats): 76 provenen de la part de les preguntes; 58 fan referència a la tasca i 50, al contingut; 13 indiquen construcció de coneixement. Se subratllen dues aportacions: l'atenció a l'audiència pot fluctuar; induir presència social pot originar elaboració, però sovint no es materialitza.

Paraules clau: tecnologia educativa; vídeo educatiu; aprendre ensenyant; educació primària; presència social; materials didàctics.

Referència

Ribosa, J., & Duran, D. (2023c). Students' feelings of social presence when creating learning-by-teaching educational videos for a potential audience. *International Journal of Educational Research*, 117, Article 102128.

<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.102128>

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

International Journal of Educational Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijedures

Registered report

Students' feelings of social presence when creating learning-by-teaching educational videos for a potential audience

Jesús Ribosa^{*}, David Duran

Department of Basic, Developmental and Educational Psychology. Universitat Autònoma de Barcelona. G6 Building, Office 254, Plaça del Coneixement, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, Catalonia

ARTICLE INFO

Keywords:

Educational technology
Educational video
Learning by teaching
Primary education
Social presence
Teaching materials

ABSTRACT

Audience is emphasized in learning by teaching. This article focuses on 44 sixth-grade students who cooperatively created video-tutorials in pairs. It analyzes: 1) self-reported perception of the audience; 2) personal references in the video-tutorials; 3) audience-based verbal actions throughout the creation process. First, self-reported perception is high, especially in video production. Second, 2.23% of words are personal references, with differences between explanation (1.73%) and questions (2.91%). Third, script elaboration and video production gather most audience-based verbal actions (108 utterances): 76 come from the question part; 58 were task-based and 50 were content-based; 13 indicate knowledge building. Two contributions are underlined: attention to the audience can fluctuate; inducing social presence can trigger elaboration, but it is often not materialized.

1. Introduction

This study focuses on the social presence hypothesis of learning by teaching, which needs further exploration (Lachner et al., 2022). In the introduction, a literature review is presented, focusing on the concept of audience, how this concept has been affected by Information and Communications Technology (ICT), and the role of audience in learning by teaching. This last section considers the role of audience in learning by expecting to teach, in learning by presenting, explaining, and questioning, in learning by non-interactive teaching, and the social presence hypothesis. The introduction is concluded by reviewing the research gaps and presenting the aims of the study.

1.1. The concept of audience

Receiving social attention is known to have far-reaching effects on people (Steinmetz & Pfattheicher, 2017). In educational contexts, the impact of having an audience has gained special attention in the research field of writing instruction. Although cognitive and sociocultural frameworks have approached the role of the audience in writing differently, both perspectives can be integrated if a double mediating role of the audience is considered: an internal, cognitive role, consisting of the writer's mental representation of the audience; and an external, social role, given by a group of readers, who may interact with the writer (Magnifico, 2010). According to Magnifico (2010), an audience can be defined as follows:

^{*} Corresponding authors.

E-mail address: jesus.ribosa@uab.cat (J. Ribosa).

<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.102128>

Received 11 October 2022; Received in revised form 21 November 2022; Accepted 18 December 2022

Available online 24 December 2022

0883-0355/© 2022 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

An audience—or audience members, or readers, however they are positioned in the environment and seen by the writer—is an often-abstract group of people whose real (in the case of an active, participatory audience) or imagined (in the case of a more distant audience) characteristics and reactions can help the writer plan and assess the shape and style of her writing. (p. 175)

1.2. *The role of ICT in the concept of audience*

The incorporation of ICT into society and people's lives has importantly changed the learning ecology (Barron, 2004; Coll, 2013; Collins & Halverson, 2010). Not only does ICT multiply the amount of information people have access to, but also the languages and formats for input and output, as well as the number and diversity of contexts people participate (Coll, 2013). Thus, ICT has both changed the products students can create and how they can be shared with different audiences (Gray et al., 2010; Magnifico, 2010; Ribosa & Duran, 2022b).

Videos—and, more broadly, audio/visual materials—are the most frequently-created products as student-generated teaching materials (Ribosa & Duran, 2022b). The role of the audience has been emphasized in student video creation as well (Kearney, 2011; Kearney & Schuck, 2006). Here, having an audience has been reported to cause both positive and negative emotions. On the one hand, students report emotions of eagerness and satisfaction because of the usefulness of their materials for others (Azman et al., 2016; Campbell et al., 2019; Hoban & Nielsen, 2012; Kearney, 2013; Lee et al., 2008; Macdonald & Hoban, 2009; Olivier, 2019; Pirhonen & Rasi, 2017; Ryan, 2013; Schuck & Kearney, 2006). On the other hand, they report emotions of worry, fear and nervousness about sharing materials, making mistakes and others' opinions (Engin, 2014; Lawrie & Bartle, 2013; Macdonald & Hoban, 2009; McClean et al., 2016; Ryan, 2013; Urstad et al., 2018). The presence of an audience may encourage extra effort and engagement (Engin, 2014; Kearney, 2013; Macdonald & Hoban, 2009; Norton & Hathaway, 2010), and lead students to consider the audience in how they design the video and present the content (Bruce & Chiu, 2015; Doerr-Stevens, 2016; Hafner, 2014; Jensen et al., 2012; Nielsen et al., 2020). This consideration of the audience might also be reflected in the products students generate (Anderson et al., 2017; Doerr-Stevens, 2016; Hafner, 2014; Pirbhai-Illich et al., 2009; Soto, 2015) and traced back to its creation process (Hoban & Nielsen, 2014; Nielsen & Hoban, 2015; Pirbhai-Illich et al., 2009). Moreover, a considerable number of studies refer to the audience effect to interpret their findings (Ribosa & Duran, 2022b).

1.3. *The role of the audience in learning by teaching*

The role of the audience is considered in learning by teaching because the features of the addressee (e.g., real or imaginary, active or passive) determine the way of teaching and, thus, the learning opportunities for the person who teaches (Duran & Topping, 2017). The learning-by-teaching framework has been organized into four levels (Duran, 2017), from less to more complex and bidirectional: 1) learning by expecting to teach, 2) learning by presenting, 3) learning by explaining, and 4) learning by explaining using questions.

1.3.1. *The audience in learning by expecting to teach*

Research carried out in the 1980s showed that the expectation to teach—without later actually teaching—fostered a better retention of content than studying (Bargh & Schul, 1980; Benware & Deci, 1984), which opened the door to further research on expectancy (Fiorella & Mayer, 2014). Expectancy is the expectation of a person who learns a content thinking that he or she will later teach others, that is, who prepares to teach with an imagined audience in mind (Bargh & Schul, 1980; Fiorella & Mayer, 2013). Subsequent studies found similar results that point to better retention as well as better organization (Nestojko et al., 2014) and increased comprehension and metacognitive processes (Muis et al., 2016). However, other studies found no significant learning gains for expectancy (Ehly et al., 1987; Kobayashi, 2021; Renkl, 1995). It seems that at least under certain conditions the expectation to teach alters cognitive processes, leading to revising the content, organizing it for presentation, and identifying its basic structure (Duran & Topping, 2017), and it fosters higher motivation as well (Fiorella & Mayer, 2013, 2014). Benware and Deci (1984) attributed this higher motivation to the will to avoid the situation of not knowing how to respond to the audience. Although expectancy may play an important role in creating a teaching material, it is likely that other processes connected to the other levels of learning by teaching are involved: presentation of the content, knowledge building, and use of questions.

1.3.2. *The audience in learning by presenting, explaining, and questioning*

Presenting the content to a real audience is a way of analyzing how one's own mind revises and reformulates information to transform it into knowledge (Duran, 2017; Duran & Topping, 2017). This potential remains when the audience is passive, which is known as audience effect (Zajonc, 1966), and even when the audience is not physically present (Hoogerheide et al., 2016). According to Hoogerheide et al. (2016), being aware of the addressee and perceiving it as real—although not physically present—can generate what is known as productive agency, that is, the belief that our own actions can affect others (Schwartz & Okita, 2004). Presenting the content to the audience may involve transmitting information—knowledge telling—but also engaging in metacognitive processes to assess learning and comprehension, as well as the coherence of the explanations—knowledge building—(Roscoe & Chi, 2007, 2008). These knowledge-building processes are connected to deeper understanding (Roscoe, 2014) in the learning-by-teaching situations. Moreover, when the degree of interactivity between the presenter and the audience allows for formulating and answering questions, the learning benefits are heightened because of the potential of questions to promote knowledge building (Roscoe & Chi, 2008). The more complex the questions, the more beneficial they become, especially when they require integrating prior and new knowledge, reorganizing mental models, generating inferences, and carrying out metacognitive self-regulation (King, 1998). Providing

higher-quality explanations—both in a first expository explanation before the addressee and in a later interaction stage asking and answering questions—seems to have an impact on conceptual knowledge, inference, and transfer (Kobayashi, 2021).

1.3.3. *The audience in learning by non-interactive teaching*

Creating teaching materials can be considered an indirect or non-interactive way of teaching (Kobayashi, 2019a, 2019b; Lachner et al., 2022). When comparing direct face-to-face teaching with indirect non-interactive teaching, a meta-analysis carried out by Kobayashi (2019a) showed that the learning benefits are larger in the case of direct teaching, both in the situation of teaching expectancy only and in the act of teaching with preparing-to-teach. Lachner et al. (2022) developed a model of non-interactive teaching, which considers different boundary conditions: modality of the explanations, induced social presence, timing, teaching expectancy, prior knowledge, ability beliefs, and features of the source material.

There is plenty of evidence that back up the effect of presentation modality on learning outcomes. It seems that explaining on video enhances learning when compared to written explanations (Hoogerheide et al., 2016; Jacob et al., 2020; Lachner et al., 2018, 2021). A meta-analysis on student-generated teaching materials shows considerable differences between audiovisual and textual materials (Ribosa & Duran, 2022a). In primary education, Hoogerheide et al. (2019) compared the effect of generating an instructional video as homework to restudying and summarizing the source material. In terms of enjoyment, students perceived that teaching on video was more enjoyable than restudying or summarizing. As regards conceptual knowledge, no significant differences were found between teaching on video and summarizing. However, the latter did not improve test performance compared to restudying, but video-based teaching did show improved test performance compared to the restudy condition.

1.3.4. *The social presence hypothesis in learning by teaching*

The modality effect is discussed in light of the students' feelings of social presence (Hoogerheide et al., 2016, 2019; Jacob et al., 2020). Compared to writing, the authors consider that generating an oral explanation on video increases the students' feelings of social presence of an addressee, which in turn may trigger distinct generative processes during explaining (Hoogerheide et al., 2016, 2019; Jacob et al., 2020).

Based on the social presence hypothesis, Jacob et al. (2021) tried to increase social presence in written explanations by using a simulated messenger chat with an addressee who had a profile picture and sent a message asking for an explanation on the topic. They found that this influenced the number of personal references compared to a standard written explanation condition and a video-based explanation condition, but not the self-reported social presence ratings. It should be noted that the instructions given to the three conditions were different: while in the standard written explanation and the video-based explanation conditions students were explicitly presented with an imaginary scenario, the chat condition did not present the addressee as imaginary. This may raise the question regarding the distinction between the mental representation of an imaginary and a real addressee (Ribosa & Duran, 2022a; Magnifico, 2010), which might have influenced the results of the experiment. As regards learning outcomes, Jacob et al. (2021) did not find any differences between the experimental conditions—neither when compared to a control retrieval condition. Here, it should be noted that the design of the procedure hindered teaching expectancy. Students first read the study text without the intent to explain or retrieve the material afterwards, and then they were assigned to one of the four experimental conditions. There, they were asked to carry out the learning activity—generating an explanation for the three intervention groups or doing the open recall task for the control group. Thus, students did not read the materials with the expectation of teaching, which might have influenced the results of the experiment, considering the role of expectancy in preparing-to-teach when it is combined with actually teaching (Hoogerheide et al., 2016; Kobayashi, 2019b; Lachner et al., 2022).

1.4. *Research gaps and aims of the study*

In view of the relevance of the audience throughout the learning-by-teaching framework, this study focuses on students' perception of potential audience in a cooperative learning project in which pairs of students create video-tutorials for a potential audience on the internet, as a way of learning by teaching. The social presence hypothesis of learning by teaching needs further exploration (Lachner et al., 2022). Prior studies that gathered students' perceptions of the audience generally focused on students' qualitative comments—only Jacob et al. (2021) quantitatively measured the self-reported degree of attention to the addressee. However, none of them have addressed how this attention to the audience can fluctuate throughout the video creation process. Moreover, only few studies have reported the consideration of the audience by examining students' video creation processes (Hoban & Nielsen, 2014; Nielsen & Hoban, 2015; Pirbhai-Illich et al., 2009), but these insights come from anecdotal rather than systematic, purposeful analyses. In this study, three aims are addressed to focus on how students creating a teaching material (i.e., an educational video) think about its addressee during the creation process:

- 1 To analyze students' self-reported perception of the potential audience in the video-tutorial creation process.
- 2 To analyze personal references in the video-tutorials as an indicator of perceived social presence.
- 3 To analyze students' verbal actions that refer to the audience in the pair interaction while creating the video-tutorial.

2. Method

2.1. Participants

In the school year 2018–2019, *Bikos Project* (Ribosa & Duran, 2021, 2022c) was implemented in two primary education schools from Catalonia. The schools were selected via convenience sampling, since they had previously participated in other projects from the research group. The school management teams were presented with the project and voluntarily chose to participate. A total of 44 sixth-grade students (i.e., 23 girls and 21 boys) took part in the project.

2.2. Description of the task

Students cooperatively worked in pairs to create a video-tutorial to answer a scientific question of their interest, with two complementary roles: responsible for content and responsible for technology. In a video-tutorial, which lasts for a maximum of 4 min, students answer a question they wonder about the world, guiding the audience's understanding by formulating prior knowledge questions at the beginning, comprehension questions during the video, and one global comprehension question at the end. Two support materials were given to help them structure their joint activity—a role guide and an activity sheet—, based on five stages to create the video-tutorial: 1) defining the inquiry question, where each pair of students formulates a question for their video, led by the responsible for content; 2) prior knowledge, where each member elaborates a conjectural answer to the question, without consulting information sources; 3) information searching, where students define key concepts, search, select, and contrast different sources, to elaborate a shared answer to the question; 4) script elaboration, where they write the video script, including the voice-over, the visual aids, and the questions for the potential audience; and 5) video production, where they generate the resources, technically edit the video, and add the interactive questions using an app, such as EDpuzzle. Two rounds of video-tutorial creation were carried out. Between the first and second round, the students' roles were exchanged, so that each student had the chance to address the question he or she was interested in, with the help of the partner. Each round lasted between 9 and 14 h of class. Video-tutorials are to be organized in a virtual space so that other potential students and schools have access to them.

2.3. Data collection and analysis

2.3.1. Students' self-reported perception of the potential audience

At the end of the project implementation—after the two creation rounds—, a questionnaire was administered to the students through an online form, which contained the following requirement: "Assess to what extent you thought of the people who are going to watch the video-tutorials in each stage of the *Bikos Project*". Before answering the questionnaire, students were asked whether they understood the statement, to make wording changes if necessary, and they were reminded what each stage referred to. In the questionnaire, students were asked to assess each stage in a 4-level Likert item, from 1 (Not at all) to 4 (To a great extent). Descriptive statistics were first reported. After significant results in the Shapiro-Wilk normality test (i.e., suggesting a deviation from normality), a related-samples Friedman's two-way analysis of variance by ranks was carried out. Pairwise comparisons with significance values adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests were reported. The significance level was set at $p < .05$.

2.3.2. Personal references in the video-tutorials

The video tutorials were examined to identify personal references as an indicator of the perceived social presence. This approach has been used in prior learning-by-teaching studies (Jacob et al., 2020, 2021; Lachner et al., 2018). The number of first-person and second-person pronouns and determiners (e.g., I, me, my, mine, you, your, yours, we, us, ours) in Catalan and Spanish—the two languages students used in the task—were counted in the transcribed explanation from the video. Elided personal pronouns in elliptical clauses, which are typical in Catalan and Spanish, were identified by the verb form and counted as well if no other personal indicator had been found in that verb. It needs to be considered that students cooperatively created the videos in pairs, and each pair developed two videos exchanging the two roles. Descriptive statistics were reported. The percentage of personal references over the number of transcribed words was calculated, for the overall transcription and separating between the audiovisual component (i.e., voice-over and superimposed text) and the questioning component (i.e., questions and feedback for the potential audience). After significant results in the Shapiro-Wilk normality test (i.e., suggesting a deviation from normality), the Wilcoxon signed-rank test was used to compare both components. Pearson correlation coefficient was calculated between the two components. The significance level was set at $p < .05$.

2.3.3. Students' verbal actions that refer to the audience in the pair interaction

A sample of 8 students (i.e., 4 pairs) were audio recorded throughout all the creation process of the second video-tutorial, with informed consent from their parents. Purposeful sampling was used with the aim of selecting information-rich cases (Palinkas et al., 2015). Based on teachers' knowledge of the students, those pairs who were more prone to verbalize their ideas aloud were selected. Total time of recording is 47 h 37' 35". The audios were analyzed in Atlas.ti 22 by coding utterances based on the identification of keywords (e.g., audience, addressee, viewers, people) and unspecified personal pronouns (e.g., "he/she" or "they", but also "I" and "you" when adopting the addressee persona) referring to the potential audience. An utterance is defined as "a simple sentence, an independent clause, a nonrestrictive dependent clause, an element of a compound predicate, or a term of acknowledgement, evaluation or address" (Stiles, 1992, as cited in Reed et al., 2018, p. 212). A descriptive analysis was carried out by calculating absolute and relative

frequencies of utterances. To characterize these utterances, different analyses were carried out. First, the utterances were screened to recognize how many of them happened in the context of students creating comprehension questions for the audience. Second, they were examined to determine how many were task-based (i.e., referred to the video creation process or video features independently of the content of the question) and how many were content-based (i.e., referred to the content of the question). Third, focusing on content-based utterances, they were analyzed to identify how many evidenced knowledge building (i.e., utterances in which a student shows metacognitive monitoring or elaboration upon the source materials, or encourages his/her partner to do so). The two researchers coded the utterances independently, and cases of disagreement were discussed until consensus was reached.

3. Results

3.1. Students' self-reported perception

The perception of the potential audience reported by students is considerably high in all the stages (Fig. 1), especially in stage 5 (i.e., video production), which is also the stage that shows the lowest standard deviation ($M = 3.50$; $SD = 0.79$) compared to the other stages: stage 1 ($M = 2.91$; $SD = 0.94$), stage 2 ($M = 3.00$; $SD = 1.03$), stage 3 ($M = 3.02$; $SD = 0.95$), stage 4 ($M = 3.02$; $SD = 0.88$).

A related-samples Friedman's two-way analysis of variance by ranks revealed significant differences in terms of the distributions of the different stages ($p < .001$). Pairwise comparisons with significance values adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests (Table 1) showed that the self-reported perception of the audience in stage 5 was significantly higher compared to stage 1 ($p = .007$), stage 3 ($p = .046$), and stage 4 ($p = .027$). When stage 5 was compared to stage 2, no significant differences were found after Bonferroni correction ($p = .167$). No other pairwise comparisons showed significant differences.

3.2. Personal references in the video-tutorials

From every 100 transcribed words, 2.23 are personal references: 1.73 in the audiovisual part and 2.91 in the question part. Given that according to the results of a Shapiro-Wilk test the data is not normally distributed, neither in the audiovisual part ($M = 1.48$; $SD = 1.94$; $W = 0.69$; $p < .001$) nor in the question part ($M = 3.30$; $SD = 3.48$; $W = 0.85$; $p < .001$), the Wilcoxon signed-rank test was used to compare them. The difference between the percentages of personal references in the audiovisual part and the question part is statistically significant ($MD = -7.47$; $W = 156$; $Z = -3.56$; $p < .001$). The percentage of personal references in the question part is found to be statistically higher than in the audiovisual part. There is a significant ($p = .005$) but moderate correlation ($r = 0.41$) between the percentages of personal references in the two parts.

3.3. Students' verbal actions in the pair interaction

The analysis of student interaction shows that stages 4 and 5 (i.e., script elaboration and video production, respectively) gather nearly all the verbal actions that explicitly refer to the audience of the video. In terms of relative frequency per hour of interaction, stage 4 (i.e., script elaboration) is salient (Table 2).

First, the analysis of the coded utterances shows that 75 out of 108 come from students working on the comprehension questions for the audience (i.e., creating the question and response options, and anticipating audience's answers and actions). Three examples are provided below.

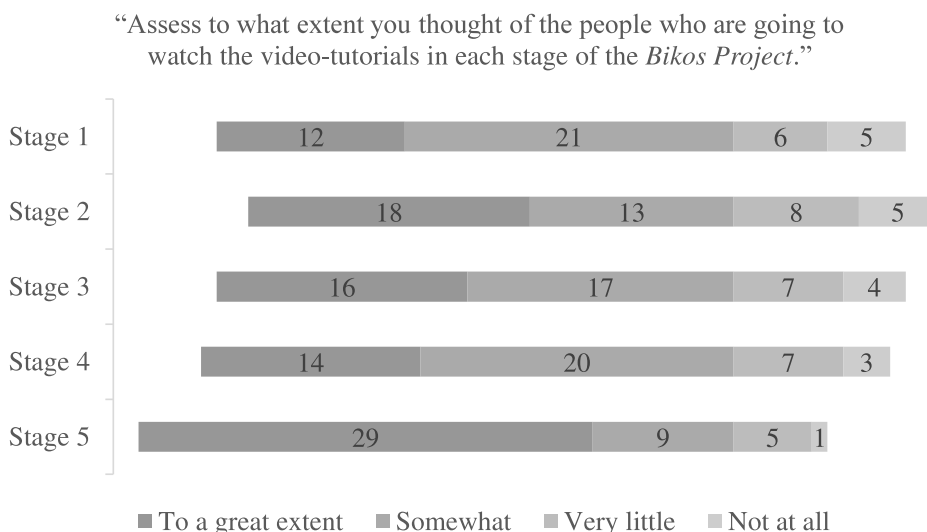


Fig. 1. Frequencies of answer for self-reported perception per video creation stage.

Table 1

Pairwise comparisons for related-samples Friedman’s two-way ANOVA by ranks regarding students’ self-reported perception of the audience in the video creation stages.

Sample 1–Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.
Stage1–Stage4	–0.136	.337	–0.405	.686	1.000
Stage1–Stage3	–0.193	.337	–0.573	.567	1.000
Stage1–Stage2	–0.341	.337	–1.011	.312	1.000
Stage1–Stage5	–1.148	.337	–3.405	.001	.007
Stage4–Stage3	.057	.337	.169	.866	1.000
Stage4–Stage2	.205	.337	.607	.544	1.000
Stage4–Stage5	–1.011	.337	–3.000	.003	.027
Stage3–Stage2	.148	.337	.438	.661	1.000
Stage3–Stage5	–0.955	.337	–2.832	.005	.046
Stage2–Stage5	–0.807	.337	–2.393	.017	.167

Note. Significance level was set at $p < .05$.

Table 2

Frequencies of utterances referring to the audience from student interaction.

	Stage 1		Stage 2		Stage 3		Stage 4		Stage 5		Total	
	f	f / h	f	f / h	f	f / h	f	f / h	f	f / h	f	f / h
Pair A	0	0.00	0	0.00	1	0.18	11	5.15	5	1.09	17	1.25
Pair B	1	1.90	0	0.00	1	0.54	11	5.41	23	4.98	36	3.84
Pair C	1	0.66	0	0.00	1	0.22	27	16.13	10	1.79	39	2.83
Pair D	0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	2.22	12	2.96	16	1.46
Total	2	0.58	0	0.00	3	0.18	53	6.93	50	2.66	108	2.27

Note. f / h stands for relative frequency per hour of recording.

[talking about the different options in a multiple-choice question] I’m telling you people are not that stupid to say that a galaxy is a planet. (Pair A, stage 4)

[thinking of the focus for a comprehension question] Something that they know of light rays, right? Because we’re talking all the time about light rays or Rayleigh scattering. (Pair B, stage 4)

[talking about the different options in a multiple-choice question] If you click on [option] A, it would be right. (Pair D, stage 5)

Second, from the 108 utterances, 58 were task-based and 50 were content-based. As for task-based utterances, they mainly referred to question format and interaction with the app (i.e., EDpuzzle) that enabled its addition to the video (36 utterances). Few utterances referred to formal sentences directly addressed to the audience (10), who is going to or has already watched the video (7), and visual features of the video (5). One example for each kind of comment is provided below.

[talking about the app] That little box that they clicked, and it didn’t say anything, and there were groups that didn’t put it. So now we must do that. (Pair D, stage 4)

Sh... She’ll watch the video! [interrupted by the partner when explaining the answer to a classmate, who is a potential viewer] (Pair B, stage 4)

Whoever is watching it [a picture that is too big] will be overwhelmed. (Pair C, stage 5)

"Thank you very much for listening to our video." (Pair A, stage 4)

As for content-based utterances, 13 out of 50 indicate knowledge building. These knowledge-building utterances are provided below.

I know it is nearly in our words, but we must explain it in our words even more. How would we say it? If you explain it to your mother, or someone, whoever, how would you explain it? (Pair B, at the end of stage 3)

[after the partner suggest using another word for *inherent*] Yes, to understand it. Because if it is difficult for us, it will be more difficult for other people. (Pair C, at the end of stage 3)

What [questions] could we ask them? (Pair A, stage 4)

[talking about possible comprehension questions] Something that they know of light rays, right? Because we’re talking all the time about light rays or Rayleigh scattering. (Pair B, stage 4)

[talking about the feedback for the open comprehension question] We must change that, because it’s the same it tells you here... this, that is, it’s the same, the only thing is that it’s divided here, and not here. It’s the same, really. (Pair B, stage 4)

[talking about the answer options for a multiple-choice question] We can put something tricky, the rods, so that people get confused. (Pair C, stage 4)

Which questions would you ask yourself? (Pair C, stage 4)

You'd better not say that, because then they will think that the sun... maybe they think there are four reasons for the sun. (Pair B, stage 5)

"Act", let's write "act" instead, as the teacher said. Because if not you can get confused. (Pair B, stage 5)

It's already good for me. Let's see, if you hear... (Pair B, stage 5)

If you hear: "On color light Rayleigh scattering acts, which is in the atmosphere and eliminates the shorter wavelengths". (Pair B, stage 5)

What if we say: "On color light... We will tell you why it is color light later." (Pair B, stage 5)

[checking a comprehension question and a picture from the audiovisual explanation] They will get confused here, because in the picture it is actually a triangle. (Pair B, stage 5)

The other 37 content-based utterances were not coded as knowledge building. Three examples are provided below.

No, let's say that, okay? Then it gives them more information. (Pair A, stage 4)

[pretending to directly talk to the audience] "Or you don't know? Come on, what a fool." (Pair C, stage 4)

Oh! And it won't be noticed... And they will fail! [after the partner suggests misarticulating a word]. (Pair D, stage 4)

4. Discussion

The main aim of this article is to elaborate upon the social presence hypothesis for learning by teaching. There is evidence that even when the audience is not physically present being aware of the addressee and perceiving it as real can generate productive agency—the belief that our own actions can affect others (Hoogerheide et al., 2016; Schwartz & Okita, 2004). Students' self-reported perception of the audience was significantly higher in stage 5 (i.e., video production) compared to the other stages—although the difference with stage 2 (i.e., prior knowledge) was not significant after Bonferroni correction. It seems that the final stage of video creation process (i.e., in which students had to record the voice-over, insert pictures, upload the video to a virtual platform, and introduce the comprehension questions) boosted their feelings of social presence. The analysis of audio recordings from student interaction backs up this high level of perceived social presence in stage 5 (i.e., video production), but shows proportionally more explicit references to the audience in stage 4 (i.e., script elaboration), which had obtained a lower score in student self-reported perception. A mismatch between measures of feelings of social presence was already found in Jacob et al. (2021), who reported that an increase in the number of personal references in the explanation was not associated with higher self-reported social presence ratings.

Both the personal references in the video-tutorials and the analysis of student interaction suggest that comprehension questions for the audience play an important role in enhancing the feelings of social presence. The proportion of personal references in the question part of the video-tutorials is statistically higher than in the audiovisual part, and nearly three quarters of the explicit references to the audience throughout the creation process come from students working on these questions. Compared to the video explanation part, which is expository, the interactive nature of comprehension questions may lead students to think more about how the audience is going to engage with the teaching material. Online platforms that enable the creation and use of student-generated questions may play an important part in making question generation and answering more interactive (Yu, 2011). In this study, as illustrated by some task-based utterances from student interaction, the app that was used to introduce the questions within the video (i.e., EDpuzzle) provided the students with the opportunity to interact with the questions as the audience would do (e.g., see what happens when someone gets a question right or wrong).

The analysis of what students say in the knowledge-building utterances suggests that feelings of social presence can encourage them to reformulate the information, assessing the coherence of the explanations with the audience in mind. However, the limited number of knowledge-building utterances suggests that students do not make the most of knowledge-building opportunities when they think of the audience. In a review on peer tutoring, Roscoe and Chi (2007) found that tutors tended to summarize the source materials with little elaboration, despite the privileged situation that peer tutoring offers for knowledge building. In the video creation task that is analyzed in this article, the content-based utterances that explicitly refer to the audience but were not coded as knowledge building illustrate how students miss most of these opportunities (e.g., when creating the questions and response options, or anticipating the audience's answer). A prior study on *Bikos Project* found that most comprehension questions that students included in their video-tutorials showed a low level of complexity (Ribosa & Duran, 2021). This points to the need for scaffolding strategies (e.g., explicit instruction, models, questions stems), since inducing social presence may not be enough for eliciting elaboration and improving learning outcomes, as pointed out by Jacob et al. (2021).

All in all, this study provides two main contributions to the field of the audience effect in learning by non-interactive teaching. First, it shows that the attention to the audience can fluctuate throughout the non-interactive learning-by-teaching situation, as indicated by self-reported measures and student interaction throughout the process. If feelings of social presence are central to boosting productive agency (Hoogerheide et al., 2016; Schwartz & Okita, 2004), detecting when the perception of the audience decreases is paramount. It

seems that the initial stages of the video creation process, in which students prepare the content for later teaching, elicit less feelings of social presence than the later stages, in which students plan and create the video. Students' self-reported perception in stage 5 (i.e., video production) was backed up by the analysis of student interaction. However, stage 4 (i.e., script elaboration) proportionally gathered more explicit references to the audience, although students' self-reported perception was lower than in stage 5 (i.e., video production). The mismatch between the two measures (i.e., self-report and interaction analysis) poses some methodological issues that should be tackled in future studies. Self-reported perception of the audience in the different stages would better not be gathered at the end of the whole process, but at the end of each stage, considering the possible memory issues related to retrospective data collection. Moreover, researchers should consider the limitations of these measures to assess actual feelings of social presence. For instance, when analyzing student interaction in this study, the codification based on the identification of keywords and unspecified personal pronouns explicitly referring to the potential audience may have missed utterances in which students were thinking of the audience more implicitly (e.g., impersonal sentences in which they assess issues in the explanation). These and other measures, such as arousal levels via electrodermal activity (Hoogerheide et al., 2019), can be complementary and should be further explored.

As for the second contribution to the field, this study suggests that feelings of social presence have the potential to trigger elaboration, but students do not make the most of these opportunities. The qualitative evidence from students' verbal actions in the pair interaction may help explain why Jacob et al. (2021) found that inducing social presence might not necessarily improve learning outcomes. Further research is still needed to measure the effect of perceived social presence on the quality of the student-generated teaching materials and on student learning, especially considering some preliminary findings that suggest that too high levels of social presence may even be detrimental (Lachner et al., 2022). The kind of audience (e.g., real or imaginary) may play an important role. In this study, students were aware of a potential audience through the internet, because they were told that their videos would be uploaded to a virtual platform. Comprehension questions for the audience seem to play an important role in perceived social presence, likely due to their interactive nature. From the verbal actions in which they explicitly referred to the audience during the video creation process, it seems that having this kind of addressee in mind has the potential—although often not materialized—to trigger elaboration on the content. Having students work in pairs allowed to record and analyze their verbal actions, but not their thoughts. Future studies could make use of think-aloud protocols during learning-by-teaching tasks. The analysis of the process for creating the teaching material in non-interactive learning-by-teaching situations can provide further insights not only to the social presence hypothesis, but also to other potential mechanisms underlying the learning-by-teaching effect.

In a nutshell, the contributions of this study involve some practical implications for educational interventions. The findings suggest that the role of the audience in non-interactive learning-by-teaching situations is complex, not only because its perception fluctuates through the process, but also because students' verbal actions show a bias towards not using audience perception to trigger elaboration. Thus, educational interventions based on learning by non-interactive teaching seem to require scaffolding to support students' optimal feelings of social presence throughout the creation process, especially in the first stages that involve preparing-to-teach rather than the creation of the teaching material itself. For instance, in the script elaboration stage, having students generate questions for the audience seemed to play a very important role in their feelings of social presence. This kind of tasks that foster student thinking of the features of their intended audience might be useful. It is likely that progressing towards less imaginary and more real audiences (e.g., younger or future students, same-age students from other schools, families) can help students have a more precise mental representation of the features of their audience when creating the teaching material. The main challenge has to do with achieving that these tasks where students are encouraged to think of the audience are not only useful for generating feelings of social presence, but also for offering opportunities to adjust the explanation to the features of the audience (e.g., using different words or providing appropriate examples) and thus trigger elaboration.

5. Conclusions

Social presence has been postulated as one of the potential underlying mechanisms of learning by teaching (Lachner et al., 2022). The purpose of the study was to further explore this view, elaborating upon the hypothesis by analyzing three proxy measures of students' feelings of social presence: self-reported perception, personal references in the video-tutorials, and verbal actions referring to the audience in the creation process. First, self-reported perception was high, especially in video production. Second, 2.23% of words were personal references, with differences between explanation (1.73%) and questions (2.91%). Third, script elaboration and video production gathered most audience-based verbal actions (108 utterances): 76 came from the question part; 58 were task-based and 50 were content-based; 13 indicated knowledge building. Two main contributions were underlined. First, it seems that the attention to the audience can fluctuate throughout the non-interactive learning-by-teaching situation. Second, feelings of social presence have the potential to trigger elaboration, but students do not make the most of these opportunities. Both personal references in the video-tutorials and audience-based verbal actions throughout the creation process indicated that having students create comprehension questions for the audience plays an important role in inducing feelings of social presence. Further research is needed both to quantitatively measure the effect of feelings of social presence on the quality of explanations and learning, and to qualitatively examine the role of the audience throughout the creation process of teaching materials in non-interactive learning-by-teaching situations.

Funding details

This work was supported by the Spanish Ministry of Education and Vocational Training under Grant FPU18/01663 for the training of university teachers.

Declarations of Competing Interest

None.

References

- Anderson, K. T., Stewart, O. G., & Kachorsky, D. (2017). Seeing academically marginalized students' multimodal designs from a position of strength. *Written Communication, 34*(2), 104–134. <https://doi.org/10.1177/0741088317699897>
- Azman, F. N., Zaibon, S. B., & Shiratuddin, N. (2016). A study on user's perception towards learner-generated comics. *International Review of Management and Marketing, 6*(8), 37–42.
- Bargh, J., & Schul, Y. (1980). On the cognitive benefits of teaching. *Journal of Educational Psychology, 72*(5), 593–604. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.72.5.593>
- Barron, B. (2004). Learning ecologies for technological fluency: Gender and experience differences. *Journal of Educational Computing Research, 31*(1), 1–36. <https://doi.org/10.2190/1N20-VV12-4RB5-33VA>
- Benware, C., & Deci, E. (1984). Quality of learning with an active versus passive motivational set. *American Educational Research Journal, 21*(4), 755–765. <https://doi.org/10.3102/00028312021004755>
- Bruce, D. L., & Chiu, M. M. (2015). Composing with new technology: Teacher reflections on learning digital video. *Journal of Teacher Education, 66*(3), 272–287. <https://doi.org/10.1177/0022487115574291>
- Campbell, L. O., Heller, S., & DeMara, R. F. (2019). Implementing student-created video in engineering: An active learning approach for exam preparedness. *International Journal of Engineering Pedagogy, 9*(4), 63–75. <https://doi.org/10.3991/ijep.v9i4.10363>
- Coll, C. (2013). La educación formal en la nueva ecología del aprendizaje: Tendencias, retos y agenda de investigación [Formal education in the new learning ecology: Trends, challenges, and research agenda]. In J. L. Rodríguez (Ed.), *Aprendizaje y educación en la sociedad digital* (pp. 156–170). Universitat de Barcelona. <https://doi.org/10.1344/106.000002060>
- Collins, A., & Halverson, R. (2010). The second educational revolution: Rethinking education in the age of technology. *Journal of Computer Assisted Learning, 26*, 18–27. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00339.x>
- Doerr-Stevens, C. (2016). Drawing near and pushing away: Critical positioning in multimodal composition. *Pedagogies: An International Journal, 11*(4), 335–353. <https://doi.org/10.1080/1554480X.2016.1229621>
- Duran, D. (2017). Learning-by-teaching: Evidence and implications as a pedagogical mechanism. *Innovations in Education and Teaching International, 54*(5), 476–484. <https://doi.org/10.1080/14703297.2016.1156011>
- Duran, D., & Topping, K. J. (2017). *Learning by teaching: Evidence-based strategies to enhance learning in the classroom*. Routledge.
- Ehly, S., Keith, T. Z., & Bratton, B. (1987). The benefits of tutoring: An exploration of expectancy and outcomes. *Contemporary Educational Psychology, 12*, 131–134. [https://doi.org/10.1016/S0361-476X\(87\)80046-2](https://doi.org/10.1016/S0361-476X(87)80046-2)
- Engin, M. (2014). Extending the flipped classroom model: Developing second language writing skills through student-created digital videos. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning, 14*(5), 12–26. <https://doi.org/10.14434/josotv14i5.12829>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2013). The relative benefits of learning by teaching and teaching expectancy. *Contemporary Educational Psychology, 38*(4), 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.06.001>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2014). Role of expectations and explanations in learning by teaching. *Contemporary Educational Psychology, 39*(2), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.01.001>
- Gray, K., Thompson, C., Sheard, J., Clerahan, R., & Hamilton, M. (2010). Students as web 2.0 authors: Implications for assessment design and conduct. *Australasian Journal of Educational Technology, 26*(1), 105–122. <https://doi.org/10.14742/ajet.1105>
- Hafner, C. A. (2014). Embedding digital literacies in English language teaching: Students' digital video projects as multimodal ensembles. *Tesol Quarterly, 48*(4), 655–685. <https://doi.org/10.1002/tesq.138>
- Hoban, G., & Nielsen, W. (2012). Using slowmotion to enable preservice primary teachers to create multimodal representations of science concepts. *Research in Science Education, 42*(6), 1101–1119. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9236-3>
- Hoban, G., & Nielsen, W. (2014). Creating a narrated stop-motion animation to explain science: The affordances of “Slowmotion” for generating discussion. *Teaching and Teacher Education, 42*, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2014.04.007>
- Hoogerheide, V., Deijkers, L., Loyens, S., Heijltjes, A., & van Gog, T. (2016). Gaining from explaining: Learning improves from explaining to fictitious others on video, not from writing to them. *Contemporary Educational Psychology, 44–45*, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.005>
- Hoogerheide, V., Visee, J., Lachner, A., & van Gog, T. (2019). Generating an instructional video as homework activity is both effective and enjoyable. *Learning and Instruction, 64*. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101226>. Article 101226.
- Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2020). Learning by explaining orally or in written form?. In *Text difficulty matters. learning and instruction*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101344>. Article 101344.
- Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2021). Does increasing social presence enhance the effectiveness of writing explanations? *PloS one, 16*(4), Article e0250406. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250406>
- Jensen, M., Mattheis, A., & Johnson, B. (2012). Using student learning and development outcomes to evaluate a first-year undergraduate group video project. *CBE—Life Sciences Education, 11*(1), 68–80. <https://doi.org/10.1187/cbe.11-06-0049>
- Kearney, M., & Schuck, S. (2006). Spotlight on authentic learning: Student developed digital video projects. *Australasian Journal of Educational Technology, 22*(2). <https://doi.org/10.14742/ajet.1298>
- Kearney, M. (2011). A learning design for student-generated digital storytelling. *Learning, Media and Technology, 36*(2), 169–188. <https://doi.org/10.1080/17439884.2011.553623>
- Kearney, M. (2013). Learner-generated digital video: Using ideas videos in teacher education. *Journal of Technology and Teacher Education, 21*(3), 321–336.
- King, A. (1998). Transactive peer tutoring: Distributing cognition and metacognition. *Educational Psychology Review, 10*, 57–74. <https://doi.org/10.1023/A:1022858115001>
- Kobayashi, K. (2019a). Interactivity: A potential determinant of learning by preparing to teach and teaching. *Frontiers in Psychology, 9*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02755>. Article 2755.
- Kobayashi, K. (2019b). Learning by preparing-to-teach and teaching: A meta-analysis. *Japanese Psychological Research, 61*(3), 192–203. <https://doi.org/10.1111/jpr.12221>
- Kobayashi, K. (2021). Effects of collaborative versus individual preparation on learning by teaching. *Instructional Science, 49*, 811–829. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09561-6>
- Lachner, A., Hoogerheide, V., van Gog, T., & Renkl, A. (2022). Learning-by-teaching without audience presence or interaction: When and why does it work? *Educational Psychology Review, 34*, 575–607. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09643-4>
- Lachner, A., Jacob, L., & Hoogerheide, V. (2021). Learning by writing explanations: Is explaining to a fictitious student more effective than self-explaining? *Learning and Instruction, 74*, Article 101438. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101438>
- Lachner, A., Ly, K.-T., & Nückles, M. (2018). Providing written or oral explanations? Differential effects of the modality of explaining on students' conceptual learning and transfer. *Journal of Experimental Education, 86*(3), 344–361. <https://doi.org/10.1080/00220973.2017.1363691>
- Lawrie, G., & Bartle, E. (2013). Chemistry vlogs: A vehicle for student-generated representations and explanations to scaffold their understanding of structure-property relationships. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education, 21*(4), 27–45.
- Lee, M. J., McLoughlin, C., & Chan, A. (2008). Talk the talk: Learner-generated podcasts as catalysts for knowledge creation. *British Journal of Educational Technology, 39*(3), 501–521. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00746.x>

- Macdonald, D., & Hoban, G. F. (2009). Developing science content knowledge through the creation of slowmations. *The International Journal of Learning*, 16(6), 319–330.
- Magnifico, A. M. (2010). Writing for whom? Cognition, motivation, and a writer's audience. *Educational Psychologist*, 45(3), 167–184. <https://doi.org/10.1080/00461520.2010.493470>
- McClean, S., McCartan, K. G., Meskin, S., Gorges, B., & Hagan, W. P. (2016). Reflections on 'YouTestTube.com': An online video-sharing platform to engage students with chemistry laboratory classes. *Journal of Chemical Education*, 93(11), 1863–1870. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00045>
- Muis, K. R., Psaradellis, C., Chevrier, M., Di Leo, I., & Lajoie, S. P. (2016). Learning by preparing to teach: Fostering self-regulatory processes and achievement during complex mathematics problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 474–492. <https://doi.org/10.1037/edu0000071>
- Nestojko, J. F., Bui, D. C., & Kornell, N. (2014). Expecting to teach enhances learning and organization of knowledge in free recall of text passages. *Memory & Cognition*, 42(7), 1038–1048. <https://doi.org/10.3758/s13421-014-0416-z>
- Nielsen, W., Georgiou, H., Jones, P., & Turney, A. (2020). Digital explanation as assessment in university science. *Research in Science Education*, 50, 2391–2428. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9785-9>
- Nielsen, W., & Hoban, G. (2015). Designing a digital teaching resource to explain phases of the moon: A case study of preservice elementary teachers making a slowmation. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(9), 1207–1233. <https://doi.org/10.1002/tea.21242>
- Norton, P., & Hathaway, D. (2010). Video production as an instructional strategy: Content learning and teacher practice. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(1), 145–166.
- Olivier, J. (2019). Short instructional videos as multimodal open educational resources in a language classroom. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 28(4), 381–409.
- Palinkas, L. A., Horwitz, S. M., Green, C. A., Wisdom, J. P., Duan, N., & Hoagwood, K. (2015). Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation research. *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research*, 42, 533–544. <https://doi.org/10.1007/s10488-013-0528-y>
- Pirbhai-Illich, F., Turner, K. N., & Austin, T. Y. (2009). Using digital technologies to address Aboriginal adolescents' education. *Multicultural Education and Technology Journal*, 3(2), 144–162. <https://doi.org/10.1108/17504970910967573>
- Pirhonen, J., & Rasi, P. (2017). Student-generated instructional videos facilitate learning through positive emotions. *Journal of Biological Education*, 51(3), 215–227. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1200647>
- Reed, N., Metzger, Y., Kolbe, M., Zobel, S., & Boos, M. (2018). Unitizing verbal interaction data for coding: Rules and reliability. In E. Brauner, M. Boos, & M. Kolbe (Eds.), *The Cambridge Handbook of Group Interaction Analysis* (pp. 208–226). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316286302.012>
- Renkl, A. (1995). Learning for later teaching: An exploration of mediational links between teaching expectancy and learning results. *Learning and Instruction*, 5, 21–36. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)00015-H](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)00015-H)
- Ribosa, J., & Duran, D. (2021). Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: Conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas When scientific curiosity turns into a video tutorial for learning by teaching: Content knowledge, elaboration of the explanations, and complexity of the questions. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 85–101. <https://doi.org/10.35362/rie8724572>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022a). Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching. *Educational Research Review*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100475>. Article 100475.
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022b). Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field. *Education in the Knowledge Society*, 23. <https://doi.org/10.14201/eks.27443>. Article 27443.
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022c). Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity. *Research in Science & Technological Education*. <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2116419>. Advance online publication.
- Roscoe, R. (2014). Self-monitoring and knowledge building in learning by teaching. *Instructional Science*, 42(3), 327–351. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9283-4>
- Roscoe, R., & Chi, M. (2007). Understanding tutor learning: Knowledge-building and knowledge-telling in peer tutors' explanations and questions. *Review of Educational Research*, 77(4), 534–574. <https://doi.org/10.3102/0034654307309920>
- Roscoe, R., & Chi, M. (2008). Tutor learning: The role of explaining and responding to questions. *Instructional Science*, 36, 321–350. <https://doi.org/10.1007/s11251-007-9034-5>
- Ryan, B. (2013). A walk down the red carpet: Students as producers of digital video-based knowledge. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 5(1), 24–41. <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2013.055950>
- Schuck, S., & Kearney, M. (2006). Capturing learning through student-generated digital video. *Australian Educational Computing*, 21(1), 15–20.
- Schwartz, D. L., & Okita, S. (2004). *The productive agency in learning by teaching [Unpublished manuscript]*. school of education. Stanford University. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=f4e8c7a7c43bff1fb6f896cecc2435a5fd1b702c>.
- Soto, M. (2015). Elementary students' mathematical explanations and attention to audience with screencasts. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(4), 242–258. <https://doi.org/10.1080/15391523.2015.1078190>
- Steinmetz, J., & Pfattheicher, S. (2017). Beyond social facilitation: A review of the far-reaching effects of social attention. *Social Cognition*, 35(5), 585–599. <https://doi.org/10.1521/soco.2017.35.5.585>
- Urstad, K. H., Ulfsby, K. J., Brandeggen, T. K., Bodsberg, K. G., Jensen, T. L., & Tjøflåt, I. (2018). Digital storytelling in clinical replacement studies: Nursing students' experiences. *Nurse Education Today*, 71, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2018.09.016>
- Yu, F. Y. (2011). Multiple peer-assessment modes to augment online student question-generation processes. *Computers and Education*, 56(2), 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.08.025>
- Zajonc, R. B. (1966). *Social psychology: An experimental approach*. Wadsworth.

3. Resum de resultats i discussió

Hi ha molts estudis diferents que analitzen la creació de materials didàctics per part d'estudiants (Ribosa & Duran, 2022c). Crear materials didàctics és beneficiós per a l'aprenentatge del contingut que els estudiants ensenyen, però cal tenir en compte alguns factors moderadors (Ribosa & Duran, 2022a). Tot i que l'efecte sembla estable a les diferents àrees de coneixement i etapes educatives, pocs estudis han analitzat intervencions a educació primària (Ribosa & Duran, 2022a, 2022c). Per aquest motiu, es va planificar, implementar i avaluar una intervenció educativa basada a *aprensensyar* de forma indirecta a educació primària. Els resultats mostren que els estudiants elaboren el contingut i milloren el coneixement sobre les preguntes que formulen, a partir de les quals creen els videotutorials (Ribosa & Duran, 2021b, 2022d), tot pensant en l'audiència mentre ho fan (Ribosa & Duran, 2023c). No obstant això, també s'identifiquen alguns problemes (Ribosa & Duran, 2021b, 2022d, 2023c). En aquest apartat, s'hi resumeixen els resultats i la discussió dels articles publicats, a partir dels dos objectius de la tesi doctoral.

3.1. Primer objectiu: Revisar la literatura sobre la creació de materials didàctics per part d'estudiants

A la revisió panoràmica (Ribosa & Duran, 2022c), l'anàlisi de 280 articles mostra que es poden identificar quatre grups principals de materials didàctics: audiovisuals, preguntes, textos i jocs educatius. L'elevat grau de diversitat, tant entre els grups com dins de cada grup, es troba en línia amb les revisions anteriors (Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018; Snelson, 2018; Winslett, 2014). En els últims anys, s'ha produït un augment important del nombre de publicacions, especialment en el cas dels materials audiovisuals i les preguntes. La majoria d'estudis provenen d'educació superior, especialment de l'àrea de ciències socials, seguida de ciències aplicades i ciències naturals. Adopten principalment dissenys d'investigació descriptiva; els estudis de casos, els mètodes mixtos i els dissenys quasi-experimentals els segueixen de lluny.

Els estudis recopilen informació a partir de la creació del producte, l'ús del producte, la percepció dels participants i els resultats d'aprenentatge. La

percepció dels participants és la font d'informació més freqüent, seguida de la creació del producte (i. e., l'anàlisi del producte i del procés de creació). Aquestes dues fonts també havien estat identificades per Snelson (2018). Els resultats d'aprenentatge, mesurats principalment a través de puntuacions de tests, són la tercera font d'informació més freqüent, reportada també per Farrokhnia et al. (2020) i Reyna i Meier (2018). La font menys freqüent té a veure amb l'ús del producte, i no s'havia identificat com a font d'informació en revisions anteriors. No obstant això, l'ús del producte és informatiu per a la pràctica sostinguda d'*aprensensyar* de forma indirecta en contextos naturals, a causa de la rellevància de l'expectativa d'ensenyar per al creador del material (Bargh & Schul, 1980; Kobayashi, 2019a, 2019b) i de la possibilitat de compartir el rol docent amb els estudiants (Duran, 2016; Hamer et al., 2008).

Els estudis proporcionen informació sobre el coneixement del contingut de l'àrea en qüestió, les competències transversals, les emocions acadèmiques i la implicació, tant per al creador com per a l'usuari. Les revisions anteriors també havien identificat resultats d'aprenentatge referents a la cognició i a la motivació, així com a coneixements específics del camp i a habilitats generals (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018; Snelson, 2018). És convenient assenyalar que els estudiants poden moure's entre els rols de creador i d'usuari, ja que poden crear i emprar materials generats pels companys, poden participar en pràctiques d'avaluació entre iguals, i els estudiants de cohorts successives poden fer servir materials generats per estudiants d'anys anteriors com a models i recursos d'aprenentatge.

Als 280 articles, els autors recorren a diferents línies argumentals per tal d'interpretar els resultats, que es poden agrupar en nou explicacions: aprenentatge actiu, efecte audiència, construcció de coneixement, aprendre ensenyant, processos de motivació, aprenentatge entre iguals, el paper de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC), els suports o bastida, i l'efecte de la pràctica i el temps a la tasca. L'aprenentatge actiu, els processos de motivació, el paper de les TIC i la construcció de coneixement són les explicacions més destacades per al creador del material, mentre que l'aprenentatge entre iguals, el paper de les TIC i els processos de motivació són les més destacades per a l'usuari. Sorprenentment, les dues explicacions menys freqüents tenen a veure amb *aprensensyar* i l'efecte audiència, explicacions que

podrien contribuir a la planificació i implementació efectives d'aquesta mena d'intervencions (Duran & Topping, 2017).¹⁸

A la metaanàlisi (Ribosa & Duran, 2022a), es va posar el focus en els resultats d'aprenentatge sobre el contingut de l'àrea en qüestió.¹⁹ En línia amb metaanàlisis prèvies sobre *aprensenyar* de forma indirecta o no interactiva (Kobayashi, 2019b; Lachner et al., 2021), els resultats confirmen que els estudiants que creen materials didàctics milloren el coneixement del contingut que ensenyen a través d'aquests materials ($SMD = 0,17$). Sembla que no hi ha biaix de publicació pel que fa a l'any de publicació i al disseny d'investigació. A més, l'efecte sembla estable en totes les etapes educatives i àrees de coneixement. No obstant això, hi ha un grau elevat d'heterogeneïtat als resultats dels estudis.

Tres variables poden ajudar a explicar aquest alt grau d'heterogeneïtat: la modalitat del producte, l'accés al material d'estudi original i el tipus de grup control. Quant a la modalitat del producte, els resultats suggereixen que no només la creació de materials orals (Lachner et al., 2021) sinó també la generació de materials visuals supera la creació de materials escrits, amb diferències estimades superiors a 0,60. L'efecte de crear materials audiovisuals i visuals pot estar relacionat amb l'activitat generativa de traduir el material d'estudi —que normalment es troba en format escrit— a una o més formes de representació, inclosa la generació de representacions espacials (Fiorella & Mayer, 2016). En el cas dels materials textuais (i. e., preguntes i textos), es poden afegir possibles millores a aquesta mena d'intervencions per tal d'augmentar-ne l'efecte sobre els resultats d'aprenentatge, com ara el modelatge, els suports ajustables i l'avaluació entre iguals (e. g., Rijlaarsdam et al., 2006; Yu & Yang, 2014). Pel que fa a l'accés al material d'estudi original, tenir-hi accés mentre es crea el material didàctic pot reduir l'efecte sobre l'aprenentatge del contingut, amb una diferència estimada de $-0,337$ en comparació de no tenir-hi accés. És probable que tenir accés al material d'estudi quan es crea el material didàctic dificulti l'elaboració i l'evocació (Kobayashi, 2022b; Koh et al., 2018). En referència al tipus de grup de control, l'efecte de crear materials didàctics és diferent si es

¹⁸ Els resultats preliminars de la revisió panoràmica van presentar-se al congrés EARLI 2021 (Ribosa & Duran, 2021a). També es va publicar un fil de Twitter en català, per a la divulgació científica (Ribosa, 2022).

¹⁹ Per a la divulgació científica, es va publicar un article curt a UABDivulga, en català, castellà i anglès (Ribosa & Duran, 2023a).

compara amb intervencions no beneficioses o amb intervencions que s'espera que siguin beneficioses, amb una diferència estimada de 0,305 a favor de la comparació amb intervencions no beneficioses. Per tant, cal tenir en compte la distinció entre diferents tipus de grups de control a l'hora de dissenyar els estudis de recerca i d'interpretar-ne els resultats (Willingham & Daniel, 2021).

3.2. Segon objectiu: Planificar, implementar i avaluar una proposta d'intervenció pràctica basada a *aprensenyar* de forma indirecta a educació primària

La proposta d'intervenció s'anomena Projecte Bikos. Proposa que parelles d'estudiants creïn un videotutorial per a respondre una pregunta sobre el món, per tal que altres persones també puguin aprendre'n la resposta. Les preguntes sorgeixen de la pròpia curiositat científica dels estudiants. Els vídeos es penjen a Edpuzzle (<https://edpuzzle.com/>), fet que ofereix una audiència potencial a la xarxa.²⁰ Els estudiants treballen en parella amb dos rols complementaris: responsable de contingut i responsable tecnològic. Es duen a terme dues rondes de creació de videotutorials, amb l'intercanvi de rols entre les dues rondes. Cada ronda consta de cinc etapes: 1) definició de la pregunta, 2) coneixements previs, 3) cerca d'informació, 4) elaboració del guió i 5) producció del vídeo. Dos materials ajuden els estudiants a estructurar l'activitat conjunta: una guia de rols i un full d'activitat (Ribosa & Duran, 2023b).²¹

Els resultats del pretest-posttest mostren que els estudiants milloren significativament el nivell de coneixement específic sobre les preguntes que aborden als videotutorials, amb una mida de l'efecte gran (d de Cohen = 1,09) (Ribosa & Duran, 2021b, 2022d).²² La completesa de la informació, la veracitat, el grau de detall i l'expertesa mostren millores significatives, mentre que la pertinença no mostra canvis significatius, i la comprensibilitat disminueix significativament. El caràcter obert dels processos de lectura a la xarxa (Coiro & Dobler, 2007) pot explicar l'absència de canvis en la pertinença, i la major

²⁰ En el futur, si el projecte es pot implementar a escoles any rere any, es podrà organitzar una selecció dels videotutorials resultants a una plataforma virtual, en forma de comunitat d'aprenentatge. Un prototip del web en català es pot consultar a l'enllaç següent: <https://programabikos.wixsite.com/grai>

²¹ La descripció i els resultats preliminars del projecte s'han presentat a diferents congressos (Ribosa & Duran, 2020a, 2020b, 2022b, 2023d).

²² Es repliquen els resultats quan s'analitzen per separat les dades de la primera i de la segona ronda de creació de vídeos ($p < ,001$; d de Cohen = 1,443 i 0,825, respectivament).

extensió de les respostes del posttest pot explicar la disminució de la comprensibilitat.

Els estudiants perceben aquestes millores en el coneixement específic sobre les preguntes, així com en altres àrees d'aprenentatge que no van ser avaluades objectivament a l'estudi, incloses les relacionades amb la cerca d'informació i l'ús d'eines digitals (Ribosa & Duran, 2022d). Quan se'ls pregunta a què atribueixen l'aprenentatge, valoren especialment la possibilitat d'elecció sobre la pregunta que volien indagar, fet que podria haver generat un alt grau de motivació inicial (Loyens et al., 2008).²³ Pel que fa a la valoració de la intervenció per part dels estudiants, valoren positivament les tecnologies digitals, l'aprenentatge cooperatiu i l'aprenentatge sobre les pròpies preguntes, mentre que la dedicació de temps i les dificultats a l'hora de cercar informació i d'enregistrar la narració del vídeo es destaquen com a aspectes negatius del projecte. Ja s'havien reportat qüestions semblants a la literatura existent, tal com s'indica a la revisió panoràmica (Ribosa & Duran, 2022c).

A partir de les transcripcions, l'anàlisi dels videotutorials generats pels estudiants suggereix que una mitjana del 62,52% ($SD = 24,72$) de la informació proporcionada als vídeos es troba prou elaborada, ja que no va ser identificada pels detectors de plagi (Ribosa & Duran, 2021b). No obstant això, l'ús d'aquesta mena de programari va ser exploratori. Per tant, aquests resultats s'han d'interpretar amb precaució, tenint en compte les limitacions dels detectors de plagi. Pel que fa a les preguntes interactives de comprensió que els estudiants afegeixen per a l'audiència al llarg del videotutorial, el 88,97% de les 145 preguntes només impliquen recordar la informació, el nivell més baix de la versió revisada de la taxonomia de Bloom (Anderson & Bloom, 2001). Les intervencions futures hauran de considerar estratègies de modelatge i de suport, ja que altres estudis sobre preguntes generades per estudiants també reporten una majoria de preguntes de nivell baix (e. g., Barbour et al., 2009; Siko, 2013).

Tot i que les preguntes de comprensió per a l'audiència eren de nivell baix, sembla que són rellevants des de la perspectiva de la presència social. Les referències personals dins dels videotutorials, així com les accions verbals que fan referència a l'audiència al llarg del procés de creació, indiquen que el fet que

²³ Tot i que és el responsable de contingut qui pren la iniciativa a l'hora de proposar i de triar la pregunta, anàlisis addicionals mostren que no hi ha diferències en el nivell de coneixement del contingut entre els dos rols, ni al pretest ($p = ,564$) ni al posttest ($p = 1,000$).

els estudiants creïn aquestes preguntes juga un paper important a l'hora d'induir sensació de presència social (Ribosa & Duran, 2023c). La proporció de referències personals és significativament superior a la part de preguntes (2,91%) que a la part audiovisual (1,73%) del videotutorial ($p < ,001$). Mentre que la part audiovisual és expositiva, les preguntes de comprensió són interactives, fet que pot generar que els estudiants pensin més sobre com l'audiència farà servir el material didàctic. Pel que fa a les accions verbals dels estudiants al llarg del procés de creació del videotutorial, 75 de les 108 accions verbals que fan referència a l'audiència provenen del moment en què els estudiants treballen en les preguntes de comprensió (i. e., quan creen la pregunta i les opcions de resposta, i anticipen les respostes i les accions de l'audiència). Anàlisis posteriors mostren que, de les 108 accions verbals, 58 es basen en la tasca (i. e., fan referència al procés de creació del vídeo o a les seves característiques) i 50 es basen en el contingut (i. e., fan referència al contingut de la pregunta).

Malgrat el paper de les preguntes de comprensió en l'increment de la sensació de presència social, només 13 dels 50 enunciats que es refereixen al contingut indiquen que es produeix construcció de coneixement. De la mateixa manera que Roscoe i Chi (2007) van reportar un biaix cap a la transmissió de coneixement en situacions de tutoria entre iguals, els resultats d'aquest estudi també assenyalen un biaix cap a la transmissió de coneixement en situacions que impliquen aprendre ensenyant a través de la creació de materials didàctics. Sembla que els estudiants no aprofiten al màxim les oportunitats de construcció de coneixement, tot i que la sensació de presència social pot tenir el potencial de generar episodis d'elaboració, tal com il·lustren aquests 13 enunciats. La literatura existent suggereix que la relació entre la presència social i els resultats d'aprenentatge és complexa i no lineal (e. g., Jacob et al., 2021; Lachner et al., 2022). Aquest estudi també mostra com l'atenció vers l'audiència pot fluctuar al llarg de la tasca, tal com indiquen les diferències entre etapes en la percepció reportada pels estudiants i en les referències personals que apareixen a la interacció (Ribosa & Duran, 2023c). Sembla que les etapes inicials del procés de creació del vídeo (i. e., preparar el contingut per a ensenyar-lo posteriorment) generen una menor sensació de presència social que les etapes posteriors (i. e., planificar i crear el vídeo). A la secció següent, s'hi assenyalen possibles accions per a solucionar les qüestions reportades.

Summary of findings and discussion

There are many different studies that analyse student creation of teaching materials (Ribosa & Duran, 2022c). Creating teaching materials is beneficial for students' learning about the content they teach, but some moderating factors must be considered (Ribosa & Duran, 2022a). Although the effect seems stable across subject areas and educational stages, few studies have analysed interventions in primary education (Ribosa & Duran, 2022a, 2022c). For this reason, an educational intervention based on learning by indirect teaching in primary education was planned, implemented, and assessed. Results show that students elaborate on the content and improve their knowledge about the questions they formulate, from which they create the video tutorials (Ribosa & Duran, 2021b, 2022d), thinking about the audience while doing so (Ribosa & Duran, 2023c). However, some issues are identified as well (Ribosa & Duran, 2021b, 2022d, 2023c). In this section, the findings and discussion of the published articles are summarised based on the two aims of the doctoral thesis.

First aim: To review the literature on student-generated teaching materials

In the scoping review (Ribosa & Duran, 2022c), the analysis of 280 articles shows that four main groups of teaching materials can be identified: audio-visual, questions, texts, and educational games. The high degree of diversity, both between and within each group, is in line with prior literature reviews (Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018; Snelson, 2018; Winslett, 2014). In recent years, there has been a sharp increase in the number of publications, especially in audio-visual materials and questions. Most studies come from higher education, especially from the area of social sciences, followed by applied sciences and natural sciences. They mainly adopt descriptive research designs, with case studies, mixed methods, and quasi-experimental designs following far behind.

The studies gather information from product creation, use of the product, participants' perceptions, and learning outcomes. Participants' perceptions are the most frequent source of information, followed by product creation (i.e., product and process analysis). These two sources had also been identified by Snelson (2018). Learning outcomes, mainly measured through test scores, are

the third source of information in terms of frequency, and they had also been reported by Farrokhnia et al. (2020) and Reyna and Meier (2018). The least frequent source has to do with the use of the product, and it had not been identified as a source of information in prior reviews. However, the use of the product is informative for the sustained practice of learning by indirect teaching in natural contexts, given the relevance of teaching expectancy for the material creator (Bargh & Schul, 1980; Kobayashi, 2019a, 2019b) and the possibility of sharing the teaching role with students (Duran, 2016; Hamer et al., 2008).

The studies provide information on subject matter knowledge, cross-curricular competencies, academic emotions, and engagement, both for the creator and user. Prior reviews had also identified both cognitive and motivational learning outcomes, as well as domain-specific knowledge and domain-general skills (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Reyna & Meier, 2018; Snelson, 2018). It is worth noting that students may shift between the roles of creator and user, as they can both create and use peer-generated materials, they may be involved in peer assessment, and students from successive cohorts can use peer-generated materials both as learning resources and models.

In the 280 articles, the authors use different lines of argument to interpret the findings, which can be grouped into nine explanations: active learning, audience effect, knowledge-building, learning by teaching, motivational processes, peer learning, the role of Information and Communications Technology (ICT), scaffolding, and time-on-task and practice effect. Active learning, motivational processes, the role of ICT, and knowledge-building are the most prominent explanations for the material creator, while peer learning, the role of ICT, and motivational processes are the most salient ones for the user. Surprisingly, the two least frequent explanations have to do with learning by teaching and audience effect, which could contribute to the effective planning and implementation of this kind of interventions (Duran & Topping, 2017).²⁴

In the meta-analysis (Ribosa & Duran, 2022a), the focus was on the learning outcomes referring to the subject matter.²⁵ In line with prior meta-analyses on

²⁴ Preliminary findings of the scoping review were presented at the EARLI 2021 Conference (Ribosa & Duran, 2021a). A Twitter thread in Catalan was also published for scientific dissemination (Ribosa, 2022).

²⁵ For scientific dissemination, a short article was published in UABDivulga, in Catalan, Spanish, and English (Ribosa & Duran, 2023a).

learning by indirect or non-interactive teaching (Kobayashi, 2019b; Lachner et al., 2021), the findings confirm that the students creating teaching materials do improve their knowledge of the subject matter they teach through those materials ($SMD = 0.17$). There seems to be no publication bias in terms of the year of publication and the research design. Moreover, the effect seems stable across educational stages and content areas. However, there is a high degree of heterogeneity between study outcomes.

Three variables may help explain this high degree of heterogeneity: product modality, access to the study material, and type of control group. As for the product modality, the findings suggest that not only creating oral materials (Lachner et al., 2021) but also generating visual materials outperforms creating written materials, with estimated differences above 0.60. The effect of creating audio-visual and visual materials may be related to the generative act of translating the usual text-based study material into one or more forms of representation, including the generation of spatial representations (Fiorella & Mayer, 2016). In the case of textual materials (i.e., questions and texts), possible improvements can be added to this kind of interventions in order to boost their effect on the learning outcomes, such as modelling, scaffolding, and peer assessment (e.g., Rijlaarsdam et al., 2006; Yu & Yang, 2014). As for the access to the study material (i.e., referred to as source material in the meta-analysis), having access to it when creating the teaching material can hinder the effect on subject-matter learning, with an estimated difference of -0.337 when compared to having no access to it. It is likely that having access to the study material when creating the teaching material hinders elaboration and retrieval practice (Kobayashi, 2022b; Koh et al., 2018). As for the type of control group, the effect of creating teaching materials is different when compared to nonbeneficial interventions or to other expected beneficial interventions, with an estimated difference of 0.305 in favour of the comparison to nonbeneficial interventions. Thus, the distinction between different kinds of control groups needs to be considered when designing the research studies and interpreting their findings (Willingham & Daniel, 2021).

Second aim: To plan, implement, and assess an intervention proposal based on learning by indirect teaching in primary education

The intervention proposal is called Bikos Project. It proposes that pairs of students create a video tutorial to answer a question about the world so that

other people can learn it too. These questions arise from their scientific curiosity. The videos are uploaded to Edpuzzle (<https://edpuzzle.com/>), providing a potential audience on the internet.²⁶ Students work in pairs with two complementary roles: responsible for content and responsible for technology. Two rounds of video tutorial creation are carried out, exchanging the roles between rounds. Each round consists of five stages: 1) definition of the question, 2) prior knowledge, 3) information searching, 4) script elaboration, and 5) video production. Two materials help students structure their joint activity: a role guide and an activity sheet (Ribosa & Duran, 2023b).²⁷

Pretest-posttest results show that students significantly improve their level of specific knowledge about the questions addressed in their video tutorials, with a large effect size (Cohen's $d = 1.09$) (Ribosa & Duran, 2021b, 2022d).²⁸ Completeness of information, veracity, degree of detail, and expertise show significant improvements, while relevance does not show significant changes, and comprehensibility decreases significantly. The open nature of the reading processes on the internet (Coiro & Dobler, 2007) may explain the absence of changes in terms of relevance, and the lengthier posttest answers may explain the decrease in terms of comprehensibility.

Students perceive these improvements in specific knowledge about the questions, as well as in other areas of learning that were not objectively assessed in the study, including those related to information searching and the use of digital tools (Ribosa & Duran, 2022d). When students are asked what they attribute their learning to, they especially value the possibility of choosing the question they wanted to inquire into, which may have generated a high degree of initial motivation (Loyens et al., 2008).²⁹ As for students' evaluation of the intervention, they positively value digital technologies, cooperative learning, and learning about their questions, whereas time investment and difficulties

²⁶ In the future, if the project can be implemented in schools year after year, a selection of the resulting video tutorials can be organised in a virtual platform in the form of a learning community. A prototype of the website in Catalan can be consulted at the following link: <https://programabikos.wixsite.com/grai>

²⁷ The description and preliminary findings of the project were presented at different conferences (Ribosa & Duran, 2020a, 2020b, 2022b, 2023d).

²⁸ The findings are replicated when separately analysing data from the first and second round of video creation ($p < .001$; Cohen's $d = 1.443$ and 0.825 , respectively).

²⁹ Although it is the responsible for content who takes the initiative in proposing and choosing the question, additional analyses show that there are no differences in terms of subject-matter knowledge between roles in the pretest ($p = .564$) and posttest ($p = 1.000$).

when searching for information and recording the voice-over are highlighted as negative aspects of the project. Similar issues had already been reported in the extant literature, as indicated in the scoping review (Ribosa & Duran, 2022c).

Based on the transcripts, the analysis of the student-generated video tutorials suggests that an average of 62.52% ($SD = 24.72$) of the information provided in the videos is sufficiently elaborated, as it was not detected by plagiarism checkers (Ribosa & Duran, 2021b). However, the use of this kind of software was exploratory. Thus, these findings should be interpreted with caution, considering the limitations of plagiarism checkers. As for the interactive comprehension questions that students add for the audience throughout the video tutorial, 88.97% of the 145 questions only involve remembering the information, which is the lowest level from the revised version of Bloom's taxonomy (Anderson & Bloom, 2001). Future interventions may need to consider modelling and scaffolding strategies, given that other studies on student-generated questions also reported a majority of low-level questions (e.g., Barbour et al., 2009; Siko, 2013).

Although the comprehension questions for the audience were low-level, they seem to be relevant from the perspective of social presence. Both personal references in the video tutorials and audience-based verbal actions throughout the creation process indicate that having students create these questions plays an important role in inducing feelings of social presence (Ribosa & Duran, 2023c). The proportion of personal references is significantly higher in the question part (2.91%) than in the audio-visual part (1.73%) of the video tutorial ($p < .001$). While the audio-visual part is expository, comprehension questions are interactive, which may make students think more about how the audience is going to engage with the teaching material. As for students' verbal actions throughout the video creation process, 75 out of 108 audience-based verbal actions come from students working on the comprehension questions (i.e., creating the question and response options, and anticipating the audience's answers and actions). Further analyses show that, out of the 108 verbal actions, 58 are task-based (i.e., refer to the video creation process or video features) and 50 are content-based (i.e., refer to the content of the question).

Despite the role of comprehension questions in enhancing the feelings of social presence, only 13 out of the 50 content-based utterances indicate knowledge-building. Just like Roscoe and Chi (2007) reported a knowledge-telling bias in

peer tutoring, the findings of this study also point to a knowledge-telling bias in situations that involve learning by creating teaching materials. It seems that students do not make the most of the knowledge-building opportunities, although feelings of social presence may have the potential to trigger elaboration, as illustrated by those 13 utterances. Extant literature suggests that the relationship between social presence and learning outcomes is complex and non-linear (e.g., Jacob et al., 2021; Lachner et al., 2022). This study also shows how attention to the audience can fluctuate throughout the task, based on the differences between stages in terms of self-reported perception and personal references in student interaction (Ribosa & Duran, 2023c). It seems that the initial stages of the video creation process (i.e., preparing the content for later teaching) elicit lower feelings of social presence than the later stages (i.e., planning and creating the video). Possible actions for tackling the reported issues are provided in the next section.

4. Conclusions

Els estudiants poden aprendre ensenyant quan creen materials didàctics per a altres persones. Així ho mostren les evidències provinents de la revisió de la literatura i de la implementació de la proposta pràctica a educació primària. Tanmateix, cal tenir en compte les condicions que potencien o limiten l'efecte d'aquesta mena d'intervencions. Recerca i pràctica han de treballar braç a braç per tal d'avançar conjuntament (e. g., Joyce & Cartwright, 2020; Sjölund et al., 2022; Slavin, 2020). En aquest apartat final, s'hi presenten les contribucions i limitacions de la tesi doctoral per a cadascun dels objectius, i s'hi assenyalen també les línies futures de recerca que se'n desprenen.

4.1. Primer objectiu: Revisar la literatura sobre la creació de materials didàctics per part d'estudiants

4.1.1. Contribucions i limitacions

El concepte d'aprendre creant materials didàctics (i. e., aprendre ensenyant a través de la creació de materials didàctics) pretén aglutinar les diferents línies de recerca que plantegen intervencions basades en aquesta activitat, i que s'hi han referit fins ara amb noms diversos. La revisió panoràmica de la literatura mostra que molt pocs estudis fan servir explícitament el concepte de *learning by teaching* (Ribosa & Duran, 2022c). De fet, només al camp d'*aprensenyar*, s'han fet servir dos conceptes propers: ensenyament indirecte i ensenyament no interactiu. El primer fa referència a les situacions d'ensenyament en què l'explicació es fa a través d'una lliçó en vídeo, d'explicacions escrites o d'altres mitjans indirectes, en lloc de fer-ho cara a cara (Kobayashi, 2019a). El segon concepte, a més d'excloure la presència o interacció de l'audiència, exclou la interacció amb altres persones durant la preparació del contingut o l'elaboració del producte (Lachner et al., 2022). Els dos se centren en dos tipus de productes concrets (i. e., exposicions orals enregistrades en àudio o vídeo, i exposicions escrites), tot i que el mateix Kobayashi (2019a) obre la definició a altres mitjans. A la pràctica, aquests dos conceptes fan referència a intervencions en què els

estudiants creen materials didàctics. A parer nostre, aquesta denominació en facilita la comprensió i la connexió amb la pràctica educativa.

Primerament, el concepte d'aprendre creant materials didàctics uneix la línia de recerca sobre *aprensensyar*, provinent de la psicologia de l'educació, amb la resta d'estudis provinents de la recerca educativa. Al seu torn, el concepte serveix per a aplegar aquest segon grup d'estudis sota un paraigua conceptual comú, ja que sovint es tracta d'estudis dispersos que, a tot estirar, se situen dins de marcs teòrics generals, com ara l'aprenentatge actiu, el constructivisme o el construccionisme. El concepte pretén integrar també les aportacions de revisions anteriors, centrades en diversos tipus de productes i àrees de coneixement concretes (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Hava & Cakir, 2017; Reyna & Meier, 2018; Snelson, 2018). En el pla teòric, aquesta proposta conceptual reforça altres aproximacions teòriques properes, com ara la *contributing student pedagogy* (Hamer et al., 2008, 2012), que posa èmfasi en la participació dels estudiants com a creadors i usuaris de recursos d'aprenentatge. A parer nostre, un marc conceptual compartit pot ajudar a avançar la recerca i la pràctica d'aquestes diferents línies. Alguns estudis recents, provinents de la recerca educativa, ja fan servir aquest concepte i citen la meta-anàlisi (Ribosa & Duran, 2022a) per a fonamentar la intervenció o per a interpretar-ne els resultats (Fung & Poon, 2022; Mamakli et al., 2023; Paredes-Velasco et al., 2022).

Les dues revisions d'aquesta tesi doctoral han generat també interès dins del camp d'*aprensensyar* (Fiorella, 2023; Kobayashi, 2023). Kobayashi (2023) hi dedica un article d'opinió en què reconeix l'interès del concepte per a aquest camp de recerca, però alhora assenjala dos problemes conceptuals de la meta-anàlisi.³⁰ Primerament, l'autor considera que el criteri d'inclusió referent a la intencionalitat d'ensenyar es trivialitza, ja que no s'aplica de forma prou estricta. Segons Kobayashi (2023), quatre dels articles que s'hi inclouen no informen els estudiants abans de la pràctica que els materials que creïn podrien ser usats per altres persones com a recurs d'aprenentatge, ni comproven si els creen amb la intenció d'ensenyar (Chang et al., 2010; Erdmann & March, 2014; Hoogerheide, Staal, et al., 2019; Hsu & Wang, 2018). A parer nostre, almenys en tres dels quatre articles hi ha indicadors suficients per a considerar que l'estudi pretén generar la intencionalitat d'ensenyar. Dos dels articles assignen el rol d'ensenyant als

³⁰ Vaig ser convidat per l'editor a revisar l'article.

estudiants en demanar-los que creïn preguntes o exercicis per a companys reals o ficticis (Hoogerheide, Staal, et al., 2019; Hsu & Wang, 2018). Erdmann i March (2014) demanen als estudiants que creïn un vídeo per a una audiència indefinida, en què ensenyin pas a pas com es duu a terme una tècnica de laboratori, i que el pengin a YouTube —tot i que permeten fer-lo privat. En el cas del quart article (Chang et al., 2010), en un dels dos grups d'intervenció, es pot considerar que els companys esdevenen els destinataris de les animacions, ja que aquest grup participa en una fase d'avaluació entre iguals. Els autors fan referència a l'esforç dels estudiants per a crear animacions que siguin entenedores per als altres, ja que els companys posteriorment les veuran i les avaluaran. No obstant això, és cert que a l'altre grup d'intervenció —que també s'inclou a la meta-anàlisi— no es duu a terme aquesta fase d'avaluació entre iguals, ni tampoc es defineix explícitament una audiència fictícia per a les animacions. L'article es limita a indicar que les animacions hauran de servir per a mostrar fenòmens químics, i són els mateixos alumnes els qui hauran d'interpretar-les. En resum, considerem que aquesta primera crítica de Kobayashi (2023) només seria aplicable a un dels grups d'intervenció de l'estudi de Chang et al. (2010). Per tant, afectaria una de les seixanta-dues comparacions que s'inclouen a la meta-anàlisi. Compartim amb l'autor la concepció que la intencionalitat d'ensenyar és un element clau de la definició del concepte, tal com suggereixen els criteris d'inclusió de les dues revisions (Ribosa & Duran, 2022a, 2022c). A parer nostre, la limitació principal de molts estudis, també dins del camp d'*aprensenyar* (e. g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2016), la genera el fet de plantejar audiències fictícies. És probable que aquest tipus d'audiència comprometi la intencionalitat real d'ensenyar, tot i que alguns estudis mostren que aquesta situació fictícia podria ser suficient per a generar millors resultats d'aprenentatge (e. g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014).

La segona crítica de Kobayashi (2023) fa referència a la fase de preparació del contingut. L'autor assenyala que dos tipus de comparacions incloses a la meta-anàlisi serien problemàtiques per a estimar l'efecte de crear materials didàctics sobre l'aprenentatge. Específicament, segons Kobayashi (2023, p. 2), el problema el genera el fet que “la meta-anàlisi es basa en la suposició que els resultats d'estudiar per a ensenyar són exclosos de la creació de materials didàctics”. Així doncs, l'autor critica les comparacions que inclouen com a grup de control situacions en què els estudiants estudien el contingut amb l'expectativa d'ensenyar. Les discutim a continuació.

En primer lloc, Kobayashi (2023) considera problemàtiques les comparacions entre els grups de control d'expectativa d'ensenyar i els grups d'intervenció que creen un material didàctic després d'haver preparat el contingut amb aquesta expectativa (e. g., Fiorella & Mayer, 2014, Experiment 2; Hoogerheide et al., 2014, Experiments 1 i 2). Es tracta d'onze de les seixanta-dues comparacions totals de la meta-anàlisi. A parer nostre, encara que la preparació del contingut amb aquesta expectativa també pugui formar part del procés de creació d'un material didàctic, la comparació entre un grup que finalment crea un material didàctic (i. e., completa tot el procés) i un que es limita a preparar el contingut amb l'expectativa d'ensenyar pot ser apropiada per a estimar el valor addicional de crear el material, més enllà de preparar el contingut amb aquesta expectativa. És habitual que els estudis sobre *aprensensenyar* incloguin un grup de comparació basat en l'expectativa d'ensenyar (e. g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2016; Hoogerheide, Staal, et al., 2019). Cal assenyalar que a la meta-anàlisi aquests grups de control s'inclouen dins de la categoria d'intervencions alternatives beneficioses —que es distingeixen de les intervencions alternatives no beneficioses. Altres intervencions alternatives beneficioses, com ara l'evocació, també formen part de moltes pràctiques basades en la creació de materials didàctics, i molts estudis les afegeixen com a grup de comparació per a investigar-ne el valor afegit (e. g., Koh et al., 2018; Lachner et al., 2020).

En segon lloc, Kobayashi (2023) també considera problemàtic el tipus de comparació que es fa entre un grup de control d'expectativa d'ensenyar i un grup que crea el material didàctic després d'haver preparat el contingut sense aquesta expectativa (Fiorella & Mayer, 2014, Experiment 2; Hoogerheide et al., 2016, Experiment 1). Cal assenyalar que es tracta de dues de les seixanta-dues comparacions totals incloses a la meta-anàlisi. L'autor proposa que caldria excloure aquests grups d'intervenció del concepte d'aprendre creant materials didàctics. Segons Kobayashi (2023), haurien de formar part del concepte exclusivament les pràctiques en què la preparació del contingut també es fa amb l'expectativa d'ensenyar. Per contra, la nostra conceptualització era menys restrictiva i considerava aquelles intervencions en què els estudiants creen un material didàctic amb l'expectativa que una audiència real, potencial o fictícia el faci servir per a aprendre —independentment de si la preparació prèvia del contingut es fa amb o sense l'expectativa d'ensenyar. Es tracta d'una discussió pertinent. Assenyalàvem a la meta-anàlisi que el procés de creació d'un material

didàctic pot involucrar dues fases: una fase de preparació del contingut i una fase d'ensenyament indirecte (i. e., en què es genera el producte). Mentre que en situacions experimentals es tracta d'un procés lineal, en contextos naturals sovint les dues fases es barregen i es duen a terme de forma recursiva. És possible crear un material didàctic després d'haver preparat el contingut sense l'expectativa d'ensenyar —i, fins i tot, es pot intentar crear-lo sense haver preparat el contingut, només a partir dels coneixements previs. Aquesta última pràctica pot ajudar a formular judicis més precisos sobre la pròpia comprensió (Rozenblit & Keil, 2002). No obstant això, cal tenir en compte que el concepte que estem discutint se centra específicament en les possibilitats d'aprenentatge d'aquesta pràctica pel que fa al grau de domini del contingut que s'ensenya. Duran (2017) situa l'expectativa d'ensenyar com el primer dels estadis d'*aprensenyar*, i les evidències d'aquest camp suggereixen que preparar el contingut amb l'expectativa d'ensenyar pot contribuir a potenciar l'efecte de l'activitat d'ensenyament posterior (Lachner et al., 2022). Per tant, aquesta aportació de Kobayashi (2023) ens sembla encertada, i compartim amb l'autor la necessitat que el concepte d'aprendre creant materials didàctics consideri que no només cal preparar el contingut abans de generar el producte, sinó que cal fer-ho amb l'expectativa d'ensenyar.

Les dues revisions d'aquesta tesi doctoral pretenen contribuir a la delimitació del camp d'aprendre creant materials didàctics. Cal assenyalar que la presència d'estudis i línies de recerca tan disperses —que fan servir conceptes diferents— ha dificultat l'exhaustivitat de la revisió. Des de la publicació de les dues revisions, hem continuat trobant alguns articles que analitzen intervencions en què els estudiants aprenen ensenyant a través de la creació de materials didàctics, però que no havien estat localitzats abans (e. g., Kafai & Burke, 2015; Zahn et al., 2014).

Tal com hem indicat, els resultats mostren una gran heterogeneïtat pel que fa a les intervencions i als resultats d'aquestes intervencions (Ribosa & Duran, 2022a, 2022c). Quant a la diversitat d'intervencions, s'han identificat dos tipus de productes que no havien rebut fins ara gairebé cap atenció al camp d'*aprensenyar*: les preguntes de formats diversos i els jocs educatius. Un estudi dins del camp d'*aprensenyar* ja havia començat a explorar la creació de preguntes d'opció múltiple (Hoogerheide, Staal, et al., 2019). Tanmateix, la majoria d'estudis sobre aquest tipus de producte no provenen del camp d'*aprensenyar* (e. g., Doyle et al., 2021; Hardy et al., 2014; Yu, 2022). Respecte a la creació de jocs

educatiu per part dels estudiants, encara no n'hi ha cap estudi dins del camp d'*aprensenyar*. No obstant això, la línia de recerca sobre *serious games* —jocs usats o dissenyats per a l'ensenyament de continguts acadèmics— planteja els beneficis no només de jugar-hi (e. g., Connolly et al., 2012; Romero et al., 2015), sinó també de crear-los (e. g., Earp, 2015; Kafai & Burke, 2015; Vos et al., 2011).

Pel que fa a la diversitat de resultats, tres variables identificades a la meta-anàlisi n'ajuden a explicar l'elevat grau d'heterogeneïtat: la modalitat, l'accés al material d'estudi i el tipus de grup de control. En el cas de la modalitat, no només es confirma el que ja havien assenyalat estudis i revisions anteriors —el major potencial dels materials audiovisuals en comparació dels textuals— (Lachner et al., 2021), sinó que els resultats suggereixen que també els materials visuals superen els textuals. Tanmateix, cal assenyalar que l'efecte dels materials visuals es basa només en cinc comparacions provinents de tres estudis (Chang et al., 2010; Fiorella & Kuhlmann, 2020; Hsu & Wang, 2018), i que en un dels estudis els participants podien afegir també representacions textuals al material didàctic visual (Chang et al., 2010).

Per la seva banda, la identificació de les dues altres variables moderadores (i. e., l'accés al material d'estudi i el tipus de grup de control) fa una aportació rellevant al camp de recerca. Quant a l'accés al material d'estudi, cal assenyalar que els resultats de la meta-anàlisi no coincideixen amb els d'un estudi posterior de Sibley et al. (2022). Mentre que a la meta-anàlisi els resultats indiquen que no tenir accés al material d'estudi quan es crea el material didàctic pot ser beneficiós per a l'aprenentatge, els resultats de Sibley et al. (2022) suggereixen que tenir-hi accés permet generar exposicions més completes, fet que contribueix a una millor retenció del contingut. Aquests resultats aparentment contradictoris poden assenyalar que la clau rau en com es fa servir la possibilitat d'accés al material d'estudi: mentre que un mal ús pot limitar l'efecte de la intervenció sobre l'aprenentatge, un bon ús podria potenciar-lo. És probable que un dels elements essencials sigui que, a la fase de creació del material didàctic, els estudiants accedeixin al material d'estudi només quan sigui necessari (Waldeyer et al., 2020). Pel que fa al tipus de grup de control, cal assenyalar la necessitat de dissenyar acuradament grups de control que permetin interpretar amb precisió els resultats dels estudis (Willingham & Daniel, 2021).

4.1.2. Línies futures de recerca

D'aquest primer objectiu, se'n desprenen quatre línies futures de recerca. Les tres primeres tenen a veure amb les tres variables moderadores que acabem de revisar. En primer lloc, tal com mostra la revisió panoràmica (Ribosa & Duran, 2022c), hi ha una gran diversitat de productes que els estudiants poden crear com a materials didàctics: vídeos de tota mena, textos de diferents gèneres discursius, preguntes de formats diversos i jocs educatius. En el futur, la recerca sobre *aprensensyar* haurà d'examinar amb precisió l'efecte de cada modalitat sobre l'aprenentatge, més enllà de les exposicions escrites i l'enregistrament d'exposicions orals.

En segon lloc, l'efecte moderador de l'accés al material d'estudi sobre l'aprenentatge, identificat a la meta-anàlisi (Ribosa & Duran, 2022a), indica que cal continuar investigant quin és el paper de l'evocació en *aprensensyar*. La revisió de Kobayashi (2022b) i l'estudi de Sibley et al. (2022) són un bon punt de partida per a aquesta línia de recerca. També caldrà tenir en compte els estudis que exploren la combinació d'activitats generatives i evocadores (e. g., Roelle & Berthold, 2017; Waldeyer et al., 2020). Els resultats aparentment contradictoris entre la meta-anàlisi i l'estudi posterior de Sibley et al. (2022) assenyalen la necessitat d'analitzar com els estudiants fan servir el material d'estudi a l'hora de crear el material didàctic, així com les dificultats amb què es troben quan no hi tenen accés.

En tercer lloc, caldrà que els estudis sobre *aprensensyar* facin atenció al disseny acurat dels grups de comparació, tal com indica l'efecte moderador d'aquesta variable a la meta-anàlisi (Ribosa & Duran, 2022a). Es tracta d'un element clau per a mesurar amb precisió l'efecte de les intervencions i per a avançar en la comprensió dels mecanismes que expliquen el potencial d'*aprensensyar*.

En quart lloc, cal estendre a la comunitat acadèmica el debat conceptual sobre el concepte d'aprendre creant materials didàctics —i també sobre el marc general d'*aprensensyar* i la delimitació de les fases, estadis o situacions primàries, presentades a la introducció de la tesi doctoral. El mètode Delphi (Landeta, 2006), basat en el consens entre experts, podria ajudar a avançar en aquesta línia. Així mateix, seria pertinent crear fòrums estables que facilitessin el debat entre experts d'aquest camp —i de camps propers—, com ara un grup d'interès especial de la European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI). Finalment, els tesaurus podrien incloure mots específics per a fer

referència als conceptes del camp d'estudi. El terme *learning by teaching* encara no és recollit al tesaurus de l'ERIC ni al de la UNESCO, però cal assenyalar que al tesaurus de l'ERIC hi figura el concepte de *student developed materials*. L'ús d'un paraigua conceptual comú i de paraules clau compartides pot ajudar a connectar estudis i línies de recerca que actualment es troben aïllades d'altres pràctiques properes.

4.2. Segon objectiu: Planificar, implementar i avaluar una proposta d'intervenció pràctica basada a *aprensenyar* de forma indirecta a educació primària

4.2.1. Contribucions i limitacions

El desenvolupament del Projecte Bikos se suma al nombre reduït de propostes documentades que recullen evidències sobre la creació de materials didàctics per part dels estudiants a l'etapa d'educació primària. Se'n va identificar un total de vint-i-cinc a la revisió panoràmica (Ribosa & Duran, 2022c), de les quals onze plantegen la creació de materials audiovisuals (Ehret et al., 2016; Heath, 1996; Hoogerheide, Visee, et al., 2019; Muis et al., 2016; Penttilä et al., 2016; Soto, 2015; Tanner et al., 2008; Thibaut & Curwood, 2018; Toohey et al., 2015; Wong et al., 2010; Wong & Looi, 2010).

En aquesta tesi doctoral, les evidències provenen dels resultats d'aprenentatge dels alumnes en un pretest-posttest, així com de la seva percepció, dels productes que elaboren i del procés de creació. En el pla empíric i metodològic, poden assenyalar-se tres contribucions principals al camp d'*aprensenyar*. En primer lloc, l'elaboració i validació d'una rúbrica per a l'avaluació del pretest-posttest. El fet que els estudiants poguessin formular preguntes de temes diversos plantejava inicialment un repte per a l'avaluació de la tasca oberta de record que feien com a pretest i posttest. Aquesta rúbrica s'ha fet servir amb èxit per a avaluar les respostes dels estudiants sobre qualsevol tema, després de revisar alguna font d'informació de referència sobre cadascuna de les preguntes que s'avaluava. Tanmateix, cal tenir en compte les dificultats que pot generar la falta d'especificitat de la rúbrica pel que fa al contingut d'aprenentatge. En segon lloc, l'exploració inicial de l'ús d'eines de detecció de plagi per a determinar el grau d'elaboració de la informació que els estudiants presenten als vídeos, en línia amb altres estudis d'*aprensenyar* que fan servir eines automàtiques per a comptar el nombre de conceptes (Jacob et al., 2020, 2022; Sibley et al., 2022).

Tanmateix, cal tenir en compte les limitacions dels detectors de plagi, que sovint actuen de forma poc transparent i, fins i tot, poc fiable (Weber-Wulff, 2019). En tercer lloc, aquesta tesi doctoral inclou un estudi que contribueix a avançar en la línia de recerca sobre la hipòtesi de la presència social com a mecanisme d'*aprensnyar* (Ribosa & Duran, 2023c). Aquest estudi és el primer del camp que analitza com fluctua la sensació de presència social al llarg de la tasca, a través de mesures autoreportades i de l'anàlisi d'enregistraments de la interacció durant el procés de creació del material didàctic. A més, explora la relació parcial entre la sensació de presència social i la construcció de coneixement a través d'aquests enregistraments. En el pla de la pràctica educativa, la descripció i els materials de suport en català per a la implementació del Projecte Bikos es posen a disposició de la comunitat (Ribosa & Duran, 2023b).³¹

Cal indicar algunes limitacions respecte a l'avaluació de la proposta d'intervenció pràctica plantejada en aquesta tesi doctoral. Malgrat la participació dels estudiants en dues rondes del projecte i l'elevada mida de l'efecte al pretest-posttest, cal assenyalar com a limitacions el nombre reduït de participants i la manca de grup de control, així com la falta d'alineació entre el propòsit de la proposta i l'avaluació dels resultats d'aprenentatge. D'acord amb Schwartz, Lindgren i Lewis (2009), si un dels objectius de l'educació formal és oferir als estudiants una base de coneixements que els permeti construir nous coneixements fora de l'escola, caldria ajustar les proves d'avaluació per tal que mesuressin realment aquesta competència. Aquest seria també el propòsit de la proposta d'intervenció d'aquesta tesi doctoral. En canvi, l'avaluació al pretest-posttest no mesura la competència de construir nous coneixements —per exemple, en tasques posteriors de cerca d'informació a la xarxa—, sinó el record de la informació concreta sobre la pregunta que havien formulat. És per això que assenyallem com a limitació el desajust entre el propòsit de la proposta i l'avaluació dels resultats d'aprenentatge.

La planificació, la implementació i l'avaluació del Projecte Bikos pretenen contribuir a l'anàlisi del salt d'*aprensnyar* de forma indirecta a contextos naturals, especialment a educació primària i secundària, així com a l'anàlisi dels mecanismes que n'expliquen l'efectivitat. Es tracta d'una proposta complexa,

³¹ Amb algunes variacions, els materials de suport van ser traduïts primer a l'anglès i després al neerlandès per a la implementació d'una prova pilot del projecte a una escola de la ciutat de Gant, durant l'estada a la Universiteit Gent per a l'obtenció de la menció Doctor Internacional — amb una ajuda complementària de mobilitat.

que no només posa en joc el concepte d'*aprensenyar*, sinó també altres elements, com ara el treball en parella amb rols complementaris (i. e., aprenentatge cooperatiu), l'elecció de la pregunta que els estudiants volen indagar (i. e., aprenentatge autodirigit), la cerca d'informació a la xarxa i la creació d'un producte audiovisual (i. e., alfabetització digital). Es planteja una proposta altament estructurada, així com dues sessions de formació inicial per als estudiants, per tal d'afavorir que es desenvolupi amb èxit a les aules. El disseny de la proposta, juntament amb les limitacions anteriors sobre l'avaluació, ens duu de ple a un dels debats més destacats dels últims anys en l'àmbit de la psicologia de l'educació i la recerca educativa: el que sorgeix entre els partidaris de la instrucció explícita i els de l'ensenyament basat en la indagació (e. g., Tobias & Duffy, 2009).

De forma general, mentre que la instrucció explícita —o directa— posa èmfasi en l'explicació completa per part dels docents dels conceptes i les habilitats que han d'aprendre els estudiants abans d'oferir-los oportunitats de pràctica (Kirschner et al., 2006; Rosenshine, 2009), l'ensenyament basat en la indagació —o en problemes— posa èmfasi en la resolució de problemes situats i autèntics per part dels estudiants, amb suports ajustables en funció de les seves necessitats (Herman & Gomez, 2009; Hmelo-Silver, 2004). Així doncs, els dos plantejaments estan d'acord a oferir oportunitats de pràctica i en la importància de guiar la pràctica dels estudiants, tot i que sovint conceptualitzen les formes d'ajuda de maneres diferents (Clark, 2009; Wise & O'Neill, 2009). Una meta-anàlisi indica que la indagació sense guia és perjudicial per a l'aprenentatge, en comparació de la instrucció directa (Alfieri et al., 2011). En canvi, la indagació guiada sembla òptima per a l'aprenentatge, amb millors resultats que la resta d'intervencions, excepte els exemples treballats —que obtenen resultats semblants, i que són l'estendard dels partidaris de la instrucció explícita. Els autors de la meta-anàlisi assenyalen que dels seus resultats se'n desprèn que una intervenció educativa òptima ha d'incloure, pel cap baix, una de les característiques següents: tasques guiades amb suports ben situats; tasques que facin explicar als estudiants les seves idees, oferint feedback per a assegurar que són acurades, i tasques que ofereixin exemples treballats. Una meta-anàlisi posterior reforça la importància de la guia en l'ensenyament basat en la indagació (Lazonder & Harmsen, 2016).

La manca de grup de control i el desajust entre el propòsit i l'avaluació dels resultats d'aprenentatge limiten les contribucions de la tesi doctoral a aquest

debat. Tanmateix, les percepcions dels estudiants sobre la implementació del projecte i l'anàlisi de la interacció generen algunes reflexions pertinents.

D'una banda, sembla que els estudiants no només perceben millores en el coneixement sobre les preguntes, sinó també en altres continguts procedimentals. A més, la majoria d'estudiants valora positivament totes les fonts d'ajuda: la possibilitat de treballar al ritme de cada parella, els materials de suport, l'ajuda del docent, l'ajuda del company i, especialment, la possibilitat de triar la pregunta. Aquestes percepcions donarien suport a la riquesa de les situacions obertes d'aprenentatge basades en problemes autèntics, així com a la necessitat d'oferir suports de diferents tipus (Fletcher, 2009; Wise & O'Neill, 2009). D'acord amb Duffy (2009), en lloc del grau o el tipus d'ajuda que s'oferix als estudiants, la diferència entre els dos plantejaments (i. e., instrucció explícita i ensenyament basat en la indagació) podria raure en l'estímul per a l'aprenentatge: mentre que l'ensenyament basat en la indagació posa èmfasi a generar la necessitat d'aprendre en l'estudiant, la instrucció explícita no acostuma a tenir-ho en compte. Aquest és un element important del Projecte Bikos, que ofereix als estudiants l'oportunitat de triar la pregunta que volen indagar, fet que valoren molt positivament.

D'altra banda, els estudiants destaquen dificultats referents a la dedicació de temps, la cerca d'informació i l'enregistrament de la narració del vídeo. A més, sembla que no acostumen a aprofitar les oportunitats de construir coneixement que els ofereix el fet de pensar en l'audiència. Aquests dos punts suggereixen que caldria reforçar les ajudes que s'oferixen a l'hora de fer algunes tasques, potser en forma d'ensenyament explícit i d'activitats de pràctica altament guiades en diferents moments del projecte (Clark, 2009). Les tecnologies digitals poden ajudar els estudiants a aprendre de forma autodirigida, però el suport dels docents és imprescindible, tant pel que fa a la regulació del procés d'aprenentatge autodirigit com pel que fa a l'ús de les eines digitals (Morris & Rohs, 2021). El repte de l'alfabetització digital, recollit al currículum d'educació bàsica de Catalunya (Decret 175/2022), ha estat plantejat en nombrosos estudis i revisions (e. g., Bawden, 2001; Mills, 2010; Tinmaz et al., 2022; Van Laar et al., 2017). Sembla que els avenços actuals en intel·ligència artificial n'emfasitzen encara més la rellevància (e. g., Dwivedi et al., 2023; Krügel et al., 2022, 2023).

A l'hora de proposar tasques a l'aula, d'acord amb Duffy (2009), cal tenir en compte l'advertiment de Bereiter (2002). L'autor assenyala que, en situacions

obertes de resolució de problemes autèntics, es corre el risc que els estudiants dediquin massa temps a aspectes pràctics, en detriment de l'elaboració dels continguts conceptuals —o d'altres continguts centrals de la intervenció. En aquesta línia, tal com assenyala Mayer (2009), cal no confondre l'activitat mental amb l'activitat de comportament.

4.2.2. Línies futures de recerca

D'aquest segon objectiu, se'n desprenen quatre línies futures de recerca. En primer lloc, cal estendre la implementació del projecte a més centres educatius. Duffy (2009) adverteix que la complexitat de les propostes pot dificultar-ne la sostenibilitat un cop l'investigador es retira de l'aula. De fet, la implementació del Projecte Bikos als centres va aturar-se un cop finalitzada la recollida de dades de la tesi doctoral. Així doncs, caldrà explorar si és possible desenvolupar la proposta als centres de forma sostenible.

En segon lloc, quant a l'avaluació dels resultats d'aprenentatge, cal diversificar el tipus de proves que es fan servir, tenint en compte el propòsit de la proposta. No només caldria avaluar el conjunt d'efectes que pot generar la proposta —com ara els referents a l'alfabetització digital o a l'interès vers l'àrea de coneixement³²—, sinó que també caldria considerar les aportacions de Schwartz, Lindgren i Lewis (2009) sobre l'avaluació de la preparació per a aprenentatges futurs.

En tercer lloc, seria important comparar l'efectivitat de la proposta respecte a grups de control. Caldria tenir en compte els diferents tipus de grup de control que assenyalen Willingham i Daniel (2021): no només intervencions habituals que no s'espera que tinguin efecte en els resultats, sinó també intervencions alternatives de les quals hi ha evidències d'efectivitat, així com variants millorades de la mateixa intervenció. Aquestes diferents comparacions podrien ajudar a mesurar amb precisió l'efecte de la proposta, així com indicar alguns dels mecanismes que n'expliquen l'efectivitat.

En quart lloc, caldria analitzar la interacció dels estudiants des de perspectives diferents. Per exemple, seria important posar el focus en la construcció conjunta

³² A través de dos qüestionaris validats —Online Information Searching Strategy Inventory (Tsai, 2009), History Interest Inventory (Dan et al., 2013)—, es pretenia recollir dades pretest-posttest sobre les habilitats de cerca d'informació i l'interès vers l'àrea de coneixement abans i després de la implementació del projecte a l'escola de Gant. Tanmateix, no es va poder passar el posttest i, per tant, no s'ha pogut analitzar si la intervenció va generar canvis en aquests dos aspectes.

de coneixement (e. g., Kumpulainen & Wray, 2001; Mercer & Littleton, 2007) i en la regulació socialment compartida de l'aprenentatge —incloent-hi les emocions— (e. g., Isohätälä et al., 2017; Järvelä et al., 2019; Järvenoja et al., 2020; Panadero & Järvelä, 2015). Aquestes anàlisis podrien aportar resultats interessants sobre el paper dels diferents tipus d'ajudes de què disposen els estudiants, com ara el company, els materials de suport i el docent. Quant al company, les evidències mostren que, tot i l'efectivitat de l'aprenentatge cooperatiu (Johnson & Johnson, 2009), la pràctica és complexa (Sharan, 2010). Pel que fa als materials de suport, sembla que els estudiants no acostumen a fer un ús efectiu dels suports de què disposen, especialment aquells qui més els necessiten (e. g., Alevén et al., 2003; Renkl, 2002). És per això que el rol del docent segueix sent clau en situacions d'aprenentatge cooperatiu, mitjançant l'escolta activa i les ajudes ajustades a cada equip d'estudiants, en forma de feedback, pistes o preguntes (Duran et al., 2019; Van Leeuwen & Janssen, 2019).

Conclusions

Students can learn by teaching when they create teaching materials for others. This is shown by the evidence from the literature review and the implementation of the intervention in primary education. However, it is necessary to consider the conditions that enhance or limit the effect of this kind of interventions. Research and practice must work hand in hand to jointly advance (e.g., Joyce & Cartwright, 2020; Sjölund et al., 2022; Slavin, 2020). In this final section, contributions and limitations for each aim of the doctoral thesis are presented, and directions for future research are indicated as well.

First aim: To review the literature on student-generated teaching materials

Contributions and limitations

The concept of learning by creating teaching materials (i.e., learning by teaching through the creation of teaching materials) aims to bring together the different lines of research that outline such interventions but have used different names so far. A scoping review of the literature shows that very few studies explicitly use the concept of learning by teaching (Ribosa & Duran, 2022c). In fact, two overlapping concepts have been used within the field of learning by teaching: indirect teaching and non-interactive teaching. The former refers to teaching situations in which the explanation is provided through a video lesson, a written explanation, or other indirect means, rather than face to face (Kobayashi, 2019a). Besides excluding the presence or interaction of the audience, the second concept (i.e., non-interactive teaching) excludes the interaction with other people during the preparation of the content or the creation of the product (Lachner et al., 2022). Both concepts focus on two types of specific products (i.e., audio- or video-recorded oral explanations, and written explanations), although Kobayashi (2019a) himself opens the definition to other media. In practice, these two concepts refer to interventions in which students create teaching materials. In our opinion, this name facilitates its understanding and connection with educational practice.

Firstly, the concept of learning by creating teaching materials joins the line of research on learning by teaching, coming from educational psychology, with the rest of the studies from educational research. In turn, the concept is useful for bringing together this second group of studies under a common conceptual umbrella, as these are often dispersed studies that, at best, are placed within general theoretical frameworks, such as active learning, constructivism, or constructionism. The concept also aims to integrate the contributions of previous reviews, which focused on various types of products and specific subject areas (Farrokhnia et al., 2020; Gallardo-Williams et al., 2020; Gray et al., 2010; Hava & Cakir, 2017; Reyna & Meier, 2018; Snelson, 2018). At the theoretical level, this conceptual proposal reinforces other close theoretical approaches, such as contributing student pedagogy (Hamer et al., 2008, 2012), which emphasises student participation as creators and users of learning resources. In our opinion, a shared conceptual framework can help advance the research and practice of these different lines. Some recent studies, coming from educational research, already use this concept and cite the meta-analysis (Ribosa & Duran, 2022a) to support the intervention or interpret the findings (Fung & Poon, 2022; Mamakli et al., 2023; Paredes-Velasco et al., 2022).

The two reviews of this doctoral thesis have also generated interest within the field of learning by teaching (Fiorella, 2023; Kobayashi, 2023). Kobayashi (2023) writes an opinion article in which he acknowledges the interest of the concept to this field, but at the same time he points out two conceptual problems of the meta-analysis.³³ Firstly, the author considers that the inclusion criterion regarding teaching intentionality is trivialised because it is not applied strictly enough. According to Kobayashi (2023), four of the articles that were included in the meta-analysis do not inform students beforehand that the materials they create could be used by others as a learning resource, nor do they check whether they create them with the intention of teaching (Chang et al., 2010; Erdmann & March, 2014; Hoogerheide, Staal, et al., 2019; Hsu & Wang, 2018). As far as we are concerned, at least three of the four articles have sufficient indicators to consider that the study aims to generate teaching intentionality. Two of the articles assign students a teaching role by asking them to create questions or exercises for real or fictitious peers (Hoogerheide, Staal, et al., 2019; Hsu & Wang, 2018). Erdmann and March (2014) ask students to create videos for an indefinite audience, in which they teach how a laboratory technique is carried

³³ I was invited by the editor to review the article.

out step by step, and upload the videos to YouTube —although making the video private is allowed. In the case of the fourth article (Chang et al., 2010), in one of the two intervention groups, classmates can be considered the addressees of the animations, as this group participates in a peer assessment stage. The authors refer to the students' effort to create animations that are understandable to others because classmates will later view and assess them. However, it is true that in the other intervention group —which is also included in the meta-analysis— this peer assessment stage is not carried out, nor is a fictitious audience explicitly defined for the animations. The article merely indicates that animations should be used to show chemical phenomena, and it is the students themselves who will have to interpret them. In summary, we consider that this first piece of critique by Kobayashi (2023) would only be applicable to one of the intervention groups in the study by Chang et al. (2010) and would thus affect one of the sixty-two comparisons included in the meta-analysis. We share with the author the idea that teaching intentionality is a key element in the definition of the concept, as suggested by the inclusion criteria of the two reviews (Ribosa & Duran, 2022a, 2022c). In our opinion, the main limitation of many studies, also within the field of learning by teaching (e.g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2016), has to do with the use of fictitious audiences. This kind of audience is likely to compromise the actual intention to teach, although some studies show that this fictitious situation could be enough to generate better learning outcomes (e.g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014).

Kobayashi's (2023) second piece of critique refers to the content-preparation stage. The author points out that two types of comparisons included in the meta-analysis would be problematic to estimate the learning effect of creating teaching materials. Specifically, according to Kobayashi (2023, p. 2), the problem is generated by the fact that the “meta-analysis was based on the assumption that the products of studying for teaching are excluded from the creation of teaching materials”. Thus, the author criticises those comparisons that include control-group situations in which students study the content with teaching expectancy. They are discussed below.

In the first place, Kobayashi (2023) considers problematic the comparisons between teaching-expectancy control groups and intervention groups that create the teaching material after having prepared the content with teaching expectancy (e.g., Fiorella & Mayer, 2014, Experiment 2; Hoogerheide et al., 2014, Experiments 1 and 2). This involves eleven out of the sixty-two total comparisons

in the meta-analysis. In our opinion, although the preparation of the content with teaching expectancy may also be part of the process of creating a teaching material, the comparison between a group that finally creates a teaching material (i.e., completes the entire process) and one that merely prepares the content with teaching expectancy may be appropriate to estimate the added value of creating the material –beyond preparing the content with teaching expectancy. Studies on learning by teaching commonly include a comparison group based on teaching expectancy (e.g., Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hoogerheide et al., 2016; Hoogerheide, Staal, et al., 2019). It is worth noting that in the meta-analysis these control groups are included in the category of beneficial alternative interventions –which are distinguished from non-beneficial alternative interventions. Other beneficial alternative interventions, such as retrieval practice, are also part of many tasks based on the creation of teaching materials, and many studies add them as a comparison group to investigate the added value of creating the material (e.g., Koh et al., 2018; Lachner et al., 2020).

In the second place, Kobayashi (2023) also considers problematic the type of comparison between a teaching-expectancy control group and an intervention group that creates the teaching material after having prepared the content without teaching expectancy (Fiorella & Mayer, 2014, Experiment 2; Hoogerheide et al., 2016, Experiment 1). It should be noted that this affects two of the sixty-two total comparisons included in the meta-analysis. The author proposes that these intervention groups should be excluded from the concept of learning by creating teaching materials. According to Kobayashi (2023), only those practices in which content preparation is also carried out with teaching expectancy should be part of the concept. On the contrary, our conceptualisation was less restrictive and considered those interventions in which students create a teaching material with the expectation that a real, potential, or fictitious audience will use it to learn –regardless of whether the previous preparation of the content is carried out with or without teaching expectancy. This is a relevant discussion. We pointed out in the meta-analysis that the creation process of a teaching material can involve two stages: a content-preparation stage and an indirect-teaching stage (i.e., in which the product is generated). While it becomes a linear process in experimental situations, in natural contexts the two stages are often mixed and carried out recursively. It is possible to create a teaching material after having prepared the content without

teaching expectancy —and it is even possible to try to create it without having prepared the content at all, only based on prior knowledge. This latter practice can help formulate more accurate judgments about one’s own understanding (Rozenblit & Keil, 2002). However, it should be considered that the concept we are discussing specifically focuses on the learning opportunities in terms of the mastery of the content that is taught. Duran (2017) places teaching expectancy as the first of the learning-by-teaching stages, and evidence from this field suggests that preparing the content with the expectation of teaching may contribute to enhancing the effect of the subsequent teaching stage (Lachner et al., 2022). Therefore, the contribution by Kobayashi (2023) seems accurate, and we share with the author the need for this concept (i.e., learning by creating teaching materials) to consider that not only is it necessary to prepare the content before generating the product, but content preparation must also be carried out with teaching expectancy.

The two reviews of this doctoral thesis aim to contribute to the delimitation of the field of learning by creating teaching materials. It should be noted that the presence of such dispersed studies and lines of research —which use different concepts— has hindered the reviews’ comprehensiveness. Since the publication of the two reviews, we keep finding some articles that analyse interventions in which students learn by teaching through the creation of teaching materials, but which had not been located before (e.g., Kafai & Burke, 2015; Zahn et al., 2014).

As previously indicated, the findings show a high heterogeneity in terms of interventions and results (Ribosa & Duran, 2022a, 2022c). Regarding the diversity of interventions, we identified two types of products that had received almost no attention in the field of learning by teaching: questions in different formats and educational games. A study within the field of learning by teaching had already begun to explore the creation of multiple-choice questions (Hoogerheide, Staal, et al., 2019). However, most studies on this type of product do not come from the field of learning by teaching (e.g., Doyle et al., 2021; Hardy et al., 2014; Yu, 2022). Regarding the student creation of educational games, there is no study within the field of learning by teaching yet. Nevertheless, the line of research on serious games —games used or designed to teach academic content— shows the benefits of not only playing them (e.g., Connolly et al., 2012; Romero et al., 2015) but also creating them (e.g., Earp, 2015; Kafai & Burke, 2015; Vos et al., 2011).

Regarding the diversity of results, three variables identified in the meta-analysis help to explain the high degree of heterogeneity: the modality, the access to the study material, and the type of control group. As for modality, not only does it confirm what previous studies and reviews had already pointed out—the greater potential of audio-visual materials compared to textual ones— (Lachner et al., 2021), but the results suggest that visual materials also outperform textual materials. However, it should be noted that the effect of visual materials is only based on five comparisons from three studies (Chang et al., 2010; Fiorella & Kuhlmann, 2020; Hsu & Wang, 2018), and in one study students could also add textual representations to the visual teaching material (Chang et al., 2010).

The identification of the two other moderating variables (i.e., access to the study material and type of control group) makes a relevant contribution to the field. As for the access to the study material, it is worth noting that the findings of the meta-analysis do not match the results of a later study by Sibley et al. (2022). While in the meta-analysis the results indicate that having no access to the study material when creating the teaching material can be beneficial for learning, the findings of Sibley et al. (2022) suggest that having access to it enables generating more complete presentations, which contributes to better retention. These apparently contradictory findings may point out that the key lies in how the possibility of access to the study material is used: while a bad use may hinder the learning effect of the intervention, a good use could boost its effect. It is likely that one of the essential elements is that when creating the teaching material students access the study material only when it is necessary (Waldeyer et al., 2020). As for the type of control group, it is worth underlining the need to carefully design control groups that allow the results of the studies to be accurately interpreted (Willingham & Daniel, 2021).

Future research

Four directions for future research emerge from the first aim of this doctoral thesis. The first three directions have to do with the three moderating variables that were just reviewed. Firstly, as the scoping review shows (Ribosa & Duran, 2022c), there is a great diversity of products that students can create as teaching materials: videos of all kinds, texts of different discursive genres, questions of different formats, and educational games. In the future, research on learning by teaching will have to accurately examine the learning effect of each modality, beyond written explanations and the recording of oral presentations.

Secondly, the moderating effect of the access to the study material, identified in the meta-analysis (Ribosa & Duran, 2022a), indicates that further research is needed regarding the role of retrieval practice in learning by teaching. The review by Kobayashi (2022b) and the study by Sibley et al. (2022) are good starting points for this line of research. Studies that explore the combination of generative and retrieval activities should also be considered (e.g., Roelle & Berthold, 2017; Waldeyer et al., 2020). The apparently contradictory findings between the meta-analysis and the later study by Sibley et al. (2022) point to the need to analyse how students use the study material when they are creating the teaching material, as well as the difficulties they encounter when having no access to it.

Thirdly, studies on learning by teaching will need to consider the careful design of comparison groups, as indicated by the moderating effect of this variable in the meta-analysis (Ribosa & Duran, 2022a). It is a key element to accurately measure the effect of the intervention and to advance the understanding of the mechanisms that explain the potential of learning by teaching.

Fourthly, it is necessary to extend the conceptual debate on the concept of learning by creating teaching materials to the academic community—as well as on the general framework of learning by teaching and the delimitation of the phases, stages, or primary situations, presented in the introduction of the doctoral thesis. The Delphi method (Landeta, 2006), based on expert consensus, could help to advance in this line. Likewise, it would be relevant to create stable forums that facilitate debate between experts in this field—and similar fields—, such as a Special Interest Group of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI). Finally, thesauruses could include specific words to refer to the concepts of the field of study. The term *learning by teaching* is not found in the ERIC or UNESCO thesauruses yet, but it should be noted that the concept of *student developed materials* can be found in the ERIC thesaurus. Using a common conceptual umbrella and shared keywords can help to connect studies and lines of research that are currently isolated from other similar practices.

Second aim: To plan, implement, and assess an intervention proposal based on learning by indirect teaching in primary education

Contributions and limitations

The development of Bikos Project joins the small number of documented proposals that collect evidence on student creation of teaching materials in primary education. A total of twenty-five articles from this educational stage were identified in the scoping review (Ribosa & Duran, 2022c), of which eleven articles are based on the creation of audio-visual materials (Ehret et al., 2016; Heath, 1996; Hoogerheide, Visee, et al., 2019; Muis et al., 2016; Penttilä et al., 2016; Soto, 2015; Tanner et al., 2008; Thibaut & Curwood, 2018; Toohey et al., 2015; Wong et al., 2010; Wong & Looi, 2010).

In this doctoral thesis, the evidence comes from the students' learning outcomes in a pretest-posttest, as well as their perceptions, the products they make, and the creation process. At the empirical and methodological level, three main contributions to the field of learning by teaching can be noted. Firstly, the creation and validation of a rubric for the assessment of the pretest-posttest. Having students formulate questions on different topics initially posed a challenge to the assessment of the pretest-posttest open recall task. This rubric has been successfully used to assess students' answers on any topic, after reviewing a source of key information on each of the questions that was evaluated. However, it is necessary to consider the difficulties that can be generated by the lack of specificity of the rubric in terms of the learning content. Secondly, the initial exploration of the use of plagiarism detection tools to determine the degree of elaboration of the information that students present in the videos, in line with other learning-by-teaching studies that use automatic tools to count the number of concepts (Jacob et al., 2020, 2022; Sibley et al., 2022). Nevertheless, it is necessary to consider the limitations of plagiarism checkers, which often work in a not much transparent and even unreliable manner (Weber-Wulff, 2019). Thirdly, this doctoral thesis includes a study that contributes to advancing the line of research on the social presence hypothesis as a mechanism of learning by teaching (Ribosa & Duran, 2023c). This study is the first one in the field that analyses how the feelings of social presence fluctuate throughout the task, via self-reported measures and the analysis of student interaction recordings during the creation process of the teaching material. In addition, the study explores the partial relationship between the

feelings of social presence and knowledge-building via these recordings. At the educational practice level, the description and support materials in Catalan for the implementation of Bikos Project are made available to the community (Ribosa & Duran, 2023b).³⁴

It is necessary to point out some limitations regarding the assessment of the educational intervention proposed in this doctoral thesis. Despite the participation of the students in two rounds of the project and the large effect size in the pretest-posttest, the small number of participants and the lack of a control group should be noted as limitations, as well as the lack of alignment between the purpose of the intervention and the assessment of the learning outcomes. According to Schwartz, Lindgren, and Lewis (2009), if one of the goals of formal education is to provide students with a foundation of knowledge that allows them to build new knowledge outside the school, assessment tests would need to be adjusted to actually measure this competency. This would also be the purpose of the intervention proposal of this doctoral thesis. However, the assessment in the pretest-posttest does not measure the competency to build new knowledge—for instance, in subsequent information searching tasks on the web—, but the recall of the specific information about the question they had formulated. Therefore, the mismatch between the purpose of the intervention proposal and the assessment of learning outcomes is pointed out as a limitation of the doctoral thesis.

The planning, implementation, and assessment of Bikos Project aim to contribute to the analysis of the transition of learning by indirect teaching to natural contexts, especially in primary and secondary education, as well as to the analysis of the mechanisms that explain its effectiveness. It is a complex intervention proposal, which not only brings the concept of learning by teaching into play but also other elements, such as working in pairs with complementary roles (i.e., cooperative learning), the choice of the question students want to inquire into (i.e., self-directed learning), the search for information on the internet, and the creation of an audio-visual product (i.e., digital literacy). A highly structured intervention is proposed, as well as two initial training sessions for students, in order to facilitate the successful development of the

³⁴ With some variations, the support materials were first translated into English and then into Dutch for the implementation of a pilot test of the project in a school in the city of Ghent, during the stay at Universiteit Gent to obtain the International Doctoral Research Component—with a complementary mobility scholarship.

project in class. The features of the proposal, together with the previous limitations in terms of assessment, lead us to one of the most prominent debates in recent years in the field of educational psychology and educational research: the one between supporters of explicit instruction and supporters of inquiry-based teaching (e.g., Tobias & Duffy, 2009).

In general, while explicit –or direct– instruction emphasises that teachers fully explain the concepts and skills that students must learn before offering them opportunities for practice (Kirschner et al., 2006; Rosenshine, 2009), inquiry-based –or problem-based– teaching emphasises that students solve situated and authentic problems, with supports that are adjustable according to their needs (Herman & Gomez, 2009; Hmelo-Silver, 2004). Thus, both approaches agree on offering opportunities for practice and on the importance of guiding students' practice, although they often conceptualise instructional guidance differently (Clark, 2009; Wise & O'Neill, 2009). A meta-analysis indicates that unguided inquiry is detrimental to learning when compared to direct instruction (Alfieri et al., 2011). However, guided inquiry seems optimal for learning, with better results than the rest of the interventions, except for worked-out examples –which obtain similar results and are the banner of explicit instruction supporters. Based on these findings, the authors of the meta-analysis point out that an optimal educational intervention must include, at least, one of the following features: guided tasks that have well-placed scaffolding to assist learners; tasks that require learners to explain their ideas, offering feedback to ensure their accuracy, and tasks that provide worked-out examples of how to succeed. A subsequent meta-analysis strengthens the importance of guidance in inquiry-based teaching (Lazonder & Harmsen, 2016).

The lack of a control group and the mismatch between the purpose and the assessment of learning outcomes limit the contributions of the doctoral thesis to this debate. Nevertheless, students' perceptions of the project implementation and the interaction analysis generate some pertinent reflections.

On the one hand, it seems that not only do students perceive improvements in their knowledge of the questions but also in procedural knowledge. In addition, most students positively value all sources of help: the possibility of working at one's own pace, the support materials, the help of the teacher, the help of the partner, and especially the possibility of choosing the question. These perceptions would back up the richness of open learning situations based on

authentic problems, as well as the need to offer different types of support (Fletcher, 2009; Wise & O'Neill, 2009). According to Duffy (2009), instead of the degree or the type of guidance offered to students, the difference between the two approaches (i.e., explicit instruction and inquiry-based teaching) could lie in the stimulus for learning: while inquiry-based teaching emphasises generating the students' need to learn, explicit instruction does not usually take this into account. This is an important element of Bikos Project, as it offers students the opportunity to choose the question they want to inquire into, which they value very positively.

On the other hand, students highlight difficulties regarding time investment, information searching, and the recording of the voice-over. In addition, it seems that they do not usually take advantage of the opportunities for knowledge-building when they think about the audience. These two points suggest that the guidance offered when carrying out some tasks should be strengthened, perhaps in the form of explicit instruction and highly guided practice at different moments in the project (Clark, 2009). Digital technologies can help students learn in a self-directed way, but teacher support is essential, both in terms of regulating the self-directed learning process and in terms of using digital tools (Morris & Rohs, 2021). The challenge of digital literacy, included in the Catalan basic education syllabus (Decree 175/2022), has been posed in numerous studies and reviews (e.g., Bawden, 2001; Mills, 2010; Tinmaz et al., 2022; Van Laar et al., 2017). Current advances in artificial intelligence seem to further emphasise its relevance (e.g., Dwivedi et al., 2023; Krügel et al., 2022, 2023).

When proposing tasks in class, according to Duffy (2009), a warning by Bereiter (2002) must be considered. The author points out that, in open situations based on solving authentic problems, there is the risk that students spend too much time on practical aspects, to the detriment of the elaboration of conceptual knowledge—or other kinds of target knowledge of the intervention. In line with this issue, as Mayer (2009) points out, mental activity should not be confused with behavioural activity.

Future research

Four directions for future research emerge from the second aim of this doctoral thesis. Firstly, it is necessary to extend the implementation of the project to more schools. Duffy (2009) warns that the complexity of the proposals can hinder their sustainability once the researcher withdraws from the classroom.

In fact, the implementation of Bikos Project in schools stopped when data collection for the doctoral thesis was completed. Therefore, it will be necessary to explore whether it is possible to develop the proposal in schools in a sustainable way.

Secondly, in terms of assessing the learning outcomes, it is necessary to diversify the type of tests that are used, considering the purpose of the educational intervention. Not only should we assess the whole set of effects that the proposal can generate —such as those related to digital literacy or subject interest³⁵—, but we should also consider the contributions by Schwartz, Lindgren, and Lewis (2009) on the assessment of preparation for future learning.

Thirdly, it would be important to compare the effectiveness of the proposal with respect to control groups. It is necessary to consider the different types of control groups pointed out by Willingham and Daniel (2021): not only common interventions that are not expected to influence the outcomes but also evidence-based alternative interventions, as well as improved variants of the intervention itself. These different comparisons could help to accurately measure the effect of the intervention proposal, as well as to indicate some of the mechanisms that explain its effectiveness.

Fourthly, student interaction should be analysed from different perspectives. For instance, it would be important to focus on the joint construction of knowledge (e.g., Kumpulainen & Wray, 2001; Mercer & Littleton, 2007) and on the socially shared regulation of learning —including emotions— (e.g., Isohätälä et al., 2017; Järvelä et al., 2019; Järvenoja et al., 2020; Panadero & Järvelä, 2015). These analyses could provide interesting findings on the role of the different types of support available to students, such as the partner, support materials, and the teacher. Regarding the partner, evidence shows that, despite the effectiveness of cooperative learning (Johnson & Johnson, 2009), its practice is complex (Sharan, 2010). As for support materials, it seems that students do not tend to make effective use of the available support, especially those who need it the most (e.g., Aleven et al., 2003; Renkl, 2002). Therefore, the role of the teacher

³⁵ Two validated questionnaires —Online Information Searching Strategy Inventory (Tsai, 2009), History Interest Inventory (Dan et al., 2013)— were intended to be used to collect pretest-posttest data on information searching skills and subject interest before and after the implementation of the pilot project in the school in Ghent. However, the posttest could not be administered, and thus it was not possible to analyse whether the intervention generated changes in these two aspects.

remains essential in cooperative learning situations, through active listening and adjusted help to each team of students, in the form of feedback, hints, or questions (Duran et al., 2019; Van Leeuwen & Janssen, 2019).

Referències

- Agarwal, P. K., Nunes, L. D., & Blunt, J. R. (2021). Retrieval practice consistently benefits student learning: A systematic review of applied research in schools and classrooms. *Educational Psychology Review*, 33(4), 1409–1453. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09595-9>
- Aleven, V., Stahl, E., Schworm, S., Fischer, F., & Wallace, R. (2003). Help seeking and help design in interactive learning environments. *Review of Educational Research*, 73(3), 277–320. <https://doi.org/10.3102/00346543073003277>
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1–18. <https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Allen, V. L. (1976). *Children as teachers: Theory and research on tutoring*. Academic Press.
- Allen, V. L., & Feldman, R. S. (1973). Learning through tutoring. *The Journal of Experimental Education*, 42(1), 1–5. <https://doi.org/10.1080/00220973.1973.11011433>
- Allen, V. L., & Feldman, R. S. (1976). Studies on the role of tutor. Dins V. L. Allen (Ed.), *Children as Teachers: Theory and Research on Tutoring* (p. 113–129). Academic Press.
- Anderson, L. W., & Bloom, B. S. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Anderson, R. D., & Thompson, A. R. (1971). Mutually aided learning: An evaluation. *Journal of Research in Science Teaching*, 8(4), 297–305. <https://doi.org/10.1002/tea.3660080402>
- Annis, L. F. (1983). The processes and effects of peer tutoring. *Human Learning: Journal of Practical Research & Applications*, 2(1), 39–47.
- Arnold, T. (1852). *Arnold's travelling journals, with extracts from the life and letters*. B. Fellowes.
- Arnsten, A. F. T. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 410–422. <https://doi.org/10.1038/nrn2648>

- Barbour, M., Kromrei, H., McLaren, A., Toker, S., Mani, N., & Wilson, V. (2009). Testing an assumption of the potential of homemade PowerPoint games. Dins I. Gibson, R. Weber, K. McFerrin, R. Carlsen, & D. Willis (Ed.), *Proceedings of SITE 2009: Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (p. 1381–1387). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
<https://www.learntechlib.org/primary/p/30804/>
- Bargh, J. A., & Schul, Y. (1980). On the cognitive benefits of teaching. *Journal of Educational Psychology*, 72(5), 593–604.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.72.5.593>
- Bawden, D. (2001). Information and digital literacies: A review of concepts. *Journal of Documentation*, 57(2), 218–259.
<https://doi.org/10.1108/EUM0000000007083>
- Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science Robotics*, 3(21), Article eaat5954. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aat5954>
- Benware, C. A., & Deci, E. L. (1984). Quality of learning with an active versus passive motivational set. *American Educational Research Journal*, 21(4), 755–765. <https://doi.org/10.3102/00028312021004755>
- Bereiter, C. (2002). *Education and mind in the knowledge age*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Biswas, G., Leelawong, K., Schwartz, D., Vye, N., & The Teachable Agents Group at Vanderbilt (2005). Learning by teaching: A new agent paradigm for educational software. *Applied Artificial Intelligence*, 19(3–4), 363–392.
<https://doi.org/10.1080/08839510590910200>
- Biswas, G., Segedy, J. R., & Bunchongchit, K. (2016). From design to implementation to practice a learning by teaching system: Betty's Brain. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1), 350–364.
<https://doi.org/10.1007/s40593-015-0057-9>
- Bogardus, E. S. (1918). *Essentials of social psychology*. University of Southern California Press.
- Bogardus, E. S. (1920). *Essentials of social psychology* (2a ed.). University of Southern California Press.
- Brophy, S., Biswas, G., Katzlberger, T., Bransford, J., & Schwartz, D. (1999). Teachable agents: Combining insights from learning theory and computer science. Dins S. P. Lajoie & M. Vivet (Ed.), *Proceedings of Artificial Intelligence in Education (AIED) 1999* (p. 21–28). IOS Press.

- Cabral, D. A. R., Daou, M., Bacelar, M. F. B., Parma, J. O., & Miller, M. W. (2023). Does learning a skill with the expectation of teaching it impair the skill's execution under psychological pressure if the skill is learned with analogy instructions? *Psychology of Sport and Exercise*, 66, Article 102323. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102323>
- Calero, C. I., Goldin, A. P., & Sigman, M. (2018). The teaching instinct. *Review of Philosophy and Psychology*, 9(4), 819–830. <https://doi.org/10.1007/s13164-018-0383-6>
- Carlson, S. M., Koenig, M. A., & Harms, M. B. (2013). Theory of mind. *WIREs Cognitive Science*, 4(4), 391–402. <https://doi.org/10.1002/wcs.1232>
- Carpenter, S. K., & Yeung, K. L. (2017). The role of mediator strength in learning from retrieval. *Journal of Memory and Language*, 92, 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2016.06.008>
- Castro-Meneses, L. J., Kruger, J. L., & Doherty, S. (2020). Validating theta power as an objective measure of cognitive load in educational video. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 181–202. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09681-4>
- Chandra, S., Dillenbourg, P., & Paiva, A. (2020). Children teach handwriting to a social robot with different learning competencies. *International Journal of Social Robotics*, 12(3), 721–748. <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00589-w>
- Chang, H. Y., Quintana, C., & Krajcik, J. S. (2010). The impact of designing and evaluating molecular animations on how well middle school students understand the particulate nature of matter. *Science Education*, 94(1), 73–94. <https://doi.org/10.1002/sce.20352>
- Chase, C. C., Chin, D. B., Oppezzo, M. A., & Schwartz, D. L. (2009). Teachable agents and the protégé effect: Increasing the effort towards learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(4), 334–352. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9180-4>
- Chen, H., Park, H. W., & Breazeal, C. (2020). Teaching and learning with children: Impact of reciprocal peer learning with a social robot on children's learning and emotive engagement. *Computers & Education*, 150, Article 103836. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103836>
- Cheng, M., Wang, F., & Mayer, R. E. (2023). Benefits of asking students to make an instructional video of a multimedia lesson: Clarifying the learning-by-teaching hypothesis. *Journal of Computer Assisted Learning*. Publicació avançada en línia. <https://doi.org/10.1111/jcal.12823>

- Chi, M. T. H., Siler, S. A., Jeong, H., Yamauchi, T., & Hausmann, R. G. (2001a). Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, 25(4), 471–533. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2504_1
- Clark, R. E. (2009). How much and what type of guidance is optimal for learning from instruction? Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 158–183). Routledge.
- Cloward, R. D. (1967). Studies in tutoring. *The Journal of Experimental Education*, 36(1), 14–25. <https://doi.org/10.1080/00220973.1967.11011022>
- Cohen, P. A., Kulik, J. A., & Kulik, C. L. C. (1982). Educational outcomes of tutoring: A meta-analysis of findings. *American Educational Research Journal*, 19(2), 237–248. <https://doi.org/10.3102/00028312019002237>
- Coiro, J., & Dobler, E. (2007). Exploring the online reading comprehension strategies used by sixth-grade skilled readers to search for and locate information on the Internet. *Reading Research Quarterly*, 42(2), 214–257. <https://doi.org/10.1598/RRQ.42.2.2>
- Coleman, E. B., Brown, A. L., & Rivkin, I. D. (1997). The effect of instructional explanations on learning from scientific texts. *Journal of the Learning Sciences*, 6(4), 347–365. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0604_1
- Coll, C., Onrubia, J., & Mauri, T. (2008). Ayudar a aprender en contextos educativos: El ejercicio de la influencia educativa y el análisis de la enseñanza. *Revista de Educación*, 346, 33–70.
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661–686. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Crabb, A. L., Gibson, W. J., Beale, D., Compton, C. D., DeGraw, B. M., Houchell, P., Moffatt, R., Moore, L., & Payne, A. (1932). Bibliography of studies dealing wholly or in part with the training school. *Peabody Journal of Education*, 10(2), 98–114. <https://doi.org/10.1080/01619563209535130>
- Cui, G. (2013). Evaluating online social presence: An overview of social presence assessment. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 6(1), 13–30. <https://doi.org/10.18785/jetde.0601.02>
- Dan, Y., Wei, T., & Zhao, W. (2013). Development and evaluation of history interest inventory for Chinese K-12 students. *Journal of International Social Studies*, 3(2), 71–86.

- Daou, M., Buchanan, T., Lindsey, K., Lohse, K., & Miller, M. (2016). Expecting to teach enhances learning: Evidence from a motor learning paradigm. *Journal of Motor Learning and Development*, 4(2), 197–207. <https://doi.org/10.1123/jmld.2015-0036>
- Daou, M., Hutchison, Z., Bacelar, M., Rhoads, J. A., Lohse, K. R., & Miller, M. W. (2019). Learning a skill with the expectation of teaching it impairs the skill's execution under psychological pressure. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 25(2), 219–229. <https://doi.org/10.1037/xap0000191>
- Daou, M., Lohse, K. R., & Miller, M. W. (2016). Expecting to teach enhances motor learning and information processing during practice. *Human Movement Science*, 49, 336–345. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.08.009>
- Daou, M., Lohse, K. R., & Miller, M. W. (2018). Does practicing a skill with the expectation of teaching alter motor preparatory cortical dynamics? *International Journal of Psychophysiology*, 127, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.02.013>
- Daou, M., Rhoads, J. A., Jacobs, T., Lohse, K. R., & Miller, M. W. (2019). Does limiting pre-movement time during practice eliminate the benefit of practicing while expecting to teach? *Human Movement Science*, 64, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.017>
- De Backer, L. (2015). *Fostering university students' individual and socially shared metacognitive regulation through reciprocal same-age peer tutoring: A study into the impact and interaction processes* [Tesi doctoral, Universiteit Gent]. <http://hdl.handle.net/1854/LU-6850913>
- De Backer, L., Van Keer, H., Moerkerke, B., & Valcke, M. (2016). Examining evolutions in the adoption of metacognitive regulation in reciprocal peer tutoring groups. *Metacognition and Learning*, 11(2), 187–213. <https://doi.org/10.1007/s11409-015-9141-7>
- De Backer, L., Van Keer, H., & Valcke, M. (2012a). Exploring the potential impact of reciprocal peer tutoring on higher education students' metacognitive knowledge and regulation. *Instructional Science*, 40(3), 559–588. <https://doi.org/10.1007/s11251-011-9190-5>
- De Backer, L., Van Keer, H., & Valcke, M. (2012b). Fostering university students' metacognitive regulation through peer tutoring. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 69, 1594–1600. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.104>

- De Backer, L., Van Keer, H., & Valcke, M. (2015a). Exploring evolutions in reciprocal peer tutoring groups' socially shared metacognitive regulation and identifying its metacognitive correlates. *Learning and Instruction*, 38, 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.04.001>
- De Backer, L., Van Keer, H., & Valcke, M. (2015b). Promoting university students' metacognitive regulation through peer learning: The potential of reciprocal peer tutoring. *Higher Education*, 70(3), 469–486. <https://doi.org/10.1007/s10734-014-9849-3>
- De Backer, L., Van Keer, H., & Valcke, M. (2015c). Socially shared metacognitive regulation during reciprocal peer tutoring: Identifying its relationship with students' content processing and transactive discussions. *Instructional Science*, 43(3), 323–344. <https://doi.org/10.1007/s11251-014-9335-4>
- De Backer, L., Van Keer, H., & Valcke, M. (2016). Eliciting reciprocal peer-tutoring groups' metacognitive regulation through structuring and problematizing scaffolds. *The Journal of Experimental Education*, 84(4), 804–828. <https://doi.org/10.1080/00220973.2015.1134419>
- De Guerrero, M. C. M., & Villamil, O. S. (2000). Activating the ZPD: Mutual scaffolding in L2 peer revision. *The Modern Language Journal*, 84(1), 51–68. <https://doi.org/10.1111/0026-7902.00052>
- Decret 175/2022, de 27 de setembre, d'ordenació dels ensenyaments de l'educació bàsica. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 8762, de 29 de setembre de 2022. <https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/d/2022/09/27/175/dof>
- Dehler-Zufferey, J., Bodemer, D., Buder, J., & Hesse, F. W. (2010). Partner knowledge awareness in knowledge communication: Learning by adapting to the partner. *The Journal of Experimental Education*, 79(1), 102–125. <https://doi.org/10.1080/00220970903292991>
- Devin-Sheehan, L., Feldman, R. S., & Allen, V. L. (1976). Research on children tutoring children: A critical review. *Review of Educational Research*, 46(3), 355–385. <https://doi.org/10.2307/1170008>
- Doyle, E., Buckley, P., & McCarthy, B. (2021). The impact of content co-creation on academic achievement. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 46(3), 494–507. <https://doi.org/10.1080/02602938.2020.1782832>
- Duffy, T. M. (2009). Building lines of communication and a research agenda. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 351–367). Routledge.

- Dufrene, B. A., Noell, G. H., Gilbertson, D. N., & Duhon, G. J. (2005). Monitoring implementation of reciprocal peer tutoring: Identifying and intervening with students who do not maintain accurate implementation. *School Psychology Review*, 34(1), 74–86.
<https://doi.org/10.1080/02796015.2005.12086276>
- Duran, D. (2014). *Aprenseñar: Evidencias e implicaciones educativas de aprender enseñando*. Narcea.
- Duran, D. (2016). *Aprensenyar: Evidències i implicacions educatives d'aprendre ensenyant*. Horsori.
- Duran, D. (2017). Learning-by-teaching. Evidence and implications as a pedagogical mechanism. *Innovations in Education and Teaching International*, 54(5), 476–484.
<https://doi.org/10.1080/14703297.2016.1156011>
- Duran, D. (2023). Can students learn by teaching their peers during cooperative learning? Dins R. M. Gillies, B. Millis, & N. Davidson (Ed.), *Contemporary global perspectives on cooperative learning* (p. 27–38). Routledge.
- Duran, D., Flores, M., & Miquel, E. (2019). The teacher's role during cooperative learning: Should I leave the classroom when students are independently working in teams? *Journal of Classroom Interaction*, 54(2), 24–40.
- Duran, D., & Monereo, C. (2005). Styles and sequences of cooperative interaction in fixed and reciprocal peer tutoring. *Learning and Instruction*, 15(3), 179–199. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2005.04.002>
- Duran, D., & Topping, K. J. (2017). *Learning by teaching: Evidence-based strategies to enhance learning in the classroom*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315649047>
- Duran, D., & Vidal, V. (2004). *Tutoría entre iguales: De la teoría a la práctica*. Graó.
- Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Koohang, A., Raghavan, V., Ahuja, M., Albanna, H., Albashrawi, M. A., Al-Busaidi, A. S., Balakrishnan, J., Barlette, Y., Basu, S., Bose, I., Brooks, L., Buhalis, D., ... Wright, R. (2023). “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 71, Article 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>
- Earp, J. (2015). Game making for learning: A systematic review of the research literature. Dins L. Gómez-Chova, A. López-Martínez, & I. Candel-Torres (Ed.), *ICERI2015 Proceedings* (p. 6426–6435). IATED Academy.

- Ehly, S., Keith, T. Z., & Bratton, B. (1987). The benefits of tutoring: An exploration of expectancy and outcomes. *Contemporary Educational Psychology, 12*(2), 131–134. [https://doi.org/10.1016/S0361-476X\(87\)80046-2](https://doi.org/10.1016/S0361-476X(87)80046-2)
- Ehret, C., Hollett, T., & Jocius, R. (2016). The matter of new media making: An intra-action analysis of adolescents making a digital book trailer. *Journal of Literacy Research, 48*(3), 346–377. <https://doi.org/10.1177/1086296X16665323>
- Ellis, G. E., Green, S. A., Lord, A., Winthrop, R. C., & Quincy, J. P. (1893). October meeting, 1893. Deaths of members; Letter of Dr. Thomas Brown; Letter of James Bowdoin; Memoir of Rev. R. C. Waterston. *Proceedings of the Massachusetts Historical Society, 8*, 275–302.
- Endres, T., Lovell, O., Morkunas, D., Rieß, W., & Renkl, A. (2022). Can prior knowledge increase task complexity? – Cases in which higher prior knowledge leads to higher intrinsic cognitive load. *British Journal of Educational Psychology*. Publicació avançada en línia. <https://doi.org/10.1111/bjep.12563>
- Endres, T., & Renkl, A. (2015). Mechanisms behind the testing effect: An empirical investigation of retrieval practice in meaningful learning. *Frontiers in Psychology, 6*, Article 1054. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01054>
- Erdmann, M. A., & March, J. L. (2014). Video reports as a novel alternate assessment in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice, 15*(4), 650–657. <https://doi.org/10.1039/C4RP00107A>
- Fantuzzo, J. W., Riggio, R. E., Connelly, S., & Dimeff, L. A. (1989). Effects of reciprocal peer tutoring on academic achievement and psychological adjustment: A component analysis. *Journal of Educational Psychology, 81*(2), 173–177. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.2.173>
- Farrokhnia, M., Meulenbroeks, R. F. G., & van Joolingen, W. R. (2020). Student-generated stop-motion animation in science classes: A systematic literature review. *Journal of Science Education and Technology, 29*(6), 797–812. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09857-1>
- Fiorella, L. (2023). Making sense of generative learning. *Educational Psychology Review, 35*, Article 50. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09769-7>
- Fiorella, L., & Kuhlmann, S. (2020). Creating drawings enhances learning by teaching. *Journal of Educational Psychology, 112*(4), 811–822. <https://doi.org/10.1037/edu0000392>

- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2013). The relative benefits of learning by teaching and teaching expectancy. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2013.06.001>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2014). Role of expectations and explanations in learning by teaching. *Contemporary Educational Psychology*, 39(2), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.01.001>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2016). Eight ways to promote generative learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 717–741. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9348-9>
- Fiorella, L., Van Gog, T., Hoogerheide, V., & Mayer, R. E. (2017). It's all a matter of perspective: Viewing first-person video modeling examples promotes learning of an assembly task. *Journal of Educational Psychology*, 109(5), 653–665. <https://doi.org/10.1037/edu0000161>
- Fletcher, J. D. (2009). From behaviorism to constructivism: A philosophical journey from drill and practice to situated learning. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 242–263). Routledge.
- Foster, J. L., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2015). Shortened complex span tasks can reliably measure working memory capacity. *Memory & Cognition*, 43(2), 226–236. <https://doi.org/10.3758/s13421-014-0461-7>
- Frager, S., & Stern, C. (1970). Learning by teaching. *The Reading Teacher*, 23(5), 403–417.
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Hamlett, C. L., Phillips, N. B., Karns, K., & Dutka, S. (1997). Enhancing students' helping behavior during peer-mediated instruction with conceptual mathematical explanations. *The Elementary School Journal*, 97(3), 223–249. <https://doi.org/10.1086/461863>
- Fukaya, T. (2013a). Does metacognitive knowledge about explanation moderate the effect of explanation expectancy? *Psychologia*, 56(4), 246–258. <https://doi.org/10.2117/psysoc.2013.246>
- Fukaya, T. (2013b). Explanation generation, not explanation expectancy, improves metacomprehension accuracy. *Metacognition and Learning*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11409-012-9093-0>
- Fukaya, T. (2014). Effects of explanation expectancy on text comprehension: An experiment and a meta-analysis. *Japanese Journal of Psychology*, 85(3), 266–275. <https://doi.org/10.4992/jjpsy.85.13034>

- Fung, C. H., Poon, K. K., & Ng, S. P. (2022). Fostering student teachers' 21st century skills by using flipped learning by teaching in STEM education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(12), Article em2204. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12728>
- Galbraith, J., & Winterbottom, M. (2011). Peer-tutoring: What's in it for the tutor? *Educational Studies*, 37(3), 321–332. <https://doi.org/10.1080/03055698.2010.506330>
- Gallardo-Williams, M., Morsch, L. A., Paye, C., & Seery, M. K. (2020). Student-generated video in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(2), 488–495. <https://doi.org/10.1039/C9RP00182D>
- Gårdenfors, P., & Högberg, A. (2017). The archaeology of teaching and the evolution of Homo docens. *Current Anthropology*, 58(2), 188–208. <https://doi.org/10.1086/691178>
- Gartner, A., Kohler, M. C., & Riessman, F. (1971a). *Children teach children: Learning by teaching*. Harper & Row.
- Gartner, A., Kohler, M. C., & Riessman, F. (1971b). Every child a teacher. *Childhood Education*, 48(1), 12–16. <https://doi.org/10.1080/00094056.1971.10727319>
- Goodlad, S., & Hirst, B. (1989). *Peer tutoring: A guide to learning by teaching*. Nichols.
- Gowing, P. G. (1983). The legacy of Frank Charles Laubach. *International Bulletin of Missionary Research*, 7(2), 58–62. <https://doi.org/10.1177/239693938300700203>
- Graesser, A. C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31(1), 104–137. <https://doi.org/10.3102/00028312031001104>
- Graesser, A. C., Person, N. K., & Magliano, J. P. (1995). Collaborative dialogue patterns in naturalistic one-to-one tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 9(6), 495–522. <https://doi.org/10.1002/acp.2350090604>
- Gray, K., Thompson, C., Sheard, J., Clerehan, R., & Hamilton, M. (2010). Students as Web 2.0 authors: Implications for assessment design and conduct. *Australasian Journal of Educational Technology*, 26(1), 105–122. <https://doi.org/10.14742/ajet.1105>
- Guerrero, T. A., & Wiley, J. (2021). Expecting to teach affects learning during study of expository texts. *Journal of Educational Psychology*, 113(7), 1281–1303. <https://doi.org/10.1037/edu0000657>

- Hamer, J., Cutts, Q., Jackova, J., Luxton-Reilly, A., McCartney, R., Purchase, H., Riedesel, C., Saeli, M., Sanders, K., & Sheard, J. (2008). Contributing student pedagogy. *ACM SIGCSE Bulletin*, 40(4), 194–212.
<https://doi.org/10.1145/1473195.1473242>
- Hamer, J., Sheard, J., Purchase, H., & Luxton-Reilly, A. (2012). Contributing student pedagogy. *Computer Science Education*, 22(4), 315–318.
<https://doi.org/10.1080/08993408.2012.727709>
- Hardy, J., Bates, S. P., Casey, M. M., Galloway, K. W., Galloway, R. K., Kay, A. E., Kirsop, P., & McQueen, H. A. (2014). Student-generated content: Enhancing learning through sharing multiple-choice questions. *International Journal of Science Education*, 36(13), 2180–2194.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2014.916831>
- Hava, K., & Cakir, H. (2017). A systematic review of literature on students as educational computer game designers. Dins J. Johnston (Ed.), *Proceedings of EdMedia 2017* (p. 407-419). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
<https://www.learntechlib.org/primary/p/178342/>
- Heath, I. A. (1996). The social studies video project: A holistic approach for teaching linguistically and culturally diverse students. *The Social Studies*, 87(3), 106–112. <https://doi.org/10.1080/00377996.1996.9958423>
- Herman, P., & Gomez, L. M. (2009). Taking guided learning theory to school: Reconciling the cognitive, motivational, and social contexts of instruction. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 62–81). Routledge.
- Hermans, H. J. M. (2001). The dialogical self: Toward a theory of personal and cultural positioning. *Culture & Psychology*, 7(3), 243–281.
<https://doi.org/10.1177/1354067X0173001>
- Hill, S. R., & Hill, G. B. N. (1880). *The life of Sir Rowland Hill and the history of penny postage*. De La Rue.
- Hinze, S. R., Wiley, J., & Pellegrino, J. W. (2013). The importance of constructive comprehension processes in learning from tests. *Journal of Memory and Language*, 69(2), 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2013.03.002>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
<https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>

- Hoogerheide, V., Deijkers, L., Loyens, S. M. M., Heijltjes, A., & Van Gog, T. (2016). Gaining from explaining: Learning improves from explaining to fictitious others on video, not from writing to them. *Contemporary Educational Psychology*, 44–45, 95–106.
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2016.02.005>
- Hoogerheide, V., Lachner, A., Glogger-Frey, I., Van Gog, T., & Renkl, A. (2020). *Does the effectiveness of learning by non-interactive teaching depend on the size of the audience?* [Manuscript en preparació].
- Hoogerheide, V., Loyens, S. M. M., & Van Gog, T. (2014). Effects of creating video-based modeling examples on learning and transfer. *Learning and Instruction*, 33, 108–119.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.04.005>
- Hoogerheide, V., Renkl, A., Fiorella, L., Paas, F., & Van Gog, T. (2019). Enhancing example-based learning: Teaching on video increases arousal and improves problem-solving performance. *Journal of Educational Psychology*, 111(1), 45–56. <https://doi.org/10.1037/edu0000272>
- Hoogerheide, V., Renkl, A., Glogger-Frey, I., Lachner, A., Ravensbergen, S., & Van Gog, T. (2020). *Testing the social presence hypothesis: Teaching a real student impairs problem-solving performance* [Manuscript en preparació].
- Hoogerheide, V., Staal, J., Schaap, L., & Van Gog, T. (2019). Effects of study intention and generating multiple choice questions on expository text retention. *Learning and Instruction*, 60, 191–198.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.006>
- Hoogerheide, V., Visee, J., Lachner, A., & Van Gog, T. (2019). Generating an instructional video as homework activity is both effective and enjoyable. *Learning and Instruction*, 64, Article 101226.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101226>
- Hsu, C. C., & Wang, T. I. (2018). Applying game mechanics and student-generated questions to an online puzzle-based game learning system to promote algorithmic thinking skills. *Computers & Education*, 121, 73–88.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.02.002>
- Hu, J., & Gao, X. (2017). Using think-aloud protocol in self-regulated reading research. *Educational Research Review*, 22, 181–193.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.004>

- Ismail, H. N., & Alexander, J. M. (2005). Learning within scripted and nonscripted peer-tutoring sessions: The Malaysian context. *The Journal of Educational Research*, 99(2), 67–77.
<https://doi.org/10.3200/JOER.99.2.67-77>
- Isohätälä, J., Järvenoja, H., & Järvelä, S. (2017). Socially shared regulation of learning and participation in social interaction in collaborative learning. *International Journal of Educational Research*, 81, 11–24.
<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2016.10.006>
- Ito, T., & Kakihana, S. (2009). Why does explanation improve student tutors' understanding? Effect of presence of a peer. *The Japanese Journal of Educational Psychology*, 57(1), 86–98. <https://doi.org/10.5926/jjep.57.86>
- Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2020). Learning by explaining orally or in written form? Text complexity matters. *Learning and Instruction*, 68, Article 101344. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101344>
- Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2021). Does increasing social presence enhance the effectiveness of writing explanations? *PLOS ONE*, 16(4), Article e0250406. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250406>
- Jacob, L., Lachner, A., & Scheiter, K. (2022). Do school students' academic self-concept and prior knowledge constrain the effectiveness of generating technology-mediated explanations? *Computers & Education*, 182, Article 104469. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104469>
- Jacq, A., Lemaignan, S., Garcia, F., Dillenbourg, P., & Paiva, A. (2016). Building successful long child-robot interactions in a learning context. Dins C. Bartneck, Y. Nagai, A. Paiva, & S. Šabanović (Ed.), *Proceedings of the 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (p. 239–246). <https://doi.org/10.1109/HRI.2016.7451758>
- Jamet, F., Masson, O., Jacquet, B., Stilgenbauer, J. L., & Baratgin, J. (2018). Learning by teaching with humanoid robot: A new powerful experimental tool to improve children's learning ability. *Journal of Robotics*, 2018, Article 4578762. <https://doi.org/10.1155/2018/4578762>
- Järvelä, S., Järvenoja, H., & Malmberg, J. (2019). Capturing the dynamic and cyclical nature of regulation: Methodological progress in understanding socially shared regulation in learning. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 14(4), 425–441.
<https://doi.org/10.1007/s11412-019-09313-2>

- Järvenoja, H., Malmberg, J., Törmänen, T., Mänty, K., Haataja, E., Ahola, S., & Järvelä, S. (2020). A collaborative learning design for promoting and analyzing adaptive motivation and emotion regulation in the science classroom. *Frontiers in Education*, 5, Article 111.
<https://doi.org/10.3389/educ.2020.00111>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379.
<https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Jonassen, D. (2009). Reconciling a human cognitive architecture. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 13–33). Routledge.
- Joyce, K. E., & Cartwright, N. (2020). Bridging the gap between research and practice: Predicting what will work locally. *American Educational Research Journal*, 57(3), 1045–1082. <https://doi.org/10.3102/0002831219866687>
- Juel, C. (1996). Learning to learn from effective tutors. Dins L. Schauble & R. Glaser (Ed.), *Innovations in learning* (p. 49–74). Lawrence Erlbaum Associates.
- Kafai, Y. B., & Burke, Q. (2015). Constructionist gaming: Understanding the benefits of making games for learning. *Educational Psychologist*, 50(4), 313–334. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1124022>
- Kaptelinin, V., & Nardi, B. (2006). *Acting with technology: Activity theory and interaction design*. MIT Press.
- King, A. (1998). Transactive peer tutoring: Distributing cognition and metacognition. *Educational Psychology Review*, 10(1), 57–74.
<https://doi.org/10.1023/A:1022858115001>
- King, A. (2002). Structuring peer interaction to promote high-level cognitive processing. *Theory Into Practice*, 41(1), 33–39.
https://doi.org/10.1207/s15430421tip4101_6
- King, A., Staffieri, A., & Adelgais, A. (1998). Mutual peer tutoring: Effects of structuring tutorial interaction to scaffold peer learning. *Journal of Educational Psychology*, 90(1), 134–152.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.90.1.134>

- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist, 41*(2), 75–86.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Kobayashi, K. (2019a). Interactivity: A potential determinant of learning by preparing to teach and teaching. *Frontiers in Psychology, 9*, Article 2755.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02755>
- Kobayashi, K. (2019b). Learning by preparing-to-teach and teaching: A meta-analysis. *Japanese Psychological Research, 61*(3), 192–203.
<https://doi.org/10.1111/jpr.12221>
- Kobayashi, K. (2021). Effects of collaborative versus individual preparation on learning by teaching. *Instructional Science, 49*(6), 811–829.
<https://doi.org/10.1007/s11251-021-09561-6>
- Kobayashi, K. (2022a). Learning by teaching face-to-face: The contributions of preparing-to-teach, initial-explanation, and interaction phases. *European Journal of Psychology of Education, 37*(2), 551–566.
<https://doi.org/10.1007/s10212-021-00547-z>
- Kobayashi, K. (2022b). The retrieval practice hypothesis in research on learning by teaching: Current status and challenges. *Frontiers in Psychology, 13*, Article 842668. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.842668>
- Kobayashi, K. (2023). Learning by creating teaching materials: Conceptual problems and potential solutions. *Frontiers in Psychology, 14*, Article 1095285. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1095285>
- Koh, A. W. L., Lee, S. C., & Lim, S. W. H. (2018). The learning benefits of teaching: A retrieval practice hypothesis. *Applied Cognitive Psychology, 32*(3), 401–410. <https://doi.org/10.1002/acp.3410>
- Krause, C. A. (1919). Literature of modern language methodology in America for 1918. *The Modern Language Journal, 4*(1), 14–23.
- Kreijns, K., Xu, K., & Weidlich, J. (2022). Social presence: Conceptualization and measurement. *Educational Psychology Review, 34*(1), 139–170.
<https://doi.org/10.1007/s10648-021-09623-8>
- Krügel, S., Ostermaier, A., & Uhl, M. (2022). Zombies in the loop? Humans trust untrustworthy AI-advisors for ethical decisions. *Philosophy & Technology, 35*(1), Article 17. <https://doi.org/10.1007/s13347-022-00511-9>

- Krügel, S., Ostermaier, A., & Uhl, M. (2023). ChatGPT's inconsistent moral advice influences users' judgment. *Scientific Reports*, 13(1), Article 4569.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-31341-0>
- Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 86(1), 42–78.
<https://doi.org/10.3102/0034654315581420>
- Kumpulainen, K., & Wray, D. (2001). *Classroom interactions and social learning: From theory to practice*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203451564>
- Lachner, A., Backfisch, I., Hoogerheide, V., Van Gog, T., & Renkl, A. (2020). Timing matters! Explaining between study phases enhances students' learning. *Journal of Educational Psychology*, 112(4), 841–853.
<https://doi.org/10.1037/edu0000396>
- Lachner, A., Hoogerheide, V., Van Gog, T., & Renkl, A. (2022). Learning-by-teaching without audience presence or interaction: When and why does it work? *Educational Psychology Review*, 34(2), 575–607.
<https://doi.org/10.1007/s10648-021-09643-4>
- Lachner, A., Jacob, L., & Hoogerheide, V. (2021). Learning by writing explanations: Is explaining to a fictitious student more effective than self-explaining? *Learning and Instruction*, 74, Article 101438.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101438>
- Lachner, A., Ly, K. T., & Nückles, M. (2018). Providing written or oral explanations? Differential effects of the modality of explaining on students' conceptual learning and transfer. *The Journal of Experimental Education*, 86(3), 344–361. <https://doi.org/10.1080/00220973.2017.1363691>
- Lachner, A., & Neuburg, C. (2019). Learning by writing explanations: Computer-based feedback about the explanatory cohesion enhances students' transfer. *Instructional Science*, 47(1), 19–37.
<https://doi.org/10.1007/s11251-018-9470-4>
- Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(5), 467–482.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>
- Laubach, F. C. (1938). *Toward a literate world*. Columbia University Press.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718.
<https://doi.org/10.3102/0034654315627366>

- Lee, T., Davis, J. M., Vye, N., & Bransford, J. D. (2008). Do higher levels of arousal predict better learning? An investigation of learning and physiological responses. Dins G. Kanselaar, V. Jonker, P. A. Kirschner, & F. J. Prins (Ed.), *Creating a learning world: Proceedings of the Eighth International Conference for the Learning Sciences, Volume 3* (p. 72-74). International Society of the Learning Sciences.
- Leelawong, K., & Biswas, G. (2008). Designing learning by teaching agents: The Betty's Brain system. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 18*(3), 181–208.
- Legros, G. V. (1913). *Fabre, poet of science*. T. Fisher Unwin.
- Lehman, M., Smith, M. A., & Karpicke, J. D. (2014). Toward an episodic context account of retrieval-based learning: Dissociating retrieval practice and elaboration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 40*(6), 1787–1794. <https://doi.org/10.1037/xlm0000012>
- Leopold, C., & Mayer, R. E. (2015). An imagination effect in learning from scientific text. *Journal of Educational Psychology, 107*(1), 47–63. <https://doi.org/10.1037/a0037142>
- Lim, K. Y. L., Wong, S. S. H., & Lim, S. W. H. (2021). The “Silent Teacher”: Learning by teaching via writing a verbatim teaching script. *Applied Cognitive Psychology, 35*(6), 1492–1501. <https://doi.org/10.1002/acp.3881>
- Loyens, S. M. M., Magda, J., & Rikers, R. M. J. P. (2008). Self-directed learning in problem-based learning and its relationships with self-regulated learning. *Educational Psychology Review, 20*(4), 411–427. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9082-7>
- Mackay, A. L. (1991). *A dictionary of scientific quotations*. IOP.
- Mamakli, S., Alimoğlu, M. K., & Daloğlu, M. (2023). Scenario-based learning: Preliminary evaluation of the method in terms of students' academic achievement, in-class engagement, and learner/teacher satisfaction. *Advances in Physiology Education, 47*(1), 144–157. <https://doi.org/10.1152/advan.00122.2022>
- Martín-Martín, A., Thelwall, M., Orduna-Malea, E., & Delgado López-Cózar, E. (2021). Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: A multidisciplinary comparison of coverage via citations. *Scientometrics, 126*(1), 871–906. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03690-4>

- Matsuda, N., Lv, D., & Zheng, G. (2022). Teaching how to teach promotes learning by teaching. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. Publicació avançada en línia.
<https://doi.org/10.1007/s40593-022-00306-1>
- Matsuda, N., Weng, W., & Wall, N. (2020). The effect of metacognitive scaffolding for learning by teaching a teachable agent. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30(1), 1–37.
<https://doi.org/10.1007/s40593-019-00190-2>
- Mayer, R. E. (2009). Constructivism as a theory of learning versus constructivism as a prescription for instruction. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 184–200). Routledge.
- McMaster, K. L., Fuchs, D., & Fuchs, L. S. (2006). Research on peer-assisted learning strategies: The promise and limitations of peer-mediated instruction. *Reading & Writing Quarterly*, 22(1), 5–25.
<https://doi.org/10.1080/10573560500203491>
- Meijers, F., & Hermans, H. (2018). Dialogical self theory in education: An introduction. Dins F. Meijers & H. Hermans (Ed.), *The dialogical self theory in education: A multicultural perspective* (p. 1–17). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-62861-5_1
- Mendenhall, R. E. (1940). Solving the liquor problem through organized curriculum in colleges. *Christian Education*, 24(2), 80–84.
- Mercer, N., & Littleton, K. (2007). *Dialogue and the development of children's thinking: A sociocultural approach*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203946657>
- Mills, K. A. (2010). A review of the “digital turn” in the new literacy studies. *Review of Educational Research*, 80(2), 246–271.
<https://doi.org/10.3102/0034654310364401>
- Monereo, C., & Badia, A. (2020). A dialogical self-approach to understanding teacher identity in times of educational innovations. *Quaderns de Psicologia*, 22(2), Article 1572.
<https://doi.org/10.5565/rev/qpsicologia.1572>
- Monereo, C., & Hermans, H. (2023). Education and dialogical self: State of art. *Journal for the Study of Education and Development*. Publicació avançada en línia. <https://doi.org/10.1080/02103702.2023.2201562>

- Morgan, R. F., & Toy, T. B. (1970). Learning by teaching: A student-to-student compensatory tutoring program in a rural school system and its relevance to the educational cooperative. *The Psychological Record*, 20(2), 159–169. <https://doi.org/10.1007/BF03393926>
- Morris, T. H., & Rohs, M. (2021). The potential for digital technology to support self-directed learning in formal education of children: A scoping review. *Interactive Learning Environments*. Publicació avançada en línia. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1870501>
- Mousavinasab, E., Zarifsanaiey, N., R. Niakan Kalhori, S., Rakhshan, M., Keikha, L., & Ghazi Saeedi, M. (2021). Intelligent tutoring systems: A systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods. *Interactive Learning Environments*, 29(1), 142–163. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1558257>
- Muis, K. R., Psaradellis, C., Chevrier, M., Di Leo, I., & Lajoie, S. P. (2016). Learning by preparing to teach: Fostering self-regulatory processes and achievement during complex mathematics problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 474–492. <https://doi.org/10.1037/edu0000071>
- Naik, J. P. (1955). *The single-teacher school: Studies in education and psychology*. Ministry of Education, Government of India.
- Nestojko, J. F., Bui, D. C., Kornell, N., & Bjork, E. L. (2014). Expecting to teach enhances learning and organization of knowledge in free recall of text passages. *Memory & Cognition*, 42(7), 1038–1048. <https://doi.org/10.3758/s13421-014-0416-z>
- Nückles, M., Hübner, S., & Renkl, A. (2009). Enhancing self-regulated learning by writing learning protocols. *Learning and Instruction*, 19(3), 259–271. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.05.002>
- Okita, S. Y., Bailenson, J., & Schwartz, D. L. (2007). The mere belief of social interaction improves learning. Dins D. S. McNamara & J. G. Trafton (Ed.), *The proceedings of the 29th meeting of the Cognitive Science Society* (p. 1355–1360). Cognitive Science Society.
- Otto, W., Barrett, T. C., Smith, R. J., Dulin, K. L., Johnson, D. D., Barganz, R., Hawk, S., & Peters, J. (1971). Summary and review of investigations relating to reading, July 1, 1969 to June 30, 1970. *The Journal of Educational Research*, 64(6), 242–268. <https://doi.org/10.1080/00220671.1971.10884156>

- Panadero, E., & Järvelä, S. (2015). Socially shared regulation of learning: A review. *European Psychologist*, 20(3), 190–203.
<https://doi.org/10.1027/1016-9040/a000226>
- Paredes-Velasco, M., Lozano-Osorio, I., Pérez-Marín, D., & Santacruz-Valencia, L. P. (2022). A case study on learning visual programming with tutoapp for composition of tutorials: An approach for Learning by Teaching. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. Publicació avançada en línia.
<https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3226122>
- Pareto, L., Ekström, S., & Serholt, S. (2022). Children's learning-by-teaching with a social robot versus a younger child: Comparing interactions and tutoring styles. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, Article 875704.
<https://doi.org/10.3389/frobt.2022.875704>
- Pedersen, T. E. (1940). Staff Education: In the veterans administration. *The American Journal of Nursing*, 40(8), 885–888.
<https://doi.org/10.2307/3415015>
- Penttilä, J., Kallunki, V., Niemi, H. M., & Multisilta, J. (2016). A structured inquiry into a digital story: Students report the making of a superball. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 8(3), 19–34.
<https://doi.org/10.4018/IJMBL.2016070102>
- Pi, Z., Liu, C., Meng, Q., & Yang, J. (2022). Co-learner presence and praise alters the effects of learner-generated explanation on learning from video lectures. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), Article 58. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00363-5>
- Pi, Z., Zhang, Y., Shi, D., Guo, X., & Yang, J. (2022). Is self-explanation better than explaining to a fictitious student when learning from video lectures? *British Journal of Educational Technology*, 53(6), 2012–2028.
<https://doi.org/10.1111/bjet.13230>
- Pi, Z., Zhang, Y., Zhou, W., Xu, K., Chen, Y., Yang, J., & Zhao, Q. (2021). Learning by explaining to oneself and a peer enhances learners' theta and alpha oscillations while watching video lectures. *British Journal of Educational Technology*, 52(2), 659–679. <https://doi.org/10.1111/bjet.13048>
- Plötzner, R., Dillenbourg, P., Preier, M., & Traum, D. (1999). Learning by explaining to oneself and to others. Dins P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative learning: Cognitive and computational approaches* (p. 103–121). Pergamon.

- Putnam, R. T. (1987). Structuring and adjusting content for students: A study of live and simulated tutoring of addition. *American Educational Research Journal*, 24(1), 13–48. <https://doi.org/10.2307/1162851>
- Raggatt, P. T. F. (2015). Positioning: Dialogical voice in mind and culture. *Theory & Psychology*, 25(6), 775–797. <https://doi.org/10.1177/0959354315590850>
- Renkl, A. (1995). Learning for later teaching: An exploration of mediational links between teaching expectancy and learning results. *Learning and Instruction*, 5(1), 21–36. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)00015-H](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)00015-H)
- Renkl, A. (1996). Lernen durch erklären—oder besser doch durch zuhören? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 28, 148–168.
- Renkl, A. (1997) Lernen durch erklären: Was, wenn rückfragen gestellt werden? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 11, 41–51.
- Renkl, A. (2002). Worked-out examples: Instructional explanations support learning by self-explanations. *Learning and Instruction*, 12(5), 529–556. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00030-5)
- Reyna, J., & Meier, P. (2018). Learner-Generated Digital Media (LGDM) as an assessment tool in tertiary science education: A review of literature. *IAFOR Journal of Education*, 6(3), 93–109.
- Rhoads, J. A., Daou, M., Lohse, K. R., & Miller, M. W. (2019). The effects of expecting to teach and actually teaching on motor learning. *Journal of Motor Learning and Development*, 7(1), 84–105. <https://doi.org/10.1123/jmld.2017-0052>
- Ribosa, J. [@JesusRibosa] (2022, 22 de juliol). *Els alumnes poden crear materials didàctics per a altres alumnes (i per a altres persones). Els avantatges per a creadors* [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/JesusRibosa/status/1550529194932649985?s=20>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2020a). Percepciones de estudiantes de primaria sobre la regulación de su aprendizaje en un proyecto cooperativo de creación de videotutoriales para aprender enseñando. Dins G. Gómez, M. Ramos, C. Rodríguez, & J. C. de la Cruz (Ed.), *Teoría y práctica en investigación educativa: Una perspectiva internacional* (p. 640–653). Dykinson.
- Ribosa, J., & Duran, D. (2020b). Proyecto Bikos: Curiosidad científica y creación de vídeos para aprender enseñando. Dins A. J. Franco-Mariscal, D. Cebrián-Robles, T. Lupión-Cobos, M. C. Acebal-Expósito, & A. Blanco-López (Ed.), *Libro de actas del 1er Congreso Internacional sobre Educación Científica y Problemas Relevantes para la Ciudadanía* (p. 123–126). ENCIC.

- Ribosa, J., & Duran, D. (2021a, 23 d'agost). *A review of student-created teaching materials: Types, data sources and learning-related matters* [Comunicació]. The 19th EARLI Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Göteborg, Suècia.
- Ribosa, J., & Duran, D. (2021b). Cuando la curiosidad científica se transforma en un videotutorial para aprender enseñando: Conocimiento del contenido, elaboración de las explicaciones y complejidad de las preguntas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 87(2), 85–101.
<https://doi.org/10.35362/rie8724572>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022a). Do students learn what they teach when generating teaching materials for others? A meta-analysis through the lens of learning by teaching. *Educational Research Review*, 37, Article 100475. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100475>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022b). Nuestra pregunta científica en un videotutorial: Estudiantes que aprenden enseñando al crear materiales didácticos. Dins O. L. Agudelo, B. de Benito, A. Darder, J. Moreno, J. Munar, F. Negre, A. Pérez, J. Salinas, G. Tur, & S. Urbina (Ed.), *Libro de actas del Congreso EDUTECH 2022, Educación transformadora en un mundo digital: Conectando paisajes de aprendizaje* (p. 269–272). Institut de Recerca i Innovació Educativa.
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022c). Student-generated teaching materials: A scoping review mapping the research field. *Education in the Knowledge Society*, 23, Article 27443. <https://doi.org/10.14201/eks.27443>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2022d). Students creating videos for learning by teaching from their scientific curiosity. *Research in Science & Technological Education*. Publicació avançada en línia.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2116419>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2023a, 19 de gener). Poden els alumnes aprendre creant materials didàctics per a altres persones? *UABDivulga*.
<https://ddd.uab.cat/record/271264>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2023b). *Projecte Bikos: Aprendre ensenyant creant videotutorials* [Material docent]. <https://ddd.uab.cat/record/274691>
- Ribosa, J., & Duran, D. (2023c). Students' feelings of social presence when creating learning-by-teaching educational videos for a potential audience. *International Journal of Educational Research*, 117, Article 102128. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.102128>

- Ribosa, J., & Duran, D. (2023d). 'Who's gonna watch our video?': When students think of the audience in a learning-by-teaching task [Pòster]. The 27th JURE 2023 Pre-Conference: Education as a Hope in Uncertain Times, Tessalònica, Grècia.
- Rienovita, E., Taniguchi, M., Kawahara, M., Hayashi, Y., & Takeuchi, Y. (2018). Implementation of interactive peer learning environment enhances learners' self-esteem and self-efficacy. *International Journal of Learning Technologies and Learning Environments*, 1(1), 1–24. <https://doi.org/10.52731/ijltle.v1.i1.227>
- Rijlaarsdam, G., Couzijn, M., Janssen, T., Braaksma, M., & Kieft, M. (2006). Writing experiment manuals in science education: The impact of writing, genre, and audience. *International Journal of Science Education*, 28(2–3), 203–233. <https://doi.org/10.1080/09500690500336932>
- Rittle-Johnson, B., Saylor, M., & Swygert, K. E. (2008). Learning from explaining: Does it matter if mom is listening? *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(3), 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2007.10.002>
- Roediger, H. L., & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.003>
- Roelle, J., & Berthold, K. (2017). Effects of incorporating retrieval into learning tasks: The complexity of the tasks matters. *Learning and Instruction*, 49, 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.01.008>
- Roelle, J., Froese, L., Krebs, R., Obergassel, N., & Waldeyer, J. (2022). Sequence matters! Retrieval practice before generative learning is more effective than the reverse order. *Learning and Instruction*, 80, Article 101634. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101634>
- Rohrbeck, C. A., Ginsburg-Block, M. D., Fantuzzo, J. W., & Miller, T. R. (2003). Peer-assisted learning interventions with elementary school students: A meta-analytic review. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 240–257. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.2.240>
- Romero, M., Usart, M., & Ott, M. (2015). Can serious games contribute to developing and sustaining 21st century skills? *Games and Culture*, 10(2), 148–177. <https://doi.org/10.1177/1555412014548919>
- Roscoe, R. D. (2014). Self-monitoring and knowledge-building in learning by teaching. *Instructional Science*, 42(3), 327–351. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9283-4>

- Roscoe, R. D., & Chi, M. T. H. (2007). Understanding tutor learning: Knowledge-building and knowledge-telling in peer tutors' explanations and questions. *Review of Educational Research*, 77(4), 534–574.
<https://doi.org/10.3102/0034654307309920>
- Roscoe, R. D., & Chi, M. T. H. (2008). Tutor learning: The role of explaining and responding to questions. *Instructional Science*, 36(4), 321–350.
<https://doi.org/10.1007/s11251-007-9034-5>
- Rosenshine, B. (2009). The empirical support for direct instruction. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 201–220). Routledge.
- Rozenblit, L., & Keil, F. (2002). The misunderstood limits of folk science: An illusion of explanatory depth. *Cognitive Science*, 26(5), 521–562.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog2605_1
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1987). Knowledge telling and knowledge transforming in written composition. Dins S. Rosenberg (Ed.), *Advances in applied psycholinguistics, Vol. 2: Reading, writing, and language learning* (p. 142–175). Cambridge University Press.
- Scheiter, K., Ackerman, R., & Hoogerheide, V. (2020). Looking at mental effort appraisals through a metacognitive lens: Are they biased? *Educational Psychology Review*, 32(4), 1003–1027.
<https://doi.org/10.1007/s10648-020-09555-9>
- Schnotz, W., Fries, S., & Horz, H. (2009). Motivational aspects of cognitive load theory. Dins M. Wosnitza, S. A. Karabenick, A. Efklides, & P. Nenniger (Ed.), *Contemporary motivation research: From global to local perspectives* (p. 69–96). Hogrefe & Huber.
- Schunk, D. H. (1991). Self-efficacy and academic motivation. *Educational Psychologist*, 26(3–4), 207–231.
<https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653133>
- Schwartz, D. L., Chase, C., Chin, D. B., Oppezzo, M., Kwong, H., Okita, S., Biswas, G., Roscoe, R., Jeong, H., & Wagster, J. (2009). Interactive metacognition: Monitoring and regulating a teachable agent. Dins D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Ed.), *Handbook of metacognition in education* (p. 340–358). Routledge.
- Schwartz, D. L., Lindgren, R., & Lewis, S. (2009). Constructivism in an age of non-constructivist assessments. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 34–61). Routledge.

- Serholt, S., Ekström, S., Küster, D., Ljungblad, S., & Pareto, L. (2022). Comparing a robot tutee to a human tutee in a learning-by-teaching scenario with children. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, Article 836462. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.836462>
- Sharan, Y. (2010). Cooperative learning for academic and social gains: Valued pedagogy, problematic practice. *European Journal of Education*, 45(2), 300–313. <https://doi.org/10.1111/j.1465-3435.2010.01430.x>
- Sharot, T., & Phelps, E. A. (2004). How arousal modulates memory: Disentangling the effects of attention and retention. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4(3), 294–306. <https://doi.org/10.3758/CABN.4.3.294>
- Sharpley, A. M., Irvine, J. W., & Sharpley, C. F. (1983). An examination of the effectiveness of a cross-age tutoring program in mathematics for elementary school children. *American Educational Research Journal*, 20(1), 103–111. <https://doi.org/10.3102/00028312020001103>
- Short, J., Williams, E., & Christie, B. (1976). *The social psychology of telecommunications*. Wiley.
- Sibley, L., Fiorella, L., & Lachner, A. (2022). It's better when I see it: Students benefit more from open-book than closed-book teaching. *Applied Cognitive Psychology*, 36(6), 1347–1355. <https://doi.org/10.1002/acp.4017>
- Siko, J. (2013). Are they climbing the pyramid? Rating student-generated questions in a game design project. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 39(1). <https://www.learntechlib.org/p/54425/>
- Sjölund, S., Lindvall, J., Larsson, M., & Ryve, A. (2022). Using research to inform practice through research-practice partnerships: A systematic literature review. *Review of Education*, 10(1), Article e3337. <https://doi.org/10.1002/rev3.3337>
- Slavin, R. E. (2020). How evidence-based reform will transform research and practice in education. *Educational Psychologist*, 55(1), 21–31. <https://doi.org/10.1080/00461520.2019.1611432>
- Snelson, C. (2018). Video production in content-area pedagogy: A scoping study of the research literature. *Learning, Media and Technology*, 43(3), 294–306. <https://doi.org/10.1080/17439884.2018.1504788>
- Somerville, L. H., Jones, R. M., Ruberry, E. J., Dyke, J. P., Glover, G., & Casey, B. J. (2013). The medial prefrontal cortex and the emergence of self-conscious emotion in adolescence. *Psychological Science*, 24(8), 1554–1562. <https://doi.org/10.1177/0956797613475633>

- Soto, M. (2015). Elementary students' mathematical explanations and attention to audience with screencasts. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(4), 242–258. <https://doi.org/10.1080/15391523.2015.1078190>
- Stenhoff, D. M., & Lignugaris/Kraft, B. (2007). A review of the effects of peer tutoring on students with mild disabilities in secondary settings. *Exceptional Children*, 74(1), 8–30. <https://doi.org/10.1177/001440290707400101>
- Strauss, S., & Ziv, M. (2012). Teaching is a natural cognitive ability for humans. *Mind, Brain, and Education*, 6(4), 186–196. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2012.01156.x>
- Sweller, J. (2006). The worked example effect and human cognition. *Learning and Instruction*, 16(2), 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.02.005>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Tanaka, F., & Matsuzoe, S. (2012). Children teach a care-receiving robot to promote their learning: Field experiments in a classroom for vocabulary learning. *Journal of Human-Robot Interaction*, 1(1), 78–95. <https://doi.org/10.5898/JHRI.1.1.Tanaka>
- Tanner, A., Duhe, S., Evans, A., & Condrasky, M. (2008). Using student-produced media to promote healthy eating: A pilot study on the effects of a media and nutrition intervention. *Science Communication*, 30(1), 108–125. <https://doi.org/10.1177/1075547008319435>
- Thayer, R. E. (1967). Measurement of activation through self-report. *Psychological Reports*, 20(2), 663–678. <https://doi.org/10.2466/pr0.1967.20.2.663>
- Thayer, R. E. (1986). Activation-Deactivation Adjective Check List: Current overview and structural analysis. *Psychological Reports*, 58(2), 607–614. <https://doi.org/10.2466/pr0.1986.58.2.607>
- Thibaut, P., & Curwood, J. S. (2018). Multiliteracies in practice: Integrating multimodal production across the curriculum. *Theory Into Practice*, 57(1), 48–55. <https://doi.org/10.1080/00405841.2017.1392202>
- Thomas, A. (1994). Conversational learning. *Oxford Review of Education*, 20(1), 131–142. <https://doi.org/10.1080/0305498940200108>

- Tinmaz, H., Lee, Y. T., Fanea-Ivanovici, M., & Baber, H. (2022). A systematic review on digital literacy. *Smart Learning Environments*, 9(1), Article 21. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00204-y>
- Tobias, S., & Duffy, T. M. (Ed.). (2009). *Constructivist instruction: Success or failure?* Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203878842>
- Toohey, K., Dagenais, D., Fodor, A., Hof, L., Nuñez, O., Singh, A., & Schulze, L. (2015). “That sounds so coooool”: Entanglements of children, digital tools, and literacy practices. *TESOL Quarterly*, 49(3), 461–485. <https://doi.org/10.1002/tesq.236>
- Topping, K. J. (2000). *Tutoring* (Educational Practices Series 5). International Academy of Education.
- Topping, K. J. (2005). Trends in peer learning. *Educational Psychology*, 25(6), 631–645. <https://doi.org/10.1080/01443410500345172>
- Tsai, M. J. (2009). Online Information Searching Strategy Inventory (OISSI): A quick version and a complete version. *Computers & Education*, 53(2), 473–483. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.03.006>
- Van Blankenstein, F. M., Dolmans, D. H. J. M., Van der Vleuten, C. P. M., & Schmidt, H. G. (2011). Which cognitive processes support learning during small-group discussion? The role of providing explanations and listening to others. *Instructional Science*, 39(2), 189–204. <https://doi.org/10.1007/s11251-009-9124-7>
- Van Brussel, S., Timmermans, M., Verkoeijen, P., & Paas, F. (2021). Teaching on video as an instructional strategy to reduce confirmation bias—A pre-registered study. *Instructional Science*, 49, 475–496. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09547-4>
- Van Laar, E., Van Deursen, A. J. A. M., Van Dijk, J. A. G. M., & De Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in Human Behavior*, 72, 577–588. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010>
- Van Leeuwen, A., & Janssen, J. (2019). A systematic review of teacher guidance during collaborative learning in primary and secondary education. *Educational Research Review*, 27, 71–89. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.02.001>
- Van Lehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197–221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>

- Vaupotič, N., Kienhues, D., & Jucks, R. (2022). Gaining insight through explaining? How generating explanations affects individuals' perceptions of their own and of experts' knowledge. *International Journal of Science Education, Part B*, 12(1), 42–59.
<https://doi.org/10.1080/21548455.2021.2018627>
- Vygotski, L. S. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>
- Vos, N., Van der Meijden, H., & Denessen, E. (2011). Effects of constructing versus playing an educational game on student motivation and deep learning strategy use. *Computers & Education*, 56(1), 127–137.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.08.013>
- Waldeyer, J., Heitmann, S., Moning, J., & Roelle, J. (2020). Can generative learning tasks be optimized by incorporation of retrieval practice? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 9(3), 355–369.
<https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2020.05.001>
- Wang, Y., Lin, L., & Chen, O. (2021). The benefits of teaching on comprehension, motivation, and perceived difficulty: Empirical evidence of teaching expectancy and the interactivity of teaching. *British Journal of Educational Psychology*, 91(4), Article 12416. <https://doi.org/10.1111/bjep.12416>
- Webb, N. M. (1989). Peer interaction and learning in small groups. *International Journal of Educational Research*, 13(1), 21–39.
[https://doi.org/10.1016/0883-0355\(89\)90014-1](https://doi.org/10.1016/0883-0355(89)90014-1)
- Weber-Wulff, D. (2019). Plagiarism detectors are a crutch, and a problem. *Nature*, 567(7749), 435. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00893-5>
- Willingham, D. T., & Daniel, D. B. (2021). Making education research relevant: How researchers can give teachers more choices. *Education Next*, 21(2), 28–33.
- Winslett, G. (2014). What counts as educational video?: Working toward best practice alignment between video production approaches and outcomes. *Australasian Journal of Educational Technology*, 30(5), 487–502.
<https://doi.org/10.14742/ajet.458>
- Wise, A. F., & O'Neill, K. (2009). Beyond More Versus Less: A Reframing of the Debate on Instructional Guidance. Dins S. Tobias & T. M. Duffy (Ed.), *Constructivist instruction: Success or failure?* (p. 82–105). Routledge.
- Wong, L. H., Chin, C. K., Tan, C. L., & Liu, M. (2010). Students' personal and social meaning making in a Chinese idiom mobile learning environment. *Journal of Educational Technology & Society*, 13(4), 15–26.

- Wong, L. H., & Looi, C. K. (2010). Vocabulary learning by mobile-assisted authentic content creation and social meaning-making: Two case studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(5), 421–433. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2010.00357.x>
- Woo, H., LeTendre, G. K., Pham-Shouse, T., & Xiong, Y. (2021). The use of social robots in classrooms: A review of field-based studies. *Educational Research Review*, 33, Article 100388. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100388>
- Wood, D., & Wood, H. (2009). Vygotsky, tutoring and learning. Dins H. Daniels, H. Lauder, & J. Porter (Ed.), *Educational theories, cultures and learning: A critical perspective* (p. 138–152). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203379417-14>
- Yadollahi, E., Johal, W., Paiva, A., & Dillenbourg, P. (2018). When deictic gestures in a robot can harm child-robot collaboration. Dins M. N. Giannakos, L. Jaccheri, & M. Divitini (Ed.), *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children* (p.195–206). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3202185.3202743>
- Yu, F. Y. (2022). An online learning system supporting student-generated explanations for questions: Design, development, and pedagogical potential. *Interactive Learning Environments*, 30(5), 782–802. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1686398>
- Yu, F. Y., & Yang, Y. T. (2014). To see or not to see: Effects of online access to peer-generated questions on performance. *Journal of Educational Technology and Society*, 17(3), 27–39.
- Zacharias, J. R. (1966). Learning by teaching. *Educational Services Incorporated Quarterly Report, Spring-Summer*, 5–8.
- Zahn, C., Schaeffeler, N., Giel, K. E., Wessel, D., Thiel, A., Zipfel, S., & Hesse, F. W. (2014). Video clips for YouTube: Collaborative video creation as an educational concept for knowledge acquisition and attitude change related to obesity stigmatization. *Education and Information Technologies*, 19(3), 603–621. <https://doi.org/10.1007/s10639-013-9277-5>

Imatge de la portada: *Pati d'escola* (1935), del pintor Zygmunt Waliszewski.



Ribosa, J. (2023). *Estudiants que aprenen ensenyant quan creen materials didàctics per a altres persones: Aprensenyar de forma indirecta en contextos naturals* [Tesi doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona].

Aquest treball es troba sota una llicència Creative Commons Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 4.0. Permet la descàrrega del document i que es pugui compartir amb la gent sempre que se'n reconegui l'autoria, però no pot ser modificat de cap manera ni ser emprat amb finalitat comercial.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>