

M1242. Treball Final de Màster

El paper de les TIC en la didàctica de la matemàtica amb enfocament STEAM

GEMMA BASTARDAS FERRER

Tutor: Albert Valls Pou



Màster en Educació i TIC (e-learning)
Especialitat: Disseny Tecnopedagògic
Àrea: Aproximació STEAM / Didàctiques
Específiques i TIC

4/01/2021 | BELLVER DE CERDANYA



RESUM DE LA PROPOSTA

La majoria d'estudiants perceben les matemàtiques com una ciència complicada, poc útil i només per a persones extravagants o molt intel·ligents, sense adonar-se de la seva bellesa ni que realment esdevenen el llenguatge que permet descriure el món d'una forma que sovint implica creativitat i art. Una de les causes principals d'aquesta percepció errònia o aversió envers aquesta ciència rau en l'enfocament i la metodologia amb què s'incorpora a l'aula.

L'educació STEAM, acrònim dels mots *Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics*, es basa en la integració d'aquestes cinc disciplines i presenta un paradigma educatiu nou en què la ciència i la tecnologia s'interpreten a través de l'enginyeria i l'art, i tot es fonamenta en les matemàtiques.

En aquest treball s'exposa l'estat de la qüestió de l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM i es fa un estudi del marc teòric de referència, posant una atenció especial a la didàctica utilitzada per a la seva implementació i al paper que hi juga la tecnologia. En particular, s'analitzen, d'una banda, els beneficis que aporta el canvi de perspectiva en relació al desenvolupament d'habilitats i capacitats com el pensament crític i creatiu, l'anàlisi i resolució de problemes, la innovació o el treball en equip; i, d'altra banda, les dificultats i reptes que suposa fer un gir a l'ensenyament tradicional de les matemàtiques. Finalment, a partir de les conclusions extretes d'aquest estudi, es presenten pautes per al disseny i la implementació de propostes formatives amb enfocament STEAM i suport TIC a l'aula de matemàtiques.

Paraules clau: didàctica, matemàtiques, STEAM, STEM, tecnologia educativa, TIC

ABSTRACT

Most students perceive mathematics as a complicated science, useless and only for extravagant or very intelligent people, without realizing its beauty or the fact that it's the language that allows to describe the world in a way which often involves creativity and art. One of the main causes of this misperception or aversion to this science lies in the approach and methodology with which it is taught.

STEAM education, an acronym for the words Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics, is based on the integration of these five disciplines and presents a new educational paradigm in which science and technology are interpreted through engineering and art, and everything is based on mathematics.

In this work the author exposes the state of the question of the teaching of mathematics with a STEAM approach and makes an study of the theoretical framework, paying special attention to the didactics used for its implementation in the classroom and the role that technology plays in it. In particular, she analyzes, on the one hand, the benefits of the change of perspective in relation to the development of skills and abilities such as critical and creative thinking, analysis and problem solving, innovation or team work; and, on the other hand, the difficulties and challenges of leaving behind the traditional way of teaching mathematics. Finally, based on the conclusions drawn from this study, the authour presents some guidelines to design and implement STEAM activities with the support of ICT in the mathematics classroom.

Keywords: didactics, mathematics, STEAM, STEM, educational technology, ICT

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	3
2. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA I JUSTIFICACIÓ	4
3. OBJECTIUS	6
4. ANTECEDENTS I MARC TEÒRIC	7
4.1. ANTECEDENTS	7
4.1.1. LA REVOLUCIÓ STEM	7
4.1.2. DE STEM A STEAM	8
4.1.3. TECNOLOGIA EDUCATIVA I STEAM	10
4.1.4. MATEMÀTIQUES AMB CLAU STEAM	11
4.1.5. EXPERIÈNCIES	12
PROGRAMES PER A L'IMPULS DE L'EDUCACIÓ STEAM	12
ENFOCAMENT STEAM A L'AULA DE MATEMÀTIQUES	12
4.2. MARC TEÒRIC	13
4.2.1. EDUCACIÓ STEAM	13
4.2.2. METODOLOGIES HABITUALS EN EDUCACIÓ STEAM	14
APRENTATGE BASAT EN PROBLEMES, EN PROJECTES I EN	
REPTES	15
DESIGN THINKING	16
APRENTATGE COL·LABORATIU	17
4.2.3. ESTRATÈGIES METODOLÒGIQUES	17
AULA INVERSA	18
LUDIFICACIÓ	18
4.2.4. TECNOLOGIA EDUCATIVA	18
ENTORNS VIRTUALS D'APRENTATGE	19
REALITAT AUGMENTADA I REALITAT VIRTUAL	19
ROBÒTICA	20
PROGRAMARI ESPECÍFIC	21
4.2.5. INTERRELACIONS ENTRE CONCEPTES	21

5. ANÀLISI I DISCUSSIÓ DEL TEMA	22
5.1. BENEFICIS I REPTES DE L'EDUCACIÓ STEAM	22
5.2. EVOLUCIÓ DE LA PROBLEMÀTICA	23
5.3. INTERROGANTS I PROBLEMÀTIQUES	24
5.4. LÍNIES D'ACTUACIÓ	25
5.5. ASPECTES ÈTICS I SOCIALS	27
6. CONCLUSIONS	28
7. LIMITACIONS	29
8. LÍNIES FUTURES DE TREBALL	30
9. REFERÈNCIES	31
10. ANNEXOS	43
ANNEX 1. MODELS PEDAGÒGICS	43
ANNEX 2. TEORIES D'APRENENTATGE	46
ANNEX 3. DECÀLEG DE RECOMANACIONS I ESTRATÈGIES	48
ANNEX 4. IMPLEMENTACIÓ A NIVELL DE CENTRE EDUCATIU	50

1. INTRODUCCIÓ

El terme STEM, acrònim dels mots en anglès *Science, Technology, Engineering and Mathematics*, va ser introduït per Ramaley de la National Science Foundation (NSF) el 2001 com a reordenació del terme SMET, encunyat a mitjans de la dècada dels 90 per la NSF per referir-se a currículums o estudis centrats en aquestes disciplines (Hallinen; Watson i Watson, 2013). Va ser llavors, a principis del segle XXI, quan es va començar a parlar d'educació STEM com una manera d'ensenyar ciència, tecnologia, enginyeria i matemàtiques de forma integrada i amb un enfocament tant teòric com pràctic.

L'any 2006 Yakman va incorporar la A d'*Arts* a l'acrònim amb l'objectiu de presentar un paradigma educatiu nou en què la ciència i la tecnologia s'interpreten a través de l'enginyeria i l'art, i tot es basa en les matemàtiques. Així va sorgir el terme STEAM (Salguero, 2018; Watson i Watson, 2013; Yakman, 2010), i ara es parla indistintament d'educació STEM o STEAM, tot i la diferència entre ambdós conceptes (Pérez, 2015).

L'educació STEAM, en què la integració de les disciplines és la clau de l'èxit, implica un aprenentatge autèntic i significatiu (Bertrand i Namukasa, 2020), alhora que permet als estudiants desenvolupar les habilitats del segle XXI com ara el pensament crític i creatiu, l'anàlisi i resolució de problemes, la innovació, la comunicació i el treball en equip (Couso, 2017). En particular, el món no es pot entendre sense les matemàtiques (Bleicher, 2017; Stein, 2008). Ara bé, les xifres mostren que, d'una banda, els resultats acadèmics en aquesta matèria són pobres, conseqüència d'un nivell deficient (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2019); i, d'altra banda, el nombre de matriculacions al grau de matemàtiques i graus afins com estadística, informàtica, física o enginyeries és baix en relació al nombre total d'universitaris (Hernández et al., 2020, p. 58). Aquestes dades evidencien un problema greu al qual cal donar resposta i justament l'educació STEAM pot ajudar (Cook et al., 2017; Huang, 2020).

En aquest treball s'exposa l'estat de la qüestió de l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM i es fa un estudi del marc teòric de referència, tot analitzant exhaustivament les metodologies i tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) usades per a la seva implementació. En concret, s'identifiquen els beneficis que aporta el canvi de perspectiva, i les dificultats i reptes que suposa fer un gir a l'ensenyament tradicional de les matemàtiques. Tot seguit es plantegen interrogants i problemàtiques, i es procuren un decàleg d'estratègies i recomanacions per a incorporar l'educació STEAM amb suport TIC a l'aula de matemàtiques i també una pauta per al disseny i implementació de propostes formatives amb aquest enfocament. Finalment, s'extreuen conclusions i es descriuen tant les limitacions com possibles línies futures de treball.

2. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA I JUSTIFICACIÓ

En plena era digital, cada cop és més evident la necessitat de desenvolupament de les habilitats del segle XXI, enteses com les capacitats, habilitats i aptituds d'aprenentatge identificades com a indispensables per l'èxit en els àmbits laboral i social per part d'educadors, empresaris, acadèmics i agències governamentals (Dede, 2010). Arrel d'això, diverses organitzacions han establert marcs per facilitar-ne la comprensió i la integració als processos d'ensenyament en els centres educatius (Global Partnership for Education, 2020). En aquest treball es pren com a referent el marc elaborat per la *Partnership for 21st Century Skills* (P21), associació que recentment s'ha incorporat a una xarxa més àmplia, [Battelle for Kids](#), i que així classifica les habilitats del segle XXI:

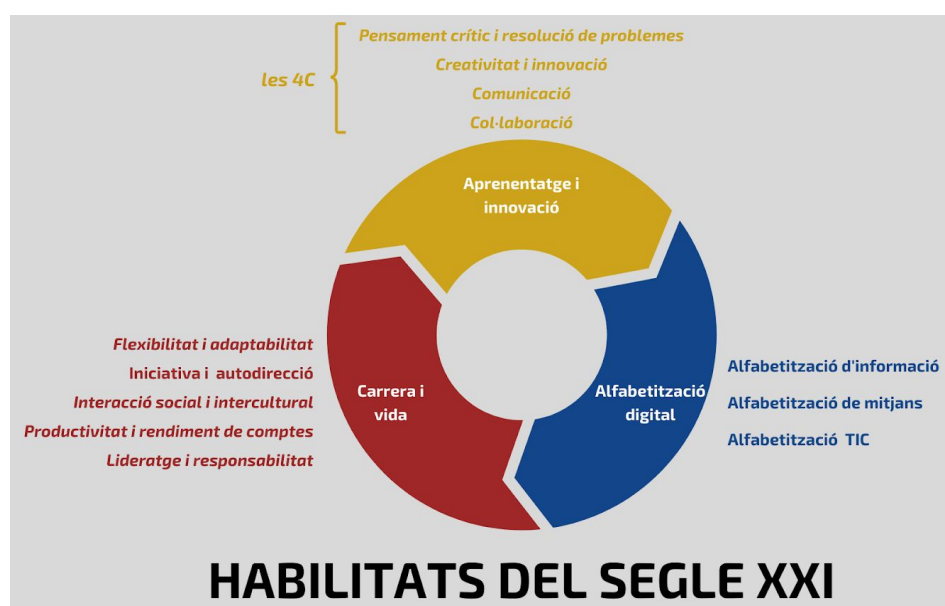


Figura 1. Habilitats del segle XXI. Adaptació de les imatges *P21's Framework for 21st Century Learning* i *P21 skills*. Wikipedia. Llicència CC BY-SA 4.0 i CC BY 3.0, respectivament.

En gran part, aquestes habilitats coincideixen amb les habilitats STEAM (Taylor, 2016), que són clau per avançar en el futur i, per contra, en moltes societats estan en crisi (Jesionkowska et al., 2020). D'altra banda, l'adquisició i perfeccionament d'aquestes competències implica una modificació de la didàctica (Sinay et al., 2017), i, més en general, una transformació del sistema educatiu, el qual ha d'evolucionar cap a un aprenentatge actiu per poder afrontar els reptes i satisfer les demandes de la vida real (Sutama et al., 2020). En particular, Thuneberg et al. (2017) remarquen la necessitat de millorar la creativitat de l'educació matemàtica a l'escola. En aquesta línia, els resultats de diverses proves mostren que l'ús de tecnologies STEAM en disciplines com matemàtiques i física incrementa el rendiment i l'autoestima, alhora que afavoreix el desenvolupament de capacitats creatives (Segura, 2017 i Chanthala et al., 2018

citats per Shatunova et al., 2019). De fet, la combinació de les TIC amb l'educació STEAM magnifica l'experiència educativa i millora l'aprenentatge (Hyun i Park, 2020). Ara bé, perquè la transformació de la didàctica de la matemàtica a l'aula en el sentit esmentat sigui una realitat és clau conèixer d'on partim, on ens trobem i quins passos s'han de fer. Hi ha molts treballs que aclareixen el concepte d'educació STEAM, però encara cal saber què implica a la pràctica, focalitzar en els resultats d'aprenentatge i tenir clar que la forma en què s'implementa és essencial (Perignat i Katz-Buonincontro, 2019). També hi ha articles i estudis de casos que contribueixen a establir un marc d'incorporació de l'educació STEAM amb suport TIC a l'aula (Herro i Quigley, 2016; Jesionkowska et al., 2020; Chen et al., 2019), i algun treball sobre l'ensenyament de matemàtiques amb enfocament STEAM i suport tecnològic (Solin, 2017; Sutama et al., 2020). Tot i així, manquen estudis que proporcionin una pauta pedagògica o els recursos necessaris per a una implementació efectiva.

Aquest treball sorgeix de l'interès i la voluntat de contribuir a la innovació educativa que requereix la quarta revolució industrial (Huang, 2020; Malele i Ramaboka, 2020; Shatunova et al., 2019). Més específicament, ofereix a l'autora l'oportunitat d'aportar informació i coneixements per modificar la didàctica de la matemàtica de forma eficaç amb l'objectiu de millorar l'ensenyament d'aquesta matèria des d'una perspectiva nova i amb el suport de les TIC. Per tant, aquest treball és atractiu i útil per a tot professional de l'educació interessat en aconseguir un ensenyament i aprenentatge efectiu de les matemàtiques aprofitant tot el potencial de la tecnologia i d'acord amb les necessitats de formació dels alumnes com a ciutadans del futur.

En relació a l'enfocament de l'estudi, partint de la revisió de la literatura, s'ha constatat la viabilitat de la implementació de l'educació STEAM conjuntament amb TIC a l'aula com a alternativa a l'ensenyament tradicional de les matemàtiques, així com identificat els beneficis, les limitacions i la didàctica més òptima en aquest escenari per millorar els resultats d'aprenentatge dels estudiants, incrementar la seva motivació i afavorir el desenvolupament de les habilitats i competències bàsiques de tot ciutadà digital.

Aquest treball està estretament relacionat amb l'especialitat cursada en el màster, disseny tecnopedagògic. Per una part, l'anàlisi exhaustiva sobre la didàctica de la matemàtica amb clau STEAM i suport TIC aporta dades per millorar tant la planificació d'experiències educatives en el context citat com el disseny de recursos educatius necessaris per implementar-les de forma efectiva. Per altra part, la creació de pautes per al disseny i la implementació d'activitats STEAM amb suport TIC a l'aula de

matemàtiques és una tasca reflexiva pròpia de tot dissenyador tecnopedagògic quan es vol produir una transformació educativa profunda.

Amb l'elaboració d'aquest treball es pretén demostrar que l'educació STEAM i les TIC són elements clau en el canvi que cal en l'ensenyament de les matemàtiques per millorar-ne la percepció i l'aprenentatge per part de l'alumnat, així com per incrementar la seva motivació i el seu interès per professions científiques, en particular entre les noies, i així desmitificar que la ciència té gènere. En concret, s'identifiquen la didàctica matemàtica i la tecnologia educativa més adequades per a un ensenyament efectiu de les matemàtiques amb enfocament STEAM i suport tecnològic, i es procuren pautes concretes per al disseny i la implementació d'aquest tipus d'activitats.

3. OBJECTIUS

L'educació STEAM és un paradigma educatiu molt interessant, però relativament nou (Couso, 2015; Yakman, 2010). Tot i haver-hi força literatura publicada sobre el tema, hi ha molts interrogants sense resposta. Per exemple: es parla molt de les disciplines i l'educació STEAM, però fins a quin punt es considera i s'incorpora de forma efectiva a l'aula com a alternativa o solució a la situació actual? Per què està en auge? És cert que permet desenvolupar moltes habilitats del segle XXI? Com es pot aconseguir una integració real de les matemàtiques amb la resta de disciplines STEAM? De debò aquest enfocament suposa una millora significativa i autèntica de l'ensenyament de les matemàtiques? Quins passos cal seguir per dissenyar una activitat de matemàtiques amb clau STEAM? I les TIC? Quines s'usen? Quin és el seu rol i què aporten? Poden millorar les experiències d'aprenentatge? En resum, com ajuden l'educació STEAM i les TIC a millorar l'ensenyament de les matemàtiques i, per tant, a obtenir resultats d'aprenentatge més bons i incrementar el nombre d'alumnes en estudis científics? Aquest treball pretén respondre aquestes qüestions, de forma completa o parcial, i per això s'han definit els objectius generals i específics que es recullen a la Taula 1.

Taula 1. Objectius generals i específics del TFM.

Objectius generals	Objectius específics
1. Identificar les característiques fonamentals de la didàctica de la matemàtica amb un enfocament STEAM i de la tecnologia educativa usada en aquest context.	1. representar la correspondència que hi ha entre les habilitats del segle XXI i aquelles que permeten desenvolupar les activitats d'aprenentatge STEAM; 2. identificar les metodologies usades i/o que poden ser útils en la implementació de la matemàtica amb enfocament STEAM i suport TIC a l'aula;

<p>2. Comprovar la viabilitat i potencialitat de l'educació STEAM amb suport TIC com a plantejament alternatiu a l'ensenyament tradicional de les matemàtiques.</p> <p>3. Dissenyar una proposta formativa de matemàtiques amb enfocament STEAM i suport de la tecnologia.</p>	<p>3. determinar els models pedagògics més adequats com a fonament de la implementació de propostes educatives de matemàtiques amb enfocament STEAM i suport TIC a l'aula;</p> <p>4. identificar la tecnologia educativa que s'utilitza en el marc de l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM;</p> <p>5. dissenyar les línies bàsiques dels rols del docent, dels alumnes i de les TIC en la implementació a l'aula d'activitats de matemàtiques amb clau STEAM;</p> <p>6. crear una guia de recomanacions orientades al disseny tecnopedagògic d'activitats d'aprenentatge de matemàtiques amb enfocament STEAM i suport TIC, a partir de la identificació de bones pràctiques d'implementació a l'aula que permetin reconèixer i avaluar avantatges i limitacions.</p>
--	---

4. ANTECEDENTS I MARC TEÒRIC

4.1. ANTECEDENTS

Les tendències educatives han anat canviant i sempre s'han vist influïdes per la situació socio-política existent. En el cas de l'educació STEAM, el llançament del satèl·lit rus *Sputnik* (1957) va fer que a Estats Units sorgís l'interès del govern per promoure l'educació en ciència, tecnologia, enginyeria i matemàtiques. Un any més tard es va fundar la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que va liderar l'impuls del país cap a una major educació i sensibilització en ciència, i l'atenció del públic cap a l'enginyeria i l'espai va motivar els estudiants a cursar carreres científiques i convertir-se en professionals d'aquests camps (STEM Education, s.d.).

Ara bé, malgrat la incorporació de programes educatius per incentivar les disciplines científiques, durant els anys 80 l'escletxa entre el nombre d'estudiants amb formació STEM i el nombre de llocs de treball en aquests camps era considerable arreu del món. Com a conseqüència, a principis dels anys 90 consells com el *National Science Education Standards* (NSES) i el *National Council of Teachers of Mathematics* (NCTM) van definir unes normes i directrius per ajudar als docents dels Estats Units a establir el currículum en disciplines STEM (NCTM, s.d.). Aquest moment va suposar un punt d'inflexió perquè, per primer cop, es van etiquetar aquestes idees amb un acrònim, SMET, que a principis del segle XXI esdevindria STEM (Neff, s.d.).

4.1.1. LA REVOLUCIÓ STEM

La manca de persones amb formació en els àmbits STEM per satisfer les demandes del mercat laboral de la quarta revolució industrial és una realitat (Business Europe,

2018; Castanys et al. 2017; Hernández et al., 2020), i esdevé un repte a nivell internacional (Cornelius, 2011; Marginson et al. 2017). Amb la intenció de fer-hi front, l'any 2010 el govern dels Estats Units va engegar el programa *Educate to Innovate* per millorar l'educació en STEM a tot el país (The White House: President Barack Obama, s.d.). Actualment, els governs són conscients de la necessitat de desenvolupar competències bàsiques relacionades amb les disciplines STEM per continuar creixent, econòmicament parlant (Croak, 2018). És per això que l'impuls d'iniciatives STEM és un dels objectius primordials de la planificació educativa d'Estats Units, però també de molts països de la Unió Europea i d'Àsia (Pérez, 2015).

Ara bé, no tothom entén l'acrònim STEM de la mateixa manera (Canu, 2017). D'una banda, hi ha la visió pròpia de les entitats governamentals, segons la qual STEM fa referència només al conjunt de disciplines relacionades amb professions científiques i tècniques, així que focalitza només en l'objectiu final: formar professionals d'aquestes àrees. D'altra banda, hi ha una interpretació pedagògica i més completa, que parla tant de l'objectiu final com del mitjà per assolir-lo i entén l'educació STEM com un model educatiu basat en la integració d'aquestes matèries. Ambdues perspectives, però, convergeixen en la necessitat d'adaptació dels sistemes educatius a les competències requerides per les empreses i pel món laboral actuals (Castanys et al., 2017).

4.1.2. DE STEM A STEAM

Les disciplines STEM afavoreixen el desenvolupament de competències tan bàsiques com el pensament crític i creatiu i l'anàlisi i resolució de problemes (Sinay et al., 2017), i promouen també habilitats comunicatives i de treball en equip (Bertrand i Namukasa, 2020). Però... i la capacitat d'innovació?

Els estudis de Yakman (2008) sobre el procés d'ensenyament i aprenentatge a través de les matèries STEM confirmen l'existència d'influències de les disciplines artístiques en aquest tipus de formació. Arrel d'això, Yakman va encunyar el terme STEAM i va establir un marc per estructurar i analitzar la naturalesa de l'estudi i la pràctica dels camps formals de la ciència, la tecnologia, l'enginyeria, les arts i les matemàtiques. Segons aquest marc, l'educació STEAM es pot definir com la ciència i la tecnologia interpretades per mitjà de l'enginyeria i les arts, tot basat en el llenguatge propi de les matemàtiques. Mentre que Maeda (2013) afirma que sense les arts no és possible la innovació i cal afegir l'art a l'educació STEM. Per altra banda, diferents experiències i estudis confirmen que la inclusió de l'art millora els resultats de l'aprenentatge STEM (Crayton i Svihla, 2015; Herro i Quigley, 2017; Paik, Kim i Lee, 2018), de manera que

l'educació STEAM esdevé l'opció més òptima, quan la seva incorporació està ben justificada i fonamentada (Perignat i Katz-Buonincontro, 2019).

El moviment a favor de l'educació STEAM suposa canvis profunds, ja que una millora de la comprensió d'aquestes disciplines i l'adquisició de les competències que s'hi relacionen només és possible si s'acompanya d'una evolució del sistema educatiu (Aleksandrov, 2017 citat per Shatunova et al., 2019), que s'inicia amb un canvi de la didàctica de les disciplines (Sinay et al., 2017), en tots els seus punts (vegeu Taula 2).

Taula 2. Canvis que implica l'educació STEAM en la didàctica de les cinc disciplines.

Aspectes de la didàctica STEAM	Canvis que comporta
1. Aprenentatge centrat en l'alumne	<p>Canvi de rols del docent i de l'alumne.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Alumne: responsable del seu procés d'aprenentatge i participa activament en la construcció dels seus propis coneixements. ● Docent: acompanya i guia l'alumne, deixant de ser un mer transmissor de continguts; facilita continguts, eines, recursos i entorns d'aprenentatge a l'alumnat per possibilitar el seu aprenentatge; planifica activitats riques i autèntiques, i les adapta (Herro i Quigley, 2016; Bertrand i Namukasa, 2020).
2. Integració disciplinar	<p>Modificació de currículums i de continguts. Cal:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● incloure continguts d'àmbits diversos per ensenyar conceptes curriculars i resoldre situacions complexes; ● plantejar situacions connectades amb el món real (Jesionkowska et al., 2020), de manera que el problema preval per sobre de les disciplines (Quigley, 2020); ● reorganitzar currículums i continguts a favor de l'ús d'escenaris (Herro i Quigley, 2016).
3. Treball transdisciplinar, sovint amb suport TIC i en grup	<p>Redefinició dels entorns d'aprenentatge, tant físics com virtuals, per possibilitar l'execució de les tasques (Herro i Quigley, 2016). Per exemple, es poden usar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● espais creatius: proporcionen entorns per a un treball interdisciplinar efectiu d'alumnes d'escola, estudiants i graduats superiors en projectes reals (Shatunova et al., 2019); ● plataformes virtuals d'aprenentatge interactives (Chen, Tang i Mou, 2019); ● aules intel·ligents: espais enriquits amb dispositius digitals, conscients del context i adaptatius per afavorir un aprenentatge més efectiu; és a dir, són entorns per a l'aprenentatge dissenyats considerant les dimensions pedagògica, ambiental i digital (Koper, 2014; Smart Classroom Project, s.d.).
4. Alumne actiu i foment del treball en grup	<p>Canvi de metodologies, les quals han de ser actives i col·laboratives (Sánchez, 2012):</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ● l'aprenentatge basat en reptes, en problemes o en projectes són les més usades (Casado i Checa, 2020; Chen et al., 2019; Jesionkowska, 2020); ● l'educació STEAM també es relaciona amb: <ul style="list-style-type: none"> ○ l'aprenentatge connectat (Quigley et al., 2020); ○ el <i>design thinking</i> (Malele i Ramaboka, 2020); ○ estratègies com l'aula inversa i la ludificació (Rizzo et al., 2019; Sutama et al., 2020), tot i que manca evidència d'aquesta darrera.
--	--

En particular, els treballs examinats constaten que la tasca de dissenyar i implementar activitats vertaderament STEAM no és senzilla (Crayton i Svihla, 2015). La majoria de pràctiques STEAM actuals són activitats STEM en què només s'han afegit elements artístics, i no s'ha integrat l'art en els processos de disseny i planificació (Henriksen et al., 2016; Herro i Quigley, 2017). D'altra banda, la definició del marc STEAM de Yakman (2008), que incideix en les connexions entre les diferents disciplines, sovint resulta insuficient per a una implementació efectiva de l'educació STEAM. Això fa que sorgeixin models conceptuals, entre els quals l'elaborat per Kim (2016), que afegeix camps humanístics a les cinc àrees STEAM, el creat per Herro i Quigley (2017) o l'establert per Shatunova et al. (2019), que es recolza en l'ús d'espais creatius.

4.1.3. TECNOLOGIA EDUCATIVA I STEAM

La incorporació de les TIC a l'educació s'origina a mitjans del segle XX amb la televisió educativa, l'evolució de la qual va donar pas a l'educació en línia cap als anys 1960. Vint anys més tard els avenços tecnològics van propiciar l'aparició de l'ensenyament assistit per ordinador, una nova modalitat d'aprenentatge basada en el conductisme i en què les TIC eren clau. A principis dels anys 1990, amb el naixement d'internet i del constructivisme, sobretot en la seva vessant més social, va començar una etapa nova: l'ensenyament basat en internet (Torràs, 2015).

Actualment, la tecnologia és present en el dia a dia i ha transformat la forma de viure i, en particular, d'aprendre dels individus, de manera que els processos d'ensenyament i aprenentatge s'han vist modificats (Dabbagh i Reo 2010). Per tant, la incorporació de les TIC a l'aula és indispensable per afavorir el desenvolupament de les habilitats del segle XXI dels estudiants (Bustos i Coll, 2010), entre les quals l'alfabetització digital i el pensament computacional (Conole, s.d.). Però, com afirmen Arabit i Prendes (2020), perquè aquesta sigui efectiva cal que la integració sigui justificada i tingui una intenció pedagògica clara a través d'una didàctica planificada.

Les eines tecnològiques del web 2.0 i el programari social amplien les oportunitats d'aprenentatge gràcies a la seva ubiqüitat, i contribueixen a la comprensió, assimilació,

creació i compartició de continguts ateses les seves característiques i funcionalitats (Dabbagh i Reo, 2010). A més, les TIC faciliten la personalització de l'aprenentatge (Coll, 2016), tot i que la seva utilització també planteja reptes, el principal dels quals és la manca de recursos i formació del professorat (López, 2016).

En relació a l'educació STEAM, els estudis analitzats demostren que el suport que proporciona la tecnologia és remarcable, no només perquè facilita la planificació i la posada en pràctica d'activitats (Dogan i Robin, 2015), sinó també perquè contribueix a la comprensió i construcció de coneixements, millora els resultats i les experiències d'aprenentatge, incrementa la implicació i la motivació dels estudiants per aprendre i produeix un aprenentatge més significatiu (García-Valcárcel i González, 2011; Hyun i Park, 2020). En aquesta línia, López et al. (2018) exposen les oportunitats que es presenten en incorporar la tecnologia a l'educació STEAM per millorar l'ensenyament i l'exercici de cadascuna de les tres dimensions de la pràctica científica.

4.1.4. MATEMÀTIQUES AMB CLAU STEAM

Cap als anys 1960 es va produir un canvi profund en el currículum de matemàtiques, ja que, de resultes del gran desenvolupament científic i tecnològic de la Guerra Freda, va emergir la necessitat de modernitzar-ne l'ensenyament des d'edats primerenques (Ausejo, 2013). Aquesta transformació es va fer prenent com a referent la matemàtica moderna (Simó, 2002), que es basa en la seva construcció axiomàtica i un grau màxim d'abstracció, i es diferencia de la matemàtica clàssica principalment en l'enfocament dels problemes (Pascual, 1970). Però vint anys més tard, el públic en general i la comunitat matemàtica en particular van començar a preocupar-se i debatre sobre la manca de competència matemàtica dels estudiants. Aquesta preocupació era global i independent del sistema educatiu, cultura o país, i va dur a preguntar-se el perquè de l'analfabetisme matemàtic entre l'alumnat en els anys 90 (Morris, 1992).

Els resultats de les proves de competències bàsiques, que es duen a terme a nivell nacional en acabar les etapes de primària i secundària, i els de les proves PISA, que fan els alumnes de 15 anys d'arreu del món confirmen que el problema ha persistit (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2019). Ara bé, malgrat que és una qüestió global, les mancances de l'ensenyament tradicional de les matemàtiques són un fet (Geimer, 2014). Per això, l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM es presenta com una oportunitat per resoldre un problema que perdura en el temps (Huang, 2020), ja que procura un paradigma educatiu que aplanar el camí cap a l'evolució de la didàctica de la matemàtica reclamada des de fa dècades (Simó, 2002).

D'altra banda, la literatura revisada demostra que les activitats d'aprenentatge STEAM certament permeten connectar les matemàtiques amb realitats molt diverses (Rizzo et al., 2019; Solin, 2017), contribuint així a millorar la percepció d'aquesta ciència per part dels estudiants. A més, l'enfocament STEAM contribueix a la millora de les habilitats matemàtiques i al desenvolupament de la capacitat d'aprendre dels errors (Rizzo et al., 2019), de manera que l'aprenentatge amb clau STEAM representa un gran avanç en l'aprenentatge de les matemàtiques (Sutama et al., 2019).

4.1.5. EXPERIÈNCIES

PROGRAMES PER A L'IMPULS DE L'EDUCACIÓ STEAM

L'interès governamental per incentivar l'ensenyament i l'aprenentatge de les disciplines STEAM és un fet que el ratifica la inclusió de l'impuls d'iniciatives STEM/STEAM com a objectiu en les polítiques educatives (Pérez, 2015).

A nivell de Catalunya, el 2017 es va elaborar el pla STEMCat com a resposta a la situació de desequilibri entre la demanda laboral en sectors relacionats amb la ciència i la tecnologia, claus per al desenvolupament econòmic, i la quantitat de professionals preparats per satisfer-la (Castanys et al., 2017). En particular, amb aquest pla es vol potenciar la formació docent en STEM, millorar les competències STEM, encoratjar la participació de les empreses a l'escola i promoure les STEM a la societat.

A nivell europeu, la xarxa *EU STEM Coalition* treballa per a la millora de l'educació STEM a Europa i té per objectiu definir polítiques i pràctiques educatives STEM que afavoreixin el creixement econòmic, les oportunitats i el benestar de tothom (EU STEM Coalition, 2019). D'altra banda, a Europa hi ha una gran diversitat d'iniciatives per impulsar les disciplines STEM com ara *STEM Alliance* o els programes *Scientix* i *All you need is CODE*, entre altres (European Schoolnet, s.d.).

Arreu del món hi ha iniciatives per a l'impuls de la formació en disciplines STEM, però cal tenir present que el motiu principal és econòmic, ja que la relació entre el nombre de professionals en àmbits científics i tecnològics i el creixement de l'economia i és forta i directa (Croak, 2018). Per tant, cal assegurar que els programes per al foment de les disciplines STEAM no només tinguin com a objectiu formar professionals sinó també promoure processos de formació amb bases pedagògiques adequades.

ENFOCAMENT STEAM A L'AULA DE MATEMÀTIQUES

En primer lloc, cal remarcar que moltes activitats etiquetades com STEAM combinen programació i matemàtiques. Per exemple, Solin (2017) presenta projectes STEAM

que consisteixen en l'ús de programació bàsica i tècniques de modelatge 3D per mostrar la part artística i creativa de les matemàtiques fent ús d'aplicacions allotjades en una plataforma. Mentre que Casado i Checa (2020) presenten projectes de robòtica per a l'ensenyament i aprenentatge de diverses disciplines de forma integrada.

Per la seva banda, Utama et al. (2020) descriuen de forma detallada el procés de desenvolupament d'aprenentatge de matemàtiques amb enfocament STEAM usant l'aula inversa, des de l'anàlisi de necessitats passant per la implementació de l'activitat d'aprenentatge dissenyada i fins a l'avaluació de l'ús d'aquesta estratègia metodològica, i demostren que resulta efectiva en relació al domini de la matèria.

L'enfocament STEAM facilita fer veure que les matemàtiques formen part de la realitat perquè es caracteritza per la integració i la connexió. Així, Hamilton et al. (2018) executen una prova pilot per veure si millora la comprensió de conceptes matemàtics quan es presenten i s'usen a l'aula de música, i en resulta més implicació dels alumnes i resultats d'aprenentatge més bons. Rizzo et al. (2019) combinen fotografia i matemàtiques amb suport de l'aprenentatge col·laboratiu i les TIC, i proven que millora les habilitats matemàtiques i desenvolupa la capacitat d'aprendre dels errors.

Es pot concloure que la majoria d'activitats per a l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM reportades es limiten a l'ús d'un element d'un camp diferent a les matemàtiques per presentar conceptes d'aquesta matèria; o sigui que es tracta d'una integració disciplinar més aviat feble (Canu, 2017). Malgrat que les experiències són positives, és fonamental tendir cap a un disseny en què la integració sigui forta, és a dir, en què les activitats STEAM consisteixin en la resolució de reptes o problemes reals de l'entorn de l'alumnat aplicant coneixements de diverses disciplines.

4.2. MARC TEÒRIC

4.2.1. EDUCACIÓ STEAM

Si bé cada cop es tenen més en consideració les disciplines STEM i la necessitat d'incentivar-ne l'aprenentatge, el concepte educació STEM sovint es mal interpreta i la confusió s'agreuja en afegir la A a l'acrònim (Perignat i Katz-Buonincontro, 2019). Yakman (2010) estableix el marc STEAM, però un estudi recent elaborat per Perignat i Katz-Buonincontro (2019) mostra la ubiqüitat del terme, el ventall de definicions que hi ha i les nombroses interpretacions de la A, ja que s'obliden amb freqüència els seus pilars fonamentals: connexió i integració, la qual pot ser dèbil o forta (Canu, 2017) o, segons Vasquez et al. (2013), multidisciplinària, interdisciplinària o transdisciplinària.

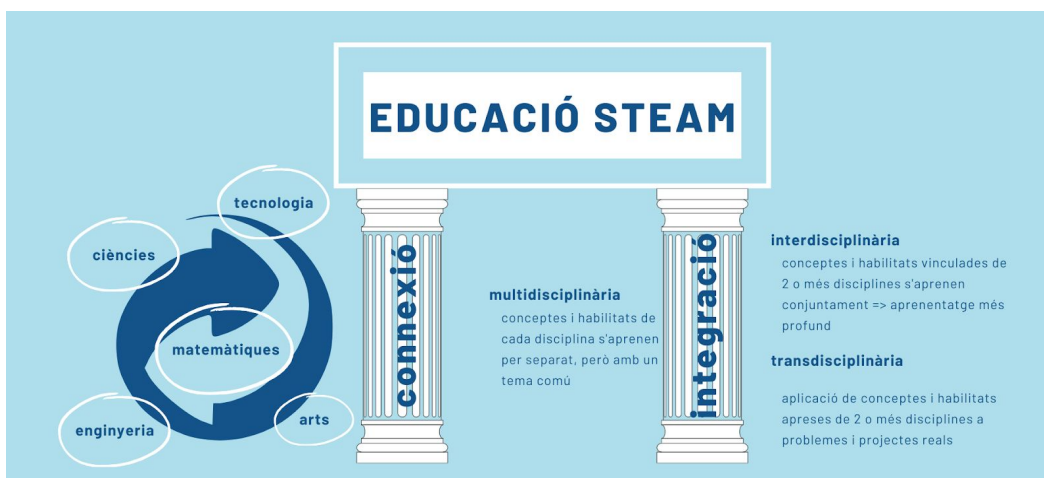


Figura 2. Pilars educació STEAM. Creació pròpia segons Canu (2017) i Vasquez et al. (2013).

De fet, aconseguir un disseny adequat i efectiu d'activitats i recursos d'aprenentatge STEAM per després fer-ne una incorporació eficaç i apropiada a la pràctica educativa és una tasca complexa, que els models pedagògics poden simplificar (Conole, s.d.)¹.

A partir de la recerca duta a terme i del que s'acaba d'exposar, s'ha forjat una definició pròpia, que s'ha pres com a referència per al treball i és la següent: l'educació STEAM, acrònim de ciència, tecnologia, enginyeria, arts i matemàtiques, és un enfocament educatiu que promou processos integrats d'ensenyament i aprenentatge d'aquestes cinc disciplines per mitjà del disseny i la implementació d'experiències d'aprenentatge connectades amb el món real per possibilitar una formació inclusiva i coherent amb les necessitats de la societat, així com produir un aprenentatge autèntic i significatiu.

En particular, l'enfocament STEAM en l'ensenyament de les matemàtiques implica un aprenentatge de forma integrada i connectada amb el món, identificant problemes i plantejant reptes de la realitat propera a l'alumnat, així com el foment del treball en grup i l'autonomia per incrementar la implicació dels estudiants, millorar la comprensió matemàtica i fomentar la persistència i la visió de l'error com una oportunitat per aprendre (Malele i Ramaboka, 2020; Rizzo et al. 2019; Sinay et al., 2017).

4.2.2. METODOLOGIES HABITUALS EN EDUCACIÓ STEAM

L'educació STEAM és un paradigma educatiu que es fonamenta en diverses teories d'aprenentatge: constructivisme, interaccionisme simbòlic i connectivisme (Siemens, 2005; Torras, 2015)². És un model centrat en l'alumne que potencia el treball en grup, i que, com corroboren estudis teòrics i pràctics (Casado i Checa, 2020; Jesionkowska,

¹ Vegeu l'[annex 1](#) per a una descripció detallada de què són els models pedagògics i quins són els més apropiats en el context STEAM.

² L'[annex 2](#) conté una explicació completa de cadascuna d'aquestes teories d'aprenentatge.

2020; Malele i Ramaboka, 2020; Quigley et al., 2020; Rizzo et al., 2019; Sutama et al., 2020), requereix l'ús de metodologies actives i col·laboratives, sovint amb suport TIC per millorar o possibilitar l'experiència (Hyun i Park, 2020; Shatunova et al., 2019).

Les metodologies actives són aquelles en què l'alumne participa de forma activa en el procés d'aprenentatge, que es basa en la comunicació entre docent i estudiants, entre estudiants, entre estudiants i material didàctic, i entre estudiants i entorn (Bustos i Coll, 2010). En el cas de l'ensenyament de les disciplines STEAM, Freeman et al. (2014) comparen l'eficàcia de la metodologia tradicional amb la de les metodologies constructivistes, com les actives, i resolen que aquestes augmenten el rendiment i els resultats d'aprenentatge. A més, els principis de l'aprenentatge actiu influeixen de forma positiva en la confiança dels estudiants i redueixen els seus nivells d'ansietat en estudiar matemàtiques (Iraola-Real et al., 2020). D'altra banda, la inclusió de les TIC ha impulsat l'aprenentatge actiu aconseguint que els alumnes realitzin un ventall més ampli d'activitats i fomentant la reflexió sobre el que han fet (Ferrell et al., 2018).

Les metodologies col·laboratives són aquelles que usen els grups per a l'aprenentatge. Concretament, els estudiants treballen junts en equips de dues o més persones per assolir un objectiu acadèmic determinat, que pot consistir en resoldre problemes, completar tasques o bé aprendre conceptes nous (Zañartu, 2003). En el marc STEAM, l'ús d'aquest tipus de metodologies té efectes positius tant a nivell d'adquisició i retenció de coneixements com d'increment de la implicació, motivació i satisfacció dels alumnes en relació a l'experiència d'aprenentatge (Nikiforos i Kolyvas, 2020).

APRENTATGE BASAT EN PROBLEMES, EN PROJECTES I EN REPTES

Són tres tipus de metodologies actives i alhora col·laboratives molt semblants, que es porten a cap a través del treball en petits grups i suposen invertir l'ordre usual de la seqüència didàctica tradicional, ja que l'aprenentatge de l'alumnat es genera a partir del planteig d'un problema o repte real. A la taula 3 es recullen els seus trets bàsics.

Taula 3. Característiques de l'aprenentatge basat en problemes, en projectes i en reptes.

Aprenentatge basat en problemes	Aprenentatge basat en projectes	Aprenentatge basat en reptes
En general, és el docent qui planteja el problema, tot i que també el poden plantejar els alumnes.		Els alumnes plantegen un repte concret i resoluble.
El problema no és gaire complex.	El problema és un xic complex.	El repte és complex perquè prové d'una idea abstracta.
Èmfasi en el procés.	Èmfasi en el producte final.	Ús intencionat de les TIC.

Busca adquirir coneixements nous.	Busca usar i aplicar els coneixements propis.	Busca integrar coneixements d'àrees diverses a través d'accions de recerca i estudi.
<p>Un cop definit el problema, el procés segueix les fases següents:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Activació del coneixement previ: es fa una pluja d'idees i es dissenya el pla de treball individual i grupal. 2. Exploració i recerca de recursos d'aprenentatge a nivell individual. 3. Posada en comú, en els petits grups, de la informació recollida individualment, generació i contrast d'hipòtesis amb la teoria per proposar una solució al problema. 4. Autoavaluació: els alumnes identifiquen què han après. 		<p>El procés consta de tres fases interconnectades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Participar: els estudiants es fan preguntes per identificar el repte concret que desitgen resoldre. 2. Investigar: els alumnes investiguen en base al contingut i al concepte per crear solucions sostenibles i factibles. 3. Actuar: els estudiants, amb un públic autèntic, desenvolupen i posen en pràctica la solució basada en l'evidència, i tot seguit s'avaluen els resultats.
<p>Metodologies lineals: se segueixen les fases en l'ordre descrit i, en general, un cop passada una fase, no es torna mai enrere.</p>		<p>Metodologia cíclica: a cada fase hi ha ocasions per a cicles de mini-investigació i si cal, es torna enrere.</p>

La majoria d'experiències examinades utilitzen alguna d'aquestes metodologies. Per exemple, Casado i Checa (2020) parlen de l'ús de l'aprenentatge basat en problemes o en projectes per dur a terme projectes STEAM fent ús de robòtica educativa. Mentre que RoboSTEAM és un projecte per a la integració de les disciplines STEAM a través de l'aprenentatge basat en reptes (Conde et al., 2019).

DESIGN THINKING

És una metodologia semblant a les anteriors perquè l'aprenentatge es produeix a partir d'un problema, però amb una perspectiva diferent, ja que se centra en l'ésser humà i en general els problemes que es plantegen són oberts i de solució complexa i no única (Panke, 2019). Segons Edutopia (2012), és un enfocament per afrontar els reptes de manera divertida i reflexiva, i aportar solucions noves aplicant les 4C (vegeu Figura 1). El model d'implementació més habitual consta de cinc fases (Cochrane i Munn, 2016): 1) empatitzar, es busca comprendre què fa la gent i per quin motiu; 2) definir, es defineixen el problema, els objectius i els reptes, i es prenen les primeres decisions; 3) idear, es comparteixen idees útils per resoldre el problema; 4) prototipitzar, s'escullen les idees més apropiades i es creen models senzills (prototips) per poder ser provats; 5) testejar, es posen a prova els prototips desenvolupats i es rep retroalimentació dels usuaris, a partir de la qual es desenvolupa el model definitiu.

El *design thinking* s'ha adoptat en diversos àmbits, entre els quals l'educació STEAM (Malele i Ramaboka, 2020). En particular, el treball d'aquests autors demostra que la metodologia és aplicable en aquest context i apropiada per al desenvolupament de les habilitats necessàries del perfil de professionals requerits per la revolució 4.0. D'altra banda, a partir de l'estudi de casos, Panke (2019) conclou que participar en activitats de *design thinking* incrementa l'empatia, la confiança, la creativitat i la resiliència.

APRENTATGE COL·LABORATIU

Es tracta d'una metodologia que propugna l'adquisició de coneixements a través de dinàmiques de treball en grup i interacció social (Zañartu, 2003). Sovint es confon amb l'aprenentatge cooperatiu perquè ambós suposen una divisió del treball. Ara bé, així com en el treball col·laboratiu el nivell d'interacció entre els membres del grup és alt, tots adquireixen un compromís mutu i gràcies a l'esforç coordinat resolen el problema, en l'aprenentatge cooperatiu cadascú assumeix la responsabilitat d'una part concreta per després ajuntar les seccions respectives i formar un tot (Dillenbourg, 1999).

La combinació TIC i aprenentatge col·laboratiu fomenta l'aprenentatge, ja que aquest s'enriqueix i és ubic (López, 2016). Així, tot i que la tecnologia no és indispensable per l'ús d'aquesta metodologia, les TIC i, en concret, les eines del web 2.0 la potencien perquè procuren serveis que afavoreixen la comunicació, l'intercanvi d'informació i els processos de col·laboració com la creació de continguts.

El treball col·laboratiu és un dels pilars de l'educació STEAM. Per exemple, Nikiforos i Kolyvas (2020) proposen i implementen un enfocament alternatiu per a la incorporació de la robòtica educativa a l'aula que consisteix en el disseny d'activitats que tenen en compte tots els principis de l'aprenentatge col·laboratiu. L'avaluació de l'experiència mostra gran satisfacció dels alumnes fins al punt que es genera un interès continu cap a la robòtica i l'execució d'activitats col·laboratives. Per altra part, Jeong et al. (2019) estudien els efectes de l'aprenentatge col·laboratiu amb suport TIC en l'educació STEAM al llarg d'una dècada i conclouen que són positius sobretot en els processos d'aprenentatge dels alumnes, però també en els resultats d'aprenentatge i en aspectes afectius com la motivació, l'autoeficàcia i l'actitud cap als dominis STEM.

4.2.3. ESTRATÈGIES METODOLÒGIQUES

Les estratègies metodològiques són els mecanismes o tècniques que el docent utilitza a l'aula per assolir els objectius i resultats d'aprenentatge esperats (Guitert i Romeu, 2019). En el context que s'està considerant destaquen l'aula inversa i la ludificació.

AULA INVERSA

L'aula inversa consisteix en capgirar el sistema tradicional d'ensenyament de manera que els estudiants aprenen nous continguts fora de l'aula per mitjà de les TIC i realitzen activitats de caràcter pràctic, de reforç o més individualitzades dins l'aula amb el suport del docent (Cerro, 2015). Aquesta estratègia es fonamenta en quatre principis que són l'aprenentatge flexible, la cultura d'aprendre, el contingut intencional i l'educador professional (Flipped Learning Network, 2014).

L'estudi de Jung i Hong (2020) mostra que l'aula inversa proporciona bons resultats d'aprenentatge, entre els quals un increment del pensament computacional i de la capacitat d'aprenentatge dels estudiants. En el cas particular de l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM, Utama et al. (2020) descriuen el procés de desenvolupament de l'aula inversa en aquest context, n'estudien l'efectivitat i arriben a la conclusió que és eficaç en relació a l'adquisició de domini de la matèria.

LUDIFICACIÓ

La ludificació en l'àmbit educatiu consisteix en l'ús dels elements i les tècniques del joc per a que els estudiants realitzin activitats d'aprenentatge en entorns no lúdics, i així motivar-los i assegurar la seva implicació per assolir els objectius establerts (Cerro, 2015). Les tècniques més habituals són els punts, les insígnies i les classificacions, conegudes com *Points, Badges and Leaderboards* o *PBL* (Marczewski, 2013).

La tecnologia facilita la incorporació de la ludificació a l'aula. En el marc STEAM no s'ha trobat cap experiència que sigui vertaderament de ludificació, però sí que s'han detectat pràctiques amb components propis del joc com ara les activitats dissenyades en format concurs (Casado i Checa, 2020; Rizzo et al., 2019).

4.2.4. TECNOLOGIA EDUCATIVA

L'educació ha d'anar en consonància amb l'evolució de la societat (Arabit i Prendes, 2020). En particular, això implica que tot estudiant ha de tenir la possibilitat d'adquirir unes competències digitals mínimes, de manera que la incorporació de la tecnologia a l'aula esdevé un deure i una necessitat (Castanys et al., 2017). D'altra banda, hi ha treballs que avalen els beneficis de l'ensenyament amb suport TIC (López, 2016), com l'increment de la motivació i la implicació dels estudiants en el procés d'aprenentatge, gràcies a que les activitats esdevenen més atractives (Jesionkowska et al., 2020). En el cas concret de les matemàtiques, és beneficiós combinar-les amb l'ús de les TIC perquè millora la creativitat i la confiança en un mateix, entre altres (Shatunova et al.,

2019). La connexió entre l'educació STEAM i la tecnologia és tan estreta que la major part de les experiències examinades en fan ús (Hyun i Park, 2020; Jesionkowska et al. 2020). Tot seguit es presenten les TIC més habituals en el marc STEAM.

ENTORNS VIRTUALS D'APRENTATGE

Els entorns virtuals d'aprenentatge (EVA) són espais educatius basats en tecnologia web dissenyats de forma específica per donar suport als processos d'ensenyament i aprenentatge, tant en la modalitat virtual com semipresencial o presencial amb suport tecnològic (Ornellas i Romero, 2011). Concretament, la majoria d'EVA dels centres educatius són del tipus plataforma de formació i, a través d'aules virtuals, reproduïxen l'organització d'un entorn presencial. Es tracta dels coneguts sistemes de gestió de l'aprenentatge com *Blackboard*, *Canvas*, *Google Classroom* o *Moodle*, que, al llarg del procés d'aprenentatge, permeten administrar, distribuir, monitoritzar, avaluar i donar suport (Sistema de gestió de l'aprenentatge, s.d.).

Els EVA són un recurs transversal que, entre altres coses, faciliten la comunicació i l'intercanvi d'informació entre docent i alumnes o entre alumnes, així com la creació de continguts de forma individual o en grup, gràcies a les seves funcionalitats (Bustos i Coll, 2010). De fet, resulten una eina clau quan s'incorpora l'aula inversa (Educación 3.0, 2018), faciliten la inclusió d'elements de ludificació (Educación 3.0, 2020) i simplifiquen l'adopció de metodologies actives per promoure l'autonomia dels alumnes i de metodologies col·laboratives per fomentar el treball en grup (Jeong et al., 2019). Així, són una tecnologia molt útil en general i en el marc STEAM en particular.

REALITAT AUGMENTADA I REALITAT VIRTUAL

La realitat augmentada (RA) consisteix en modificar la informació obtinguda d'un escenari real amb dades que completen la representació per millorar la comprensió de les propietats d'un objecte determinat (Cerro, 2015); és a dir, superposa imatges, models 3D o altra informació a una imatge real obtinguda a través d'una pantalla (Prendes, 2015). En canvi, la realitat virtual (RV) és més immersiva: consisteix en una simulació d'un ambient tridimensional generat per ordinadors, en què l'usuari se sent immers i percep com a real gràcies a estímuls als òrgans sensorials (Vera et al., 2003). Segons l'informe Horizon 2020 (Brown et al., 2020), aquests dos tipus de realitat ampliada tenen un gran potencial per a l'aprenentatge quan s'incorporen en dissenys holístics d'ensenyament i aprenentatge. En particular, la recerca d'aquests autors permet concloure que són tecnologies efectives com a suport a pedagogies basades en habilitats i competències, i permeten ampliar el ventall d'experiències pràctiques

d'aprenentatge. A més, milloren tant la motivació com la implicació dels estudiants en el procés d'aprenentatge, fins i tot en el cas d'alumnes amb necessitats educatives especials (Mat-jizat, Jaafar i Yahaya, 2017; Cakir i Korkmaz, 2019; Khan, Johnston, i Ophoff, 2019). Per tant, el seu ús en el marc STEAM està ben justificat.

L'experiència documentada per Jesionkowska et al. (2020) prova que la RA és una eina eficaç per ajudar al desenvolupament de les habilitats tècniques i artístiques STEAM dels estudiants, a més d'altres habilitats complementàries del segle XXI. Truchly et al. (2018) demostren, a través d'una prova pilot, que l'ús d'aplicacions de RV a l'aprenentatge incrementa tant la motivació dels estudiants per aprendre com la quantitat i profunditat dels coneixements assolits en aquestes disciplines.

Per acabar, cal destacar que la majoria d'aplicacions de RA i RV focalitzen únicament en una de les disciplines STEAM, és a dir, manquen del component integrador que promou l'educació STEAM (Sutama et al., 2020). Per tant, són adients com a suport per a l'aprenentatge, però cal combinar-les amb altres recursos i estratègies perquè els seus efectes positius siguin realment rellevants (Brown et al., 2020).

ROBÒTICA

La robòtica s'inclou en aquesta secció, tecnologia educativa, perquè és la part de l'enginyeria dedicada a concebre, dissenyar i construir robots. Ara bé, també es podria haver inclòs a la [secció 5.2.2.](#), ja que, segons Martínez de Carvajal (2018), la robòtica educativa és un mètode d'aprenentatge basat en proporcionar eines als estudiants que els permetin desenvolupar actituds de disseny i elaboració de creacions, que fomentin el treball en equip i que promoguin l'interès per investigar, experimentar i descobrir.

La robòtica educativa és una eina excel·lent que pot millorar significativament l'aprenentatge dels estudiants, el desenvolupament d'habilitats de cooperació social, de resolució de problemes i creatives, així com incrementar la seva motivació i interès (Casado i Checa, 2020). D'altra banda, considerant els objectius de la robòtica educativa, entre els quals estimular la competència creativa i generar ambients d'aprenentatge relacionats amb problemes del món real (Zhong i Xia, 2020), és evident que encaixa perfectament amb l'educació STEAM.

Exemples d'experiències exitoses d'ús combinat de robòtica i STEAM ens els procuren treballs com el de Casado i Checa (2020), en què parlen de l'ús d'una tecnologia concreta que es basa en els cinc pilars STEAM, o el de Chung (2014), que parla d'una iniciativa per promoure l'interès en ciència, tecnologia, enginyeria i matemàtiques a través de l'art i fent ús de la robòtica.

PROGRAMARI ESPECÍFIC

Segons el [TermCat](#), el programari és el conjunt sistemàtic dels programes informàtics d'explotació i dels programes que serveixen per a aplicacions determinades com és el cas de les eines d'ofimàtica i el programari educatiu.

L'existència d'un gran reguitzell de programari específic possibilita una incorporació fàcil i ràpida de les TIC a l'aula que, a més, escollit i usat a consciència, té la capacitat de millorar els resultats d'aprenentatge dels alumnes (Bustos i Coll, 2010). De fet, és la manera més habitual d'integració de la tecnologia als processos d'ensenyament i aprenentatge, i, en particular, a les activitats d'aprenentatge STEAM, com es conclou a partir d'alguns treballs examinats (Rizzo et al., 2019; Solin, 2017).

Per exemple, Solin (2017) presenta un conjunt de projectes STEAM realitzats amb l'ajuda d'aplicacions molt diverses de la plataforma NCLab. Mentre que un altre cas en què s'usa programari específic com a suport tecnològic per a l'aprenentatge de les matemàtiques amb enfocament STEAM, Geogebra, és el documentat per Rizzo et al. (2019). Així mateix, López et al. (2018) fan un recull d'eines tecnològiques en el marc STEAM i exposen els motius pels quals és important fer-ne ús.

4.2.5 INTERRELACIONS ENTRE CONCEPTES

Els conceptes exposats en aquesta secció faciliten la comprensió de què implica el canvi d'un ensenyament tradicional cap a un ensenyament integrat i més holístic de les matemàtiques. En aquest treball es fa una aproximació teòrica de l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM i suport TIC a través de la identificació dels seus aspectes clau per facilitar la incursió en aquest món i la incorporació efectiva, i per proporcionar una visió teòrica útil per al dia a dia amb els estudiants.

Les disciplines STEM s'han relacionat sempre amb la intel·ligència lògica-matemàtica i es perceben com a disciplines només a l'abast d'uns pocs, sobretot les matemàtiques (Solin, 2017). Ara bé, diversos estudis avalen la necessitat de combinar arts i ciències, STEAM, per afavorir el desenvolupament dels dos hemisferis del cervell i d'altre tipus d'habilitats tan importants com la creativitat o l'empatia (Shatunova et al., 2019). En aquest sentit, el disseny de les activitats d'aprenentatge és important, però, tal com incideixen Herro i Quigley (2016), encara ho és més la forma d'implementació, i els models pedagògics faciliten ambdues tasques (Conole, s.d.; Mayes i Freitas, 2004). En relació a les metodologies i a la tecnologia educativa més habituals en el marc STEAM, es basen en els principis del constructivisme, l'interaccionisme simbòlic i el connectivisme. D'una banda, les metodologies actives i col·laboratives promouen

l'autonomia de l'alumnat, l'autoregulació de l'aprenentatge i la construcció de coneixement nou a partir dels coneixements previs i gràcies a la interacció amb els altres (Torras, 2015). D'altra banda, les eines i recursos tecnològics possibiliten un aprenentatge autèntic i significatiu (López, 2016).

Ara bé, el canvi d'enfocament s'ha de dur a terme considerant no només el marc teòric exposat sinó posant una atenció especial al context en què es vol produir (Ornellas i Romero, 2011). A més, l'elecció i la integració de les TIC s'ha d'adequar a la situació perquè realment millori l'experiència d'aprenentatge i no sigui simplement un element decoratiu (Perignat i Katz-Buonincontro, 2019).

5. ANÀLISI I DISCUSSIÓ DEL TEMA

5.1. BENEFICIS I REPTES DE L'EDUCACIÓ STEAM

Si bé els arguments principals que justifiquen la importància de l'educació STEAM són que esperona la innovació (Li et al., 2018), necessària per a una economia potent, i permet desenvolupar les habilitats del segle XXI (Bertrand i Namukasa, 2020), com la creativitat (Shatunova et al., 2019), l'educació STEAM té altres beneficis. D'una banda, prepara per al món laboral gràcies a la connexió de les situacions plantejades amb la realitat (Bertrand i Namukasa, 2020) i al foment de la resolució de problemes reals i pràctics a través d'un enfocament interdisciplinar (Li et al., 2018). Així, activa habilitats de resolució de problemes i el pensament computacional (Hyun i Park, 2020), alhora que incentiva una aproximació interdisciplinar i el pensament independent (Malele i Ramaboka, 2020), i estimula tant el pensament innovador com el desenvolupament de la curiositat i la imaginació (Pérez, 2015). D'altra banda, millora la comprensió de la ciència i la tecnologia i, en particular, genera habilitats cognitives com el raonament espacial, els pensaments divergent i abstracte (Perignat i Katz-Buonincontro, 2019), i també fomenta la capacitat d'aprendre dels errors (Rizzo et al., 2019), i la idea que cometre errors pot ser productiu (Malele i Ramaboka, 2020).

Però els beneficis de l'educació STEAM van més enllà de produir un aprenentatge autèntic i més profund (Quigley et al., 2020). En primer lloc, té efectes significatius en l'actitud per aprendre, en els resultats d'aprenentatge i en l'actitud per aprendre sobre els resultats d'aprenentatge (Huang, 2020; Hyun i Park, 2020). En concret, incrementa la implicació i motivació de l'alumnat (Henriksen, 2014). En segon lloc, Catterall (2017) assegura que la incorporació de programes STEAM a l'aula es tradueix en estudiants més empàtics, mentre que Bertrand i Namukasa (2020) afirmen que permet al docent

empoderar-los perquè vegin que són capaços de provocar canvis al món. Per tant, aquest enfocament contribueix a millorar l'autoestima dels alumnes, que es tradueix en un augment del seu rendiment i un desenvolupament de les competències STEAM a més alt nivell (Shatunova et al., 2019). En tercer lloc, és una perspectiva inclusiva en tant que atrau una diversitat més àmplia d'estudiants (Bequette i Bequette, 2012; Cook et al., 2017); per exemple, alumnes a qui potser *a priori* no els interessin les disciplines STEM, però sí activitats artístiques, o col·lectius com les noies a qui els captiva una aproximació més holística, integradora i creativa (Dangelmaier i Hermann, 2017). A més, fomenta l'interès en STEM i carreres STEM en grups minoritaris (Herro i Quigley, 2016; Kant et al., 2018). Finalment, cal remarcar que el suport TIC en STEAM facilita el disseny d'activitats més atractives per als estudiants (Casado i Checa, 2020). Ara bé, la implementació de l'educació STEAM també planteja alguns reptes, d'entre els quals destaquen l'ús d'un enfocament transdisciplinar de resolució de problemes (Sinay et al., 2017), i la falta d'experiència docent en arts per a una integració que vagi més enllà de la incorporació de l'art com a element decoratiu (Sinay et al., 2017). D'altra banda, la gran quantitat de temps necessària per a la producció de materials i recursos STEAM, pressupostos educatius insuficients i la manca de temps i de guiatge per a una bona implementació representen un problema remarcable (Kim et al., 2019). Com també aconseguir una promoció efectiva d'algunes habilitats de construcció del caràcter com la perseverança i competències com la col·laboració (Herro i Quigley, 2016; Bertrand i Namukasa, 2020). Tot i així, la majoria d'aquests reptes es poden resoldre incrementant els pressupostos educatius de forma que permetin, entre altres coses, formar i donar suport als docents en tot moment.

5.2. EVOLUCIÓ DE LA PROBLEMÀTICA

Els antecedents posen de manifest que els fonaments teòrics i, en conseqüència, la didàctica dels processos d'ensenyament i aprenentatge han anat canviant d'acord amb el progrés de la societat, tot i que molt sovint els canvis educatius han estat i són més lents que els canvis socials (Arabit i Prendes, 2020). Aquesta situació de desajust entre el tipus de formació que donen els centres educatius i les demandes socials és encara més evident a l'era digital, ja que la velocitat amb què avança la tecnologia és vertiginosa (Dabbagh i Reo 2010). Des d'aquesta perspectiva, no sorprèn que l'ús de les TIC i l'educació STEAM siguin dues tendències a l'alça, fins al punt que s'impulsa la seva incorporació a l'aula des de l'administració (Castanys et al., 2017; Pérez, 2015; The White House: President Barack Obama, s.d.). Això vol dir que l'ensenyament de

les matemàtiques amb clau STEAM i suport TIC també està en auge, fet molt positiu, ja que representa una ocasió sense precedents per fer el gir respecte a l'ensenyament tradicional que es reclama des de fa dècades sense èxit (Huang, 2020).

Com afirmen Shatunova et al. (2019), la formació en les disciplines STEM és crucial, però la combinació d'aquestes amb les arts és important per al desenvolupament correcte dels dos hemisferis cerebrals. A més, no es poden deixar de banda habilitats en arts com la creativitat, l'empatia, l'escolta o l'observació, difícilment reemplaçables per la tecnologia perquè no són ni tecnològiques ni digitals (Perrault, 2016). Per això, es tendirà cap a una integració interdisciplinària de les cinc disciplines STEAM, essència d'aquest marc, que aposta per l'aprenentatge a través de la identificació i resolució de problemes reals aplicant els coneixements de diverses matèries.

Per la seva banda, el ventall de TIC usat en aquest context s'anirà ampliant degut a la innovació tecnològica contínua (Dogan i Robin, 2015). D'una banda, apareixeran eines i recursos nous en resposta a les necessitats educatives. D'altra banda, determinades eines i recursos com la intel·ligència artificial es començaran a incorporar en vista del seu potencial per millorar les experiències d'aprenentatge (Sutama et al., 2020).

Ara bé, a la vida tot canvi suposa superar reptes i qualsevol escenari té limitacions, i això també és cert quan es parla de dissenyar i realitzar activitats de matemàtiques amb enfocament STEAM i suport TIC, com es veurà a la secció següent.

5.3. INTERROGANTS I PROBLEMÀTIQUES

L'anàlisi duta a terme i exposada a les seccions anteriors justifica l'interès creixent en la incorporació de l'educació STEAM a l'aula com a enfocament que permet, d'una banda, impulsar una formació educativa en consonància amb les necessitats de la societat en relació al seu progrés; i, d'altra banda, atendre la diversitat d'estudiants i millorar les seves experiències i resultats d'aprenentatge (Cook et al., 2017). En el cas particular de l'ensenyament de les matemàtiques, l'estudi ha permès corroborar que l'enfocament STEAM en millora els processos d'ensenyament i aprenentatge de forma autèntica i significativa, tant en relació a l'adquisició de coneixements i competències com a la percepció estudiantil d'aquesta disciplina (Rizzo et al., 2019; Solin, 2017). També s'han pogut identificar les TIC usades en aquest context i s'ha constatat que el seu suport és cabdal per modificar escenaris i didàctica, a més de millorar la qualitat educativa i magnificar les experiències d'aprenentatge (Dogan i Robin, 2015).

Ara bé, malgrat que s'ha trobat força documentació sobre implementacions d'activitats STEAM a l'aula, n'hi ha poques que focalitzin en l'ensenyament de les matemàtiques i

encara menys amb una integració forta de les àrees involucrades (Sutama et al., 2020). Això porta a formular-se una pregunta: com es pot aconseguir una integració real de les matemàtiques amb la resta de disciplines STEAM?

Un altre punt sobre el que falten estudis i no sembla estar resolt és com incorporar efectivament l'educació STEAM i, en particular, les matemàtiques amb clau STEAM. Tot i que s'ha detectat l'existència de models conceptuals per donar suport a l'adopció d'aquest enfocament (Quigley et al., 2019; Yakman, 2010), i s'ha examinat un treball experimental que descriu les fases del model ADDIE aplicades al cas particular (Sutama et al., 2020), no s'ha trobat cap estudi que procuri una pauta pedagògica general i indiqui quins són o com triar els recursos adients per executar-la. Així, per realment promoure aquest canvi educatiu cal respondre a la pregunta: quins passos cal seguir per dissenyar una bona activitat de matemàtiques amb clau STEAM?

L'evolució del sistema educatiu en consonància amb el progrés de la societat és imprescindible, però quan es genera un canvi seriós cal fer-ne un balanç complet per determinar si és viable i justificat, així com per convèncer la comunitat que cal que veritablement es produeixi. Malgrat que la majoria de treballs teòrics apunten que el model STEAM millora la creativitat, el pensament crític, la resolució de problemes, la innovació i altres habilitats (Couso, 2017), encara hi ha poques proves empíriques que ho recolzin. D'altra banda, per confirmar la millora dels resultats d'aprenentatge i de l'adquisició i desenvolupament de competències cal definir com fer-ne la mesura i l'avaluació, així com valorar tota implementació a l'aula per corregir i aprendre dels errors. Però, com s'ha de fer aquesta valoració? Quins indicadors cal prendre com a referència considerant les implicacions de l'educació STEAM a la pràctica?

Finalment, una problemàtica greu i no menys important és la falta de professorat amb la formació adequada (Kim et al., 2019). S'ha comentat l'existència de programes impulsats a nivell de governs per resoldre la situació, però potser abans d'oferir una formació caldria preguntar-se: com ha de ser? Quins continguts, materials, recursos, eines i suport s'ha de procurar als docents perquè, com a agents implicats en el canvi, se sentin preparats per col·laborar-hi efectivament? En particular, quins coneixements artístics cal donar-los a fi que l'educació sigui STEAM i no STEM decorada amb art?

5.4. LÍNIES D'ACTUACIÓ

El present treball aporta una visió objectiva de l'estat de la qüestió i pretén omplir un buit detectat: la manca de suport als docents interessats en incorporar l'enfocament STEAM a l'aula de matemàtiques amb el suport de les TIC de forma efectiva. Així,

amb l'objectiu de donar resposta a les dues primeres qüestions plantejades a la secció anterior, a continuació es presenta un decàleg d'estratègies i recomanacions per a la implementació d'una proposta formativa amb aquesta perspectiva³.



Figura 3. Decàleg d'estratègies i recomanacions per a la implementació d'una activitat STEAM.

Si la incorporació es vol fer a nivell de centre educatiu, en el sentit d'implementar un programa STEAM a tots els cursos d'una o més etapes educatives, llavors cal tenir presents cinc punts més, els quals s'expliquen amb detall a l'[annex 4](#):

1. Establir el model de disseny tecnopedagògic.
2. Fer una planificació temporal i econòmica.
3. Avaluar la formació i l'experiència prèvia del professorat en educació STEAM i, en particular, la seva competència digital.
4. Formar i acompanyar l'equip docent implicat en la seva adaptació al nou marc educatiu, en especial, al canvi de rol.
5. Dur a terme una prova pilot del programa STEAM dissenyat en un grup reduït i identificar els punts forts i febles abans d'incorporar-lo a tot el centre.

Finalment, en relació als passos a seguir per dissenyar i posar en pràctica una activitat de matemàtiques amb clau STEAM i suport TIC concreta es proposen els següents, més enllà de les estratègies i recomanacions explicitades fins ara:

³ Vegeu [annex 3](#) per a una descripció detallada de cada punt del decàleg.

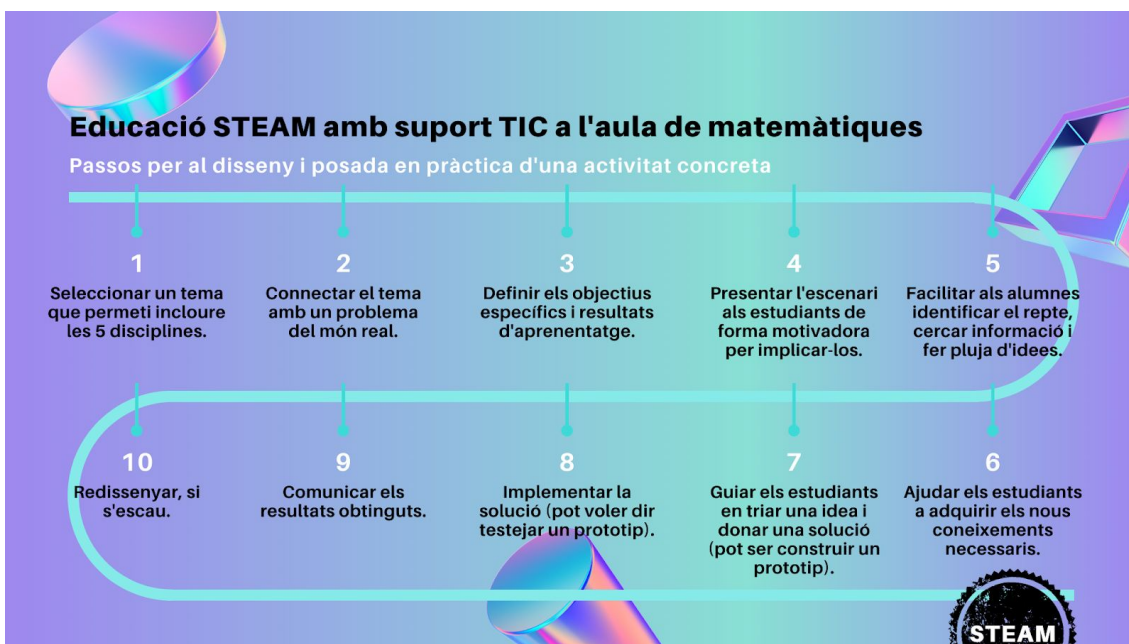


Figura 4. Passos per al disseny i la implementació d'una activitat STEAM concreta.

5.5. ASPECTES ÈTICS I SOCIALS

Segon l'Article 26 de la Declaració Universal dels Drets Humans (ONU, 1948), l'educació és un dret universal. Per tant, tota persona ha de tenir l'oportunitat de formar-se, adquirint els coneixements, competències i habilitats necessàries per evolucionar com a ciutadà del món. En particular, tothom ha de poder desenvolupar les seves capacitats científiques, matemàtiques i creatives (Keane i Keane, 2016).

Considerant el que s'ha exposat a les seccions anteriors, és evident que l'educació STEAM i, més concretament, l'ensenyament de les matemàtiques amb clau STEAM i suport TIC, afavoreix la igualtat d'oportunitats de formació i la reducció de la bretxa de gènere en els àmbits científics i tecnològics. Això és, permet impulsar la innovació pedagògica necessària per adaptar el sistema educatiu a la realitat del món que ens envolta (Gómez, 2019), així com facilitar el copsar l'interès i l'atenció d'una diversitat més gran d'estudiants (Cook et al., 2017), discents amb poc o cap interès per les disciplines STEM (Herro i Quigley, 2016) o col·lectius com minories ètniques i les noies (Dangelmaier i Hermann, 2017; Kant et al., 2018). D'altra banda, promou l'ús ètic de la tecnologia, sobretot en relació a tres aspectes (Mifsud, s.d.; Olcott et al., 2015):

- l'aprenentatge significatiu: han de millorar els processos d'ensenyament i aprenentatge; facilitar l'aprenentatge a tot l'alumnat sense distinció d'edat, sexe, raça i estatus social, en benefici de la inclusió; contribuir a l'alfabetització digital de l'alumnat i al seu desenvolupament personal;

- la seguretat de l'usuari: cal proveir els estudiants de recursos i eines web apropiades i fidedignes per a l'aprenentatge; crear entorns segurs; promoure una identitat digital correcta; fomentar un ús cívic i responsable a través de la reflexió i l'ús de l'etiqueta; respectar la privacitat i la llibertat;
- el respecte a la creació i producció, és a dir, fomentar l'autonomia; citar les fonts originals per evitar el plagi; entendre la importància de la propietat intel·lectual (*Copyright* i llicències *Creative Commons*).

Així doncs, seguint principis ètics i assumint les seves responsabilitats socials, amb el present treball s'espera poder contribuir a la millora de la societat, tenint en compte que l'educació és la base de l'evolució de la col·lectivitat.

6. CONCLUSIONS

L'esforç i hores dedicades a l'elaboració d'aquest treball es consideren ben invertides per tots els coneixements i aprenentatges nous que han generat, així com perquè han permès assolir gairebé tots els objectius generals i específics plantejats a l'inici.

En relació al primer objectiu general, es conclou que l'educació STEAM requereix un canvi profund de la didàctica matemàtica degut principalment a dos motius. D'una banda, la integració i la connexió són els seus pilars fonamentals, per la qual cosa és indispensable una reorganització de currículums i continguts. D'altra banda, en aquest context l'alumne és el centre i, per tant, cal usar metodologies actives i col·laboratives, i procurar als estudiants entorns d'aprenentatge adequats, en què la tecnologia hi té un rol important, en tant que facilita o possibilita determinades activitats. En particular, a través de la identificació de la tecnologia més habitual en el marc STEAM, s'ha reafirmat la importància d'una tria i ús justificats i fonamentats de les TIC perquè la seva incorporació a l'aula sigui efectiva.

Pel que fa al segon objectiu general, les experiències examinades han permès constatar que l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM i suport TIC no només és viable sinó que és una alternativa molt òptima a l'ensenyament tradicional i amb un potencial elevat. Concretament, s'ha confirmat que els processos d'ensenyament i aprenentatge amb aquesta perspectiva són beneficiosos per als estudiants perquè, entre altres aspectes positius, incrementen la seva implicació i motivació per aprendre, de forma que els seus resultats d'aprenentatge són millors. A més, proporcionen a l'alumnat una formació connectada amb la realitat que els prepara per al món laboral i que, en particular, afavoreix el desenvolupament de les habilitats del segle XXI. També s'ha corroborat la importància d'incloure les arts en

STEM per fomentar la creativitat i la innovació, així com per atraure una gamma més àmplia d'estudiants. I, finalment, ha quedat evidenciat que la tecnologia és un element molt present en aquest marc i que pot magnificar les experiències d'aprenentatge.

Amb referència al tercer objectiu general, dissenyar una proposta concreta, cal fer constar que, degut al cost temporal que ha suposat l'estudi teòric dut a terme, fins al moment present no s'ha pogut assolir, tot i la voluntat i motivació de l'autora per aconseguir-lo i la importància cabdal del mateix per promoure la pràctica de l'educació STEAM amb suport TIC a l'aula de matemàtiques.

Finalment, cal ser conscients que el canvi de model educatiu plantejat en aquest treball suposa un gran repte tant per als docents com per a les institucions educatives. D'una part, la nova visió comporta un canvi del rol docent que significa sortir de la zona de confort: cal desaprendre, formar-se i invertir temps en refer la pròpia pràctica educativa per satisfer les demandes d'una societat en evolució constant. D'altra part, suposa flexibilitzar continguts i currículums per facilitar el disseny i posada en pràctica de propostes formatives interdisciplinars. Tot i així, si l'objectiu del sistema educatiu és formar els ciutadans del futur, llavors la transformació cap a un paradigma connectat, integrador i més holístic com el que implica el marc STEAM ha de fer-se realitat.

7. LIMITACIONS

L'elaboració d'aquest treball s'ha vist limitada fonamentalment per la modernitat del tema escollit. L'educació STEAM és un paradigma educatiu molt recent i això fa que hi hagi força estudis teòrics, malgrat que no són suficients, però encara poca documentació sobre la seva aplicació pràctica i els seus efectes reals. És a dir, la teoria del model està ben desenvolupada, tot i haver-hi discrepàncies o diversitat d'interpretacions en relació a certs punts, però falten reports d'experiències pràctiques. En particular, manquen articles que descriguin amb detall el procés de disseny d'activitats STEAM i, per tant, esdevinguin un model a seguir per a la creació de les pròpies propostes formatives; i també manquen treballs que en documentin la implementació i permetin justificar amb fets tots els beneficis que s'atorguen a l'educació STEAM. I la mancança encara és més evident quan es parla de la incorporació de l'enfocament STEAM amb suport TIC a l'aula de matemàtiques.

D'altra banda, malgrat l'auge de l'educació STEAM, la seva incorporació a l'aula és encara un fet aïllat i sovint és deficient, en el sentit que es canvien etiquetes nominals, però no es modifiquen ni la didàctica ni els continguts a favor de la integració i la connexió que requereix aquest enfocament. A més, la implementació de programes a

nivell de centres educatius encara és escassa, sobretot degut a la manca de recursos i formació, i massa recent encara per poder veure els efectes veritables que suposa, per exemple, implantar un programa STEAM al llarg de tota una etapa educativa.

Per tot plegat, es creu que seria interessant poder continuar amb l'estudi i anar més enllà, tal com es detalla a la secció següent.

8. LÍNIES FUTURES DE TREBALL

La revisió de la literatura ha permès oferir pautes teòriques senzilles per facilitar tant el disseny com la implementació d'activitats de matemàtiques amb enfocament STEAM i suport TIC (vegeu [secció 5.4.](#)), i així s'han respost les dues primeres qüestions de la secció 6.3. Tot i així, cal fer proves pilot i avaluar-les per confirmar que es produeix una integració real de les matemàtiques amb la resta de disciplines. En aquest sentit, cal elaborar una pauta d'avaluació amb indicadors i criteris pedagògics, psicopedagògics i tècnics per a la valoració de la qualitat d'aquest tipus d'activitats, que podria servir, de forma parcial i abans de la implementació, de guia ràpida per verificar si una proposta és encertada i permet assolir els objectius establerts en el context on es vol incorporar.

Per facilitar la tasca de disseny d'activitats de matemàtiques amb enfocament STEAM, seria interessant elaborar una comparativa per valorar avantatges i limitacions d'ús de les metodologies i estratègies identificades com habituals en STEAM (seccions [5.2.2.](#) i [5.2.3.](#)), complementada amb la correlació amb els models pedagògics ([annex 1](#)), així com confeccionar una guia sobre els aspectes a considerar en triar i usar TIC.

D'altra banda, perquè la transformació sigui possible, els agents implicats han d'estar ben preparats i per això és clau definir quin tipus de formació i suport han de rebre els docents. En concret, cal determinar els coneixements artístics de què han de disposar perquè l'educació realment sigui STEAM i no STEM decorada amb art.

Finalment, tot i que les tasques esmentades es poden fer a nivell teòric, s'insisteix en el fet que dissenyar, posar en pràctica, avaluar i reportar experiències d'aprenentatge veritablement STEAM és una necessitat per confirmar la teoria, demostrar amb fets els beneficis d'un gir cap a aquest tipus d'educació i procurar exemples pràctics que poden servir com a model. En aquest sentit, l'autora continuarà treballant per assolir el tercer objectiu general plantejat a l'inici de l'estudi (dissenyar una proposta formativa de matemàtiques amb enfocament STEAM i suport de la tecnologia), ja que són els models i les proves empíriques les que realment facilitaran l'adaptació del sistema educatiu a les demandes de la societat i així aquesta continuarà progressant.

9. REFERÈNCIES

- Arabit, J. i Prendes, Ma.P. (2020). Metodologies y Tecnologías para enseñar STEM en Educación Primaria: análisis de necesidades. *Píxel-BIT Revista de Medios y Educación*, 57, 107-128. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2020.i57.04>
- Ausejo, E. (2013). La introducción de la «matemática moderna» en la enseñanza no universitaria en España (1953–1970). *La Gaceta de la RSME*, 16(4), 727-747.
- Barnes, D. (1989). *Active Learning*. Leeds University TVEI Support Project, 1989.
- Bequette, J. W. i Bequette, M. B. (2012). A Place for ART and DESIGN Education in the STEM Conversation, *Art Education*, 65(2), 40-47.
- Bertrand, M.G. i Namukasa, I. K. (2020). STEAM education: student learning and transferable skills. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 13(1), 43-56. <https://doi.org/10.1108/JRIT-01-2020-0003>
- Bleicher, A. (2017, setembre 17). Why Math Is the Best Way to Make Sense of the World [Entrada blog]. Quanta Magazine. Recuperat 11 octubre 2020, de <https://www.quantamagazine.org/why-math-is-the-best-way-to-make-sense-of-the-world-20170911/>
- Branda, L. (2009). L'aprenentatge basat en problemes. Consideracions generals. Dins *L'aprenentatge basat en problemes en l'educació superior*. (pp. 11-46). Innovació Docent en Educació Superior (IDES) i Servei de Publicacions de la UAB. <https://ddd.uab.cat/pub/colleccioIDES/eines6.pdf>
- Broda, A. (2018, 10 juliol). Communities of Inquiry (CoI): Social Presence [Entrada blog]. Model eLearning. Recuperat 5 desembre 2020, de <https://modelelearning.com/2018/07/10/implementing-the-community-of-inquiry-coi-model-into-your-online-course-social-presence/>
- Broda, A. (2018, 28 agost). Communities of Inquiry (CoI): Teaching Presence [Entrada blog]. Model eLearning. Recuperat 5 desembre 2020, de <https://modelelearning.com/2018/08/28/communities-of-inquiry-coi-teaching-presence/>
- Broda, A. (2018, 16 octubre). Communities of Inquiry (CoI): Cognitive Presence [Entrada blog]. Model eLearning. Recuperat 5 desembre 2020, de <https://modelelearning.com/2018/10/16/communities-of-inquiry-coi-cognitive-presence/>
- Brown, M., McCormack, M., Reeves, J., Brooks, D.C., Grajek, S. (2020). *2020 EDUCAUSE Horizon Report. Teaching and Learning Edition*. Louisville, CO:

- EDUCAUSE, 2020.
<https://library.educause.edu/-/media/files/library/2020/3/2020horizonreport.pdf?la=en&hash=DE6D8A3EA38054FDEB33C8E28A5588EBB913270C>
- Business Europe (2018, setembre 6). *The role and importance of science, technology, engineering and mathematics (STEM) skills*. Recuperat 13 desembre 2020, de <https://www.businesseurope.eu/publications/role-and-importance-science-technology-engineering-and-mathematics-stem-skills>
- Bustos, A. i Coll, C. (2010). Los entornos virtuales como espacios de enseñanza y aprendizaje. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 44(15), 163-184. Recuperat de <http://alturl.com/xhvrn>
- Cakir, R. i Korkmaz, O. (2019). The effectiveness of augmented reality environments on individuals with special education needs, *Education and Information Technologies*, 24(2), 1631-1659.
- Canu, M. (2017). ¿Por qué se habla de educación STEM? *Revista de Innovación y Ciencia*, 24(4). <https://innovacionyciencia.com/revista/94>
- Casado, R. i Checa, M. (2020). Robótica y Proyectos STEAM: Desarrollo de la creatividad en las aulas de Educación Primaria. *Píxel-BIT Revista de Medios y Educación*, 58, 51-69. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.73672>
- Castanys, M., Dempere, L., Domingo, A., Espinosa, A., Estebanell, M., Estévez, A., Farriol, X., Giné, F., López, D., Marco, D., Oliver, M., Prieto, J., Rambla, F., Sanz, M., Pallarès, J., Vitrià, J. i Vivancos, J. (2017). *Pla STEMcat d'impuls de les vocacions científiques, tecnològiques, en enginyeria i en matemàtiques*. Generalitat de Catalunya.
<https://projectes.xtec.cat/steamcat/wp-content/uploads/usu1760/2019/09/pla-stem.pdf>
- Catterall, L. G. (2017). A Brief History of STEM and STEAM from an Inadvertent Insider, *The STEAM Journal*, 3(1). 5. <http://doi.org/10.5642/steam.20170301.05>
- Cerro, J. P. (2015). *Tendencias y aplicaciones de las TIC en el ámbito educativo*. UOC, e-Learn Center. Recuperat 9 octubre 2020, de <https://www.slideshare.net/victorbalanta/tendencias-y-usosdelasticeneducacion2917847984395136>
- Chen, W., Tang, X. i Mou, T. (2019). Course Design and Teaching Practice in STEAM Education at Distance via an Interactive E-Learning Platform: A Case Study. *Asian Association of Open Universities Journal*, 14(2). 122-33. <https://doi.org/10.1108/AAOUJ-07-2019-0027>

- Chung, C.J. (2014). Integrated STEAM Education through Global Robotics Art Festival (GRAF). Dins *4th IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC): 8 de març de 2014*. Princeton University, NJ.
- Cook, K., Bush, S. i Cox, R. (2017). From STEM to STEAM. Incorporating the arts in a roller coaster engineering project. *Science and Children*, 54(6), 86-93.
- Coll, C. (2016). La personalització de l'aprenentatge escolar: un repte indefugible. Dins J.M. Vilalta (dir.) *Reptes de l'educació a Catalunya. Anuari 2015* (pp. 43-104). Fundació Jaume Bofill.
- Conde, M. A. (2019). RoboSTEAM - A Challenge Based Learning Approach for Integrating STEAM and Develop Computational Thinking. Dins *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 24-30): 16-18 d'octubre de 2019. Universidad de León, León. <http://doi.org/10.1145/3362789.3362893>
- Conole, G. (s.d.). Review of pedagogical models and their use in e-learning. Recuperat 25 novembre 2020, de <https://ja.cat/Conole>
- Connor, A.M., Karmokar, S. & Whittington, C. (2015) From STEM to STEAM: Strategies for enhancing engineering & technology education. *International Journal of Engineering Pedagogies*, 5(2), 37-47. <http://doi.org/10.3991/ijep.v5i2.4458>
- Cornelius, D. (2011). The Education and Skills Gap: A Global Crisis. *Techniques: Connecting Education and Careers (J1)*, 86, 50-55. <https://eric.ed.gov/?id=EJ926104>
- Couso, D. (2017). Per a què estem a STEM? Un intent de definir l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Ciències: revista del professorat de ciències de primària i secundària*, 34, 22-30. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.403>
- Crayton, J. i Svihla, V. (2015). Designing for Immersive Technology: Integrating Art and STEM Learning. *The STEAM Journal*, 2(1), 1-7. <https://doi.org/10.5642/steam.20150201.8>
- Croak, M. (2018) *The Effects of STEM Education on Economic Growth* (Tesi doctoral, Union College). <https://digitalworks.union.edu/theses/1705>
- Cochrane, T. i Munn, J. (2016). EDR and Design Thinking: Enabling Creative Pedagogies. Dins *Proceedings of EdMedia 2016-World Conference on Educational Media and Technology* (pp. 315-324). Vancouver, BC, Canada: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Recuperat 13 desembre 2020, de <https://www.learntechlib.org/p/172969/>

- Dabbagh, N. i Reo, R. (2010) Back to the future: Tracing the roots and learning affordances of social software. Dins M. Lee, & C. McLoughlin (eds.). *Web 2.0-Based e-learning: Applying social informatics for tertiary teaching* (pp 1-20). UK: Idea Group. <http://doi.org/10.4018/978-1-60566-294-7.ch001>
- Dangelmaier, H. T. i Hermann, C. (2017). Getting girls in STEM & the dangers of forgetting that Science is Art -someone made it up. *The STEAM Journal*, 3(1), Article 10. <http://doi.org/10.5642/steam.20170301.10>
- Dede, C. (2010). Comparing Frameworks for “21st Century Skills”. Dins J. Bellanca & R. Brandt (Eds.). *21st Century Skills: Rethinking How Students Learn* (pp. 51-75). Bloomington, IN: Solution Tree Press.
- Dillenbourg, P. (1999). *Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches*. Advances in Learning and Instruction Series. New York, NY: Elsevier Science, Inc.
- Dogan, B.i Robin, B. (2015). Technology’s Role in STEM Education and the STEM SOS Model. Dins A. Sahin (Ed.), *A Practice-based Model of STEM Teaching* (pp. 77–94). Sense Publishers.
- Educación 3.0 (2018, 6 juliol). ¿Cómo implementar Flipped Classroom en el aula? [Entrada blog]. Educación 3.0. Recuperat 13 desembre 2020, de <https://www.educaciontrespuntocero.com/experiencias/flipped-classroom-aula/>
- Educación 3.0 (202, 2 desembre) 27 herramientas de gamificación para clase que engancharán a tus alumnos [Entrada blog]. Educación 3.0. Recuperat 13 de sembre 2020, de <https://www.educaciontrespuntocero.com/recursos/herramientas-gamificacion-educacion/>
- Edutopia (2012, 25 juliol). What is Design Thinking? [Entrada blog]. Edutopia. Recuperat 13 desembre 2020, de <https://www.edutopia.org/what-is-design-thinking-for-educators>
- European Schoolnet (s.d.). *STEM Projects*. Recuperat 13 desembre 2020, de <http://www.eun.org/projects/stem>
- Ferrell, G., Smith, R. i Knight, S. (2018). *Designing learning and assessment in a digital age*. Joint Information Systems Committee (JISC). <https://www.jisc.ac.uk/guides/designing-learning-and-assessment-in-a-digital-age>
- Flipped Learning Network (FLN). (2014). *The Four Pillars of F-L-I-P*. FLIP Learning. Recuperat 12 desembre 2020, de https://flippedlearning.org/wp-content/uploads/2016/07/FLIP_handout_FNL_Web.pdf

- Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H. i Wenderoth, M.P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- García-Valcárcel, A. i González, A. D. (2011). Integración de las TIC en la práctica escolar y selección de recursos en dos áreas clave: Lengua y Matemáticas. Dins *La práctica educativa en la Sociedad de la Información: Innovación a través de la investigación* (pp. 129-144). Editorial Marfil.
- Garrison, D. R., Anderson, T., i Archer, W. (1999). Critical inquiry in a text-based environment: Computer conferencing in higher education. *The Internet and Higher Education*, 2(2-3), 87-105.
- Geimer, E. (2014). The Efficacy of Mathematics Education. *The STEAM Journal*, 1(2), Article 14. <http://doi.org/10.5642/steam.20140102.14>
- Global Partnership for Education (2020). *21st-Century Skills: What potential role for the Global Partnership for Education? A Landscape Review*. GPE. Recuperat 19 de desembre 2020, de <https://www.globalpartnership.org/sites/default/files/document/file/2020-01-GPE-21-century-skills-report.pdf>
- Gómez, L. M. (2019). Educación STEM/STEAM como pretexto para la innovación en comunidades de aprendizaje. ¿Cómo puede promoverse una cultura de innovación en una comunidad de aprendizaje?. Dins N. Moreno (Comp.) *La Educación STEM/STEAM: Apuestas hacia la formación, impacto y proyección de seres críticos* (pp. 56-84). Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero.
- Guitert, M. i Romeu, T. (2019). Estratègies per a la docència en línia (Material didàctic). Barcelona: UOC. Recuperat de http://materials.cv.uoc.edu/daisy/Materials/PID_00261608/pdf/PID_00261608.pdf
- Hallinen, J. (s.d.) STEM. A *Encyclopaedia Britannica Online*. Recuperat 19 octubre 2020, de <https://www.britannica.com/topic/STEM-education>
- Hamilton, T. J., Doai, J., Milne, A., Saisanas, V., Clilhann, A., Hilton, C., Godwater, M., Cohn, R. (2018). Teaching Mathematics with Music: A Pilot Study. Dins *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE): Engineering Next-Generation Learning: 4-7 de desembre de 2018*. (pp.

- 927-931). Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
<https://doi.org/10.1109/TALE44677.2018>
- Henriksen, D. (2014) Full STEAM Ahead: Creativity in Excellent STEM Teaching Practices, *The STEAM Journal*, 1(2), 15. <http://doi.org/10.5642/steam.20140102.15>
- Henriksen, D., Mishra, P. i Fisser, P. (2016). Infusing creativity and technology in 21st century education: A systemic view for change. *Educational Technology & Society*, 19(3), 27–37.
- Hernández, J., Pérez, J.A., Furió, B., Hernández, J. i Salinas, L. (2020). *La Universidad Española en Cifras 2018-2019*. CRUE Universidades Españolas (CRUE) (2020). Recuperat 19 octubre 2020, de https://www.crue.org/wp-content/uploads/2020/02/UEC-1718_FINAL_DIGITAL.pdf
- Herro, D. i Quigley, C.F. (2016). Innovating with STEAM in middle school classrooms: remixing education. *On the Horizon*, 24(3), 190-204. <https://doi.org/10.1108/OTH-03-2016-0008>
- Herro, D. i Quigley, C. F. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development: Implications for teacher educators. *Professional Development in Education*, 43(3), 416-438. <https://doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507>
- Huang, F. (2020). Effects of the application of STEAM education on students' learning attitude and outcome - The case of fujian chuanzheng communications college. *Revista De Cercetare Si Interventie Sociala*, 69, 349-356. <https://doi.org/10.33788/rcis.69.23>
- Hyun, J. S. i Park, C.J. (2020). Research Analysis on STEAM Education with Digital Technology in Korea to Prepare for Post-Corona Era Education. *International Journal of Contents*, 16(3), 101-110.
- Iraola-Real, I., Andersson, C., Mego, C. i Huaman, L.K. (2020). Active Learning To Study Mathematics: A Methodological Proposal To The Engineering Career Aspirants. Dins 2020 *IEEE World Conference on Engineering Education (EDUNINE)*: 15-18 març 2020 (pp. 1-4). IEEE. <http://doi.org/10.1109/EDUNINE48860.2020.9149485>
- Jeong, H., Hmelo-Silver, C. E. i Jo, K. (2019). Ten years of Computer-Supported Collaborative Learning: A meta-analysis of CSCL in STEM education during 2005–2014. *Educational Research Review*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.100284>

- Jesionkowska, J., Wild, F. i Deval, Y. (2020). Active learning augmented reality for STEAM Education—A case study. *Education Sciences*, 10(8), 198. <http://doi.org/10.3390/educsci10080198>
- Johnson, D.W. i Johnson, R.T. (2009). An Educational Psychology Success Story: Social Interdependence Theory and Cooperative Learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379. <http://doi.org/10.3102/0013189x09339057>
- Jung, Y.J. i Hong, H. (2020). A Theoretical Need for Applying Flipped Learning to STEAM Education, *Journal of Problem-Based Learning*, 7(1), 42-49. <https://doi.org/10.24313/jpbl.2020.00213>
- Khan, T., Johnston, K. i Ophoff, J. (2019). The Impact of an Augmented Reality Application on Learning Motivation of Students. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2019, 1-14.
- Kant, J. M., Burckhard, S. R. i Meyers, R. T. (2018). Engaging high school girls in native American culturally responsive STEAM activities, *Journal of STEM Education*, 18(5), 15–25.
- Keane, L. i Keane, M. (2016). STEAM by design. *Design and Technology Education*, 21(1), 61–82.
- Kim, P. W. (2016). The Wheel Model of STEAM Education Based on Traditional Korean Scientific Contents. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(9), 2353-2371. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1263a>
- Kim, M. K., Lee, J. Y., Yang, H., Lee, J., Jang, J. N. i Kim, S. J. (2019). Analysis of Elementary School Teachers' Perceptions of Mathematics-Focused STEAM Education in Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(9), em1746. <https://doi.org/10.29333/ejmste/108482>
- Koper, R. (2014). Conditions for effective smart learning environments. *Smart Learning Environments*, 1(1), 1-17.
- Lennon, O. (2006). Interaccionismo simbólico y educación. *Revista Electrónica Diálogos Educativos*, 12. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2473885>
- Li, W., Li, G., Mo, W. i Li, J. (2018). The Influence of STEAM Education on the Improvement of Students Creative Thinking. *Proceedings of the 4th International Conference on Arts, Design and Contemporary Education (ICADCE 2018)* (pp.924-927), Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icadce-18.2018.200>

- López, C. (2016). *Enseñar con TIC. Nuevas y renovadas metodologías para la enseñanza Superior*. CINEP/IPC, 2016.
- López, V., Couso, D. i Simarro, C. (2018). Educación STEM en y para el mundo digital. Cómo y por qué llevar las herramientas digitales a las aulas de ciencias, matemáticas y tecnologías. *RED, Revista de Educación a Distancia*, 58. https://www.um.es/ead/red/58/lopez_et_al.pdf
- Maeda, J. (2013) STEM + Art = STEAM, *The STEAM Journal*, 1(1), 34. <http://doi.org/10.5642/steam.201301.34>
- Malele, V. i Ramaboka, M.E. (2020). The Design Thinking Approach to students STEAM projects. *Procedia CIRP*, 91, 230-236. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.100>
- Marczewski, A. (2013). *Gamification: A Simple Introduction & a Bit More...* Amazon Digital Services: Self-published, 2013.
- Marginson, S., Tytler, R., Freeman, B. i Roberts, K. (2013). *STEM: Country Comparisons: International Comparisons of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) Education*. Australian Council of Learned Academies, Melbourne, Vic. <http://hdl.handle.net/10536/DRO/DU:30059041>
- Martínez de Carvajal Hendrich, E. (2018). *Robótica Educativa con Codey Rocky* (1a ed). Barcelona: Ernesto Martínez de Carvajal Hedrich.
- Mat-jizat, E., Jaafar, H. i Yahaya, R. (2017). Measuring the Effectiveness of Augmented Reality as a Pedagogical Strategy in Enhancing Student Learning and Motivation, *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 7(1), 225-240.
- Mayes, T. i de Freitas, S. (2004). Review of e-learning theories, frameworks and models. ISC e-Learning Models Desk Study. Joint Information Systems Committee. Recuperat 25 novembre 2020, de https://ja.cat/MayesFreitas_2004
- Mifsud, E. (s.d.). *Bones Pràctiques TIC*. València: Generalitat Valenciana. Recuperat 4 desembre 2020, de <http://www.ceice.gva.es/va/web/innovacion-tecnologica/buenas-practicas-tic>
- Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019). PISA 2018. Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes. Informe español. Recuperat 19 octubre 2020, de <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/d/23505/19/00>
- Morris, R. W. (1992). *Studies in mathematics education: Moving into the twenty-first century*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124811>

- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM) (s.d.). Dins *Wikipedia*. Recuperat 15 novembre 2020, de https://en.wikipedia.org/wiki/National_Council_of_Teachers_of_Mathematics
- Neff, M. (s.d.). *A History of STEM Education*. Sutori. Recuperat 15 novembre 2020, de <https://www.sutori.com/story/a-history-of-stem-education--XsxYavG6btgGC6fihNfrMbYa>
- Nichols, M., Cator, K. i Torres, M. (2016). *Challenge Based Learner User Guide*. Redwood City, CA: Digital Promise.
- Nikiforos, S. i Kolyvas, S. (2020). STEM and Collaborative Learning: An Alternative Approach. *European Journal of Engineering Research and Science*, 12-16. <http://doi.org/10.24018/ejers.2020.0.CIE.1793>
- Olcott Jr. D., Carrera Farran, X., Gallardo Echenique, E. E. i González Martínez, J. (2015). Ethics and Education in the Digital Age: Global Perspectives and Strategies for Local Transformation in Catalonia. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 12(2), 59-72. <http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v12i2.2455>
- ONU (1948). *Declaració Universal dels Drets Humans*. Nacions Unides. <https://www.un.org/en/universal-declaration-human-rights/index.html>
- Ornellas, A. i Romero, M. (2011). Planificació de la docència universitària en línia. FUOC. Recuperat 10 de desembre, de http://materials.cv.uoc.edu/daisy/Materials/PID_00252598/pdf/index.html
- Paik S.-H., Kim, S.-W. i Lee, Y. (2018). A study on teachers practices of STEAM education in Korea. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(19B), 2339-2365.
- Panke, S. (2019). Design Thinking in Education: Perspectives, Opportunities and Challenges. *Open Education Studies*, 1, 81–306. <https://doi.org/10.1515/edu-2019-0022>
- Pascual, J.R. (1970). Enseñanza de la matemática moderna. *Revista de educación*, 207-208, 49-54. <http://hdl.handle.net/11162/70973>
- Pérez, J. (2015, abril 21). STEM, STEAM... ¿pero eso qué es? [Entrada blog]. Odite. Recuperat 9 octubre 2020, de <http://odite.ciberespinal.org/comunidad/ODITE/recurso/stem-steam-pero-eso-que-es/58713dbd-414c-40eb-9643-5dee56f191d3>
- Perignat, E. i Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>

- Perrault, T. (2016, gener 29). Digital Companies Need More Liberal Arts Majors [Entrada blog]. Harvard Business Review. Recuperat 29 novembre 2020, de <https://hbr.org/2016/01/digital-companies-need-more-liberal-arts-majors>
- Piaget, J. (1968). Psicología de la Inteligencia. Buenos Aires: Proteo.
- Quigley, C. F., Herro, D., Shekell, C., Cian, H. i Jacques, L. (2020). Connected Learning in STEAM Classrooms: Opportunities for Engaging Youth in Science and Math Classrooms. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18, 1441–1463. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-10034-z>
- Prendes Espinosa, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 46, 187-203. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i46.12>
- Rizzo, K. A., del Río, L. S., Manceñido, M. E., Lavicza, Z. i Houghton, T. (2019). Linking Photography and Mathematics with the Use of Technology, *Open Education Studies*, 1(1), 262-266. <https://doi.org/10.1515/edu-2019-0020>
- Saldarriaga-Zambrano, P. J., Bravo-Cedeño, G. D. R. i Loor-Rivadeneira, M. R. (2016). La teoría constructivista de Jean Piaget y su significación para la pedagogía contemporánea. *Dominio de las Ciencias*, 2, 127-137.
- Salguero, C. (2018, març 7). Educación STEAM. Otra forma de entender la educación [Entrada blog]. Vermislab. Recuperat 9 octubre 2020, de <https://www.vermislab.com/educacion-steam-otra-forma-de-entender-la-educacion>
- Sánchez, M. (2012). Diseño de recursos digitales para entornos e-learning en la enseñanza universitaria. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 15(2). <http://doi.org/10.5944/ried.2.15.599>
- Sanders, M. (2008). STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4). <http://hdl.handle.net/10919/51616>
- Shatunova, O., Anisimova, T., Sabirova, F. i Kalimullina, O. (2019). STEAM as an Innovative Educational Technology. *Journal of Social Studies Education Research*, 10(2), 131-144.
- Siemens, G. (2005). Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3-10.
- Simó, N. (2002). El paper de l'educació matemàtica a l'aula : un repte per al segle XXI. *Temps d'educació*, 26, 383-406. <http://hdl.handle.net/11162/11645>
- Sinay, E., Jaipal-Jamani, K. i Sauriol, D. (2017). Fostering global competencies and deeper learning with technology research series: STEM or STEAM: Key

- stakeholders viewpoints on the future directions of STEM (Research Report No.17/18-9). Toronto, Ontario, Canada: Toronto District School Board.
- Sistema de gestió de l'aprenentatge (s.d.). A Viquipèdia. Recuperat 13 desembre 2020, de https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_gesti%C3%B3_de_l%27aprenentatge
- Solin, P. (2017). Bringing more STEAM to Mathematics Education. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, 24(4), 191-198. https://doi.org/10.1564/tme_v24.4.03
- Smart Classroom Project (s.d.). *Redissenyant espais d'aprenentatge*. Recuperat 6 desembre 2020, de <https://smartclassroomproject.com/ca/investigacio/>
- Stein, J. D. (2008) *How math explains the world: a guide to the power of numbers, from car repair to modern physics* (1st ed.). HarperCollins: Smithsonian Books.
- STEM Education (s.d.). Dins *Ballotpedia*. Recuperat 15 novembre 2020, de https://ballotpedia.org/STEM_education
- Sutama, Prayitno, H.J., Ishartono, N. i Sari, D.P. (2020). Development of Mathematics Learning Process by Using Flipped Classroom Integrated by STEAM Education in Senior High School. *Universal Journal of Educational Research*, 8(8), 3690-3697. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080848>
- Taylor, P.C. (2016). Why is a STEAM Curriculum Perspective Crucial to the 21st Century? Dins *14th Annual conference of the Australian Council for Educational Research*, 7-9 d'agost de 2016 (pp. 89-93), Brisbane.
- The White House: President Barack Obama (s.d.). *Educate to Innovate*. Recuperat 13 desembre 2020, de <https://obamawhitehouse.archives.gov/issues/education/k-12/educate-innovate>
- Thuneberg, H., Salmi, H. i Fenyvesi, K. (2017). Hands-On Math and Art Exhibition Promoting Science Attitudes and Educational Plans. *Education Research International*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9132791>
- Torras, E. (2015). Aproximació conceptual a l'ensenyament i aprenentatge en línia. Barcelona: UOC.
- Truchly, P., Medvecký, M., Podhradský, P. i Vanco, M. (2019). Virtual Reality Applications in STEM Education. Dins *16th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA 2018)*, 15 i 16 de novembre de 2018 (pp. 597-602). Starý Smokovec, The High Tatras, Slovakia.
- Vasquez, J., Sneider, C. i Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, NH: Heinemann.

- Vera Ocete, G., Ortega Carrillo, J. A. i Burgos González, M. A. (2003). La realidad virtual y sus posibilidades didácticas. *Revista etic@net*, 2(2). Etic@net. <https://www.ugr.es/~sevimeco/revistaeticanet/Numero2/Articulos/Realidadvirtual.pdf>
- Watson, A.D. i Watson, G.H. (2013). Transitioning STEM to STEAM: Reformation of Engineering Education. *Journal for Quality and Participation*, 36(3), 1-4. <https://asq.org/quality-resources/articles/bonus-article-transitioning-stem-to-steam-reformation-of-engineering-education?id=f71f8226f1674b5ca44d303fab0e431>
- Wenger-Trayner, E. i B. (2015, 15 abril). Introduction to communities of practice. A brief overview of the concept and its issues [Entrada blog]. EB. Recuperat 5 desembre 2020, de <https://wenger-trayner.com/introduction-to-communities-of-practice/>
- World Economic Forum (2015). New Vision for Education. Unlocking the Potential Technology. Recuperat 5 desembre 2020, de <https://widgets.weforum.org/nve-2015/>
- Yakman, G. (2008). STEAM Education: an overview of creating a model of integrative education. Ponència presentada a Pupils' attitudes towards technology (PATT-19) conference: Research on technology, Innovation, Design & Engineering Teaching, Salt Lake City.
- Yakman, G. (2010). *What is the point of STE@M? - A Brief Overview*. Steam Education. https://steamedu.com/wp-content/uploads/2016/01/What_is_the_Point_of_STEAM_A_Brief_Overv.pdf
- Zañartu, L. M. (2003). Aprendizaje colaborativo: una nueva forma de Diálogo Interpersonal y en Red. *Revista digital de Educación y Nuevas tecnologías*, 28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=749086>
- Zhong, B., Xia, L. (2020). A Systematic Review on Exploring the Potential of Educational Robotics in Mathematics Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(1), 79–101. <https://doi-org.biblioteca-uoc.idm.oclc.org/10.1007/s10763-018-09939-y>

10. ANNEXOS

ANNEX 1. MODELS PEDAGÒGICS

Els models pedagògics es poden definir com pautes o guies que estableixen els passos a seguir per aconseguir un disseny adequat i efectiu d'activitats i recursos d'aprenentatge (Conole, s.d.). Les teories d'aprenentatge en què es fonamenta l'educació STEAM s'inclouen en les perspectives cognitiva i situacional, cadascuna de les quals es vincula amb una visió pedagògica determinada i implica l'ús de certs models (Mayes i Freitas, 2004), d'entre els quals s'exposen els més apropiats segons el context d'aquest treball.

CICLE D'APRENTATGE DE KOLB

Es tracta d'un model *learning by doing* segons el qual l'aprenentatge és el procés pel qual es crea el coneixement a través de la transformació de l'experiència (Kolb, 1984), i consta de quatre fases (McLeod, 2017):

- experiència: trobar-se amb una situació nova o bé reinterpretar una situació existent;
- reflexió: observació reflexiva sobre l'experiència;
- abstracció: formació de conceptes abstractes i generalitzacions, això és, anàlisi i conclusions; en particular, la persona aprèn a partir de l'experiència;
- experimentació: utilització dels conceptes i generalitzacions per contrastar hipòtesis en altres situacions, donant lloc a noves experiències; o sigui, els alumnes apliquen les seves idees al món que els envolta per veure què passa.

Per tant, resulta un model útil per al disseny d'activitats STEAM, sobretot aquelles més experimentals o que s'implantin amb metodologies actives com l'aprenentatge basat en problemes, en projectes o en reptes, així com el *design thinking* (Jesionkowska et al., 2020; Li, et al., 2018; Malele i Ramaboka, 2020; Quigley et al., 2020). Tant els projectes de robòtica educativa exposats per Casado i Checa (2020) com també l'experiència d'aprenentatge descrita per Bush et al. (2016) són exemples clars d'activitats correlacionades amb aquest model pedagògic.

MODEL CONSTRUCTIVISTA DE JONASSEN

Segons el model dels Entorns d'Aprenentatge Constructivistes o model de Jonassen (Conole, s.d.), l'aprenentatge es produeix quan els estudiants s'impliquen en la construcció de significats. És un model que consta de cinc parts:

- actiu i manipulable: l'aprenentatge es produeix quan els alumnes desenvolupen un coneixement com a resposta de l'entorn;
- constructiu i reflexiu: quan els alumnes reflexionen sobre allò que han après, estan construint el seu aprenentatge;
- intencional: la motivació i engrescament dels alumnes ajuda a la construcció del seu aprenentatge;
- autèntic (complex i contextualitzat): s'ha de crear el conflicte cognitiu, fer reflexionar a l'alumnat i fomentar un aprenentatge significatiu;
- cooperatiu (col·laboratiu/conversacional): l'aprenentatge dels alumnes requereix negociacions, acords i intercanvi d'opinions que ajuden als alumnes a construir el seu aprenentatge i el dels altres.

Es tracta del model per excel·lència a l'hora de dissenyar activitats amb fonaments constructivistes, com és el cas de les activitats STEAM, i que promou el treball col·laboratiu (Sanders, 2008). Per tant, es podria dir que el tipus de tasques STEAM, autèntiques, així com el seu plantejament, l'alumne com a centre i responsable del seu procés d'aprenentatge, impliquen que qualsevol experiència d'aprenentatge amb aquest enfocament es correlacioni amb aquest model pedagògic. Per exemple, Rizzo et al. (2019) documenten un exemple.

MARC DE LA COMUNITAT D'INVESTIGACIÓ

És un model pedagògic desenvolupat per Garrison, Anderson i Archer (1999), inclòs en la perspectiva cognitiva. Segons aquests autors, una bona experiència educativa té lloc en una comunitat d'investigació composta per docents i alumnes, elements claus del procés educatiu. A més, consideren que l'aprenentatge es produeix en el sí d'una comunitat gràcies a la interacció de tres elements principals (Garrison, Anderson i Archer, 1999; Broda, 2018):

- presència social, és a dir, l'habilitat de l'alumne d'identificar-se amb la comunitat, comunicar-se i desenvolupar relacions interpersonals projectant la seva personalitat pròpia;

- presència docent, és a dir, el disseny, la facilitació i la direcció dels processos socials i cognitius per part del docent a fi d'assolir resultats d'aprenentatge significatius i educatius;
- presència cognitiva, és a dir, la capacitat de construir significats a través de la reflexió i el debat per part dels alumnes.

Es tracta d'un model molt utilitzat per modelar l'aprenentatge basat en problemes, en projectes o en reptes (Conole, s.d.), que són metodologies típiques en les activitats STEAM. De fet, Casado i Checa (2020) el mencionen com un dels suports bàsics per a crear els entorns d'aprenentatge adequats per als tallers de robòtica educativa.

COMUNITAT DE PRÀCTICA DE WENGER

Les comunitats de pràctica són grups de persones que comparteixen una preocupació o una passió per alguna cosa que fan i, gràcies a una interacció constant, milloren el seu aprenentatge (Wenger-Trayner, 2015). Segons aquests autors, una comunitat de pràctica és el resultat de la combinació de tres elements:

- el domini, és a dir, una comunitat de pràctica és un grup o xarxa de connexions entre persones amb una identitat definida per un domini d'interès compartit. Pertànyer a ella implica un compromís amb el domini i, per tant, una competència compartida que distingeix els seus membres d'altres persones;
- la comunitat, és a dir, els membres d'una comunitat de pràctica, en perseguir el seu interès pel seu domini, participen en activitats i discussions conjuntes, s'ajuden, comparteixen informació, construeixen relacions que els permeten aprendre els uns dels altres i es preocupen per la seva posició entre ells;
- la pràctica, és a dir, els seus membres desenvolupen un repertori compartit de recursos, de manera més o menys autoconscient, com ara experiències, històries, eines, formes d'abordar problemes recurrents, és a dir, una pràctica compartida, la qual cosa requereix temps i una interacció sostinguda.

Aquest model implica que l'aprenentatge és un procés de participació social i ofereix quatre visions diferents de l'aprenentatge: com a comunitat, com a identitat, com a significat i com a pràctica (Conole, s.d.).

En el marc STEAM, quan parlem de comunitat de pràctica, se'n poden distingir de dos tipus. Per una banda, les iniciatives STEAM per promoure aquestes disciplines en l'alumnat i que estan compostes per alumnes i docents. Per exemple, els [clubs](#) o [tallers](#) de robòtica educativa en el marc escolar o extraescolar, alguns dels quals

engegats inicialment amb l'objectiu de participar a concursos com la *First Lego League*. Per altra banda, les comunitats, com [STEAMCat](#), formades majoritàriament per docents que incorporen l'educació STEAM a l'aula i comparteixen experiències i recursos, i organitzen jornades o congressos per afavorir l'intercanvi de coneixements per tal d'aprendre els uns dels altres i millorar la seva pràctica educativa.

ANNEX 2. TEORIES D'APRENTATGE

CONSTRUCTIVISME

El constructivisme considera l'aprenentatge com un procés de construcció gradual del coneixement a partir de les experiències prèvies i gràcies a la interacció amb els altres (Torras, 2015). Segons Piaget (1968), principal impulsor d'aquesta teoria, hi ha quatre factors que influeixen en el desenvolupament de la intel·ligència: la maduració psicològica, decisiva pel que fa a la seqüencialitat del procés d'aprenentatge, malgrat que la construcció de la intel·ligència es produeix com a conseqüència de les accions de l'individu; l'experiència, element important per al desenvolupament cognitiu i que pot ser de diferents tipus: repetició d'una acció, física o lògico-matemàtica; la transmissió social, que endarrereix o accelera el procés, tot i que aquest realment depèn de l'activació d'estructures prèvies; i l'equilibratge, component essencial perquè es produeixi l'aprenentatge i que es basa en dos principis: l'assimilació, que comporta la integració d'informació; i l'acomodació, que implica la modificació de la representació mental (Saldarriaga-Zambrano et al., 2016).

Tant el marc STEAM que es planteja en els diferents estudis analitzats com les metodologies i estratègies utilitzades per a la seva implementació en les experiències examinades es basen en les idees del constructivisme, que es poden resumir com segueix (Saldarriaga-Zambrano et al., 2016; Torras, 2015):

- el coneixement i el desenvolupament cognitiu de l'individu són fruit de la seva activitat constructiva, tant intel·lectual com física;
- l'alumne té un rol actiu, elabora la informació i és capaç de progressar de forma autònoma;
- el docent és un facilitador de l'aprenentatge en tant que proporciona entorns i activitats adaptades al context i a les necessitats dels alumnes;

En conclusió, tal com es dedueix a partir dels treballs citats, el constructivisme es troba en els fonaments de l'educació STEAM i, en particular, de l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM i suport de la tecnologia perquè aquest nou

paradigma educatiu considera que tot estudiant és capaç de construir el coneixement propi a partir de les seves experiències prèvies de forma autònoma però social, sempre amb el guiatge i orientació del docent, el qual li proporciona tant els continguts com els espais educatius apropiats.

INTERACCIONISME SIMBÒLIC

L'interaccionisme simbòlic entén l'aprenentatge com un procés de construcció de significats a partir del significat subjectiu d'un mateix i a través de la interacció amb els altres (Torras, 2015). Aquesta teoria es basa en tres premises: la importància dels significats, la importància de la interacció social i la importància del caràcter. Més concretament, Blumer va establir-ne els tres principis fonamentals (Lennon, 2006):

- L'ésser humà actua en relació a les coses i a les accions dels altres en funció del significat que aquestes tenen per a ell.
- Els significats sorgeixen i es constitueixen en el context d'interacció social, és a dir, són producte de les relacions amb els altres individus.
- Els significats s'elaboren i es modifiquen contínuament per mitjà de processos de caràcter interpretatiu duts a terme per la mateixa persona en interactuar amb el seu entorn.

L'educació STEAM tal com es descriu en els diferents estudis analitzats presenta trets que es relacionen amb l'interaccionisme simbòlic, sobretot pel que fa a la participació activa dels estudiants en la construcció de coneixements i, per tant, de significats. En particular, les experiències examinades mostren que aquesta qüestió també s'aplica a l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM i suport de la tecnologia (Bush, et al., 2016; Rizzo et al., 2019).

CONNECTIVISME

El connectivisme considera que l'aprenentatge està distribuït en una xarxa tecnològica i social, i és un procés de connexió entre nodes que té lloc per mitjà del reconeixement i la interpretació de patrons (Siemens, 2005). Aquesta teoria és relativament recent i sorgeix de la necessitat de donar resposta a les limitacions de les teories d'aprenentatge anteriors, que van aparèixer quan l'aprenentatge encara no rebia influències de la tecnologia, tal com passa des dels inicis del segle XXI.

El marc STEAM i, en particular, les experiències STEAM analitzades es basen en els principis de disseny derivats del connectivisme establerts per Siemens (2005), d'entre els quals es destaquen els següents:

- L'aprenentatge i el coneixement es recolzen en una diversitat d'opinions.

- L'aprenentatge és un procés de connexió entre nodes o fonts d'informació especialitzats.
- L'aprenentatge es pot trobar en dispositius no humans.
- Cal nodrir i mantenir les connexions per facilitar l'aprenentatge continu.
- La capacitat de veure connexions entre camps, idees i conceptes és una habilitat essencial.
- La presa de decisions és un procés d'aprenentatge per ella mateixa.

En conclusió, el connectivisme es troba en els fonaments de l'educació STEAM i, en particular, de l'ensenyament de les matemàtiques amb enfocament STEAM i suport de la tecnologia perquè aquest nou paradigma educatiu incideix en la transversalitat i la connexió, així com en l'autonomia de l'estudiant per identificar reptes o problemes, i proposar i compartir-ne les solucions trobades (Quigley et al., 2020).

ANNEX 3. DECÀLEG DE RECOMANACIONS I ESTRATÈGIES

A continuació es descriuen breument els punts del decàleg de recomanacions i estratègies elaborat.

1. Analitzar el context on es vol incorporar.

En primer lloc, és indispensable fer una anàlisi exhaustiva del context on es pretén implementar la proposta formativa per assegurar que és apropiada. En concret, cal determinar el perfil dels estudiants, el context social i les opcions de mitjans per adequar l'experiència d'aprenentatge a la situació.

2. Establir els objectius generals que es volen assolir.

En segon lloc, cal definir els objectius de la proposta formativa, és a dir, què es vol aconseguir amb la seva implementació com, per exemple, afavorir un aprenentatge connectat amb la realitat, millorar la comprensió d'un concepte o promoure el treball autònom i en grup. Els objectius específics d'aprenentatge s'estableixen en dissenyar la proposta.

3. Definir els rols del docent, dels alumnes i de la tecnologia.

En tercer lloc, per tal que l'execució de la proposta formativa es dugui a terme de forma fluïda, cal dissenyar les línies bàsiques dels rols del docent, dels alumnes i de la tecnologia que, en general, són:

- Rol del docent. Abans de la implementació de la proposta formativa, el docent pren el rol de dissenyador; mentre que durant la realització de l'activitat el docent guia, orienta i acompanya els alumnes, alhora que

gestiona la informació, els recursos i l'entorn, i també dinamitza l'aula per afavorir l'aprenentatge (Guitert i Romeu, 2019).

- Rol dels alumnes. En qualsevol activitat STEAM els alumnes prenen un rol actiu i esdevenen responsables del seu procés d'aprenentatge. En concret, han d'organitzar-se, gestionar informació i temps, treballar en grup i ser autònoms en la mesura que sigui possible.
- Rol de la tecnologia. Les TIC són el mitjà que possibiliten la realització de determinades activitats STEAM o la simplifiquen. Per tant, en certes ocasions el seu paper és clau, mentre que en altres representen una millora de les experiències d'aprenentatge.

4. Escollir la metodologia i les estratègies metodològiques apropiades.

En quart lloc, cal escollir la metodologia més apropiada tenint en compte tant la proposta formativa com el context d'aplicació. En aquest sentit, per exemple, les primeres experiències STEAM és recomanable dur-les a terme amb una metodologia més senzilla com és l'aprenentatge basant en problemes i, segons la situació, es poden complementar amb la inclusió d'elements de ludificació per motivar els estudiants.

5. Identificar el model pedagògic en què es fonamentarà la implementació.

En cinquè lloc, l'ús d'un model pedagògic adequat pot facilitar la implementació i afavorir la seva efectivitat, ja que permet reflexionar sobre tots els aspectes a tenir en compte i anticipar-se a problemes que puguin sorgir.

6. Seleccionar les eines i recursos tecnològics adequats.

En sisè lloc, els processos d'aprenentatge amb suport TIC impliquen portar a cap un procés de selecció de recursos i eines tecnològiques que depèn no només del perfil dels alumnes sinó també dels recursos humans i tecnològics de què disposa el centre educatiu.

7. Crear i desenvolupar els materials i els recursos didàctics.

En setè lloc, cal desenvolupar els materials i recursos didàctics necessaris per a la posada en pràctica de l'activitat d'aprenentatge. Aquests han d'estar a punt abans de la implementació de la proposta formativa i es poden elaborar en formats diversos per adaptar-se als diferents estils i ritmes d'aprenentatge.

8. Preparar els alumnes per al canvi de paradigma.

En vuitè lloc, és important explicar als estudiants el canvi de perspectiva dels processos d'ensenyament i aprenentatge que suposa el nou paradigma. En particular, cal comunicar-los quin és el rol de cadascú (docent, alumnes i TIC) i

què s'espera d'ells per facilitar-los tant el procés d'adaptació com l'assoliment d'objectius i resultats d'aprenentatge esperats.

9. Avaluar la implementació i, si s'escau, modificar-ne aspectes per a una millora. En novè lloc, un cop implementada la proposta formativa és important i molt recomanable revisar-ne tots els aspectes (objectius, materials i recursos didàctics, metodologies i estratègies metodològiques, tecnologia, ...) per detectar punts crítics i procedir a la seva millora per a una propera execució.
10. Treballar col·laborativament docents de les diferents disciplines STEAM. Finalment, cal tenir present que les propostes formatives STEAM han de ser interdisciplinàries. Així doncs, el treball col·laboratiu de docents de diferents disciplines STEAM és fonamental tant per garantir la integració com per ampliar les possibilitats de l'educació STEAM.

ANNEX 4. IMPLEMENTACIÓ A NIVELL DE CENTRE EDUCATIU

Tot seguit s'expliquen breument els punts que cal considerar, més enllà del decàleg, quan es vol implementar un programa STEAM a nivell de centre educatiu.

1. Establir el model de disseny tecnopedagògic. En primer lloc, per garantir un bon disseny, desenvolupament i implementació d'un programa STEAM en un centre educatiu cal considerar diferents fases. A tal efecte, es poden seguir diversos models de disseny tecnopedagògic com ADDIE, ASSURE, SOLE o prototipació ràpida, entre altres. En aquest cas, un dels models més adient és l'ASSURE perquè facilita la integració de les TIC. D'altra banda, és important relacionar el model de disseny tecnopedagògic, la metodologia i els enfocaments pedagògics amb l'objectiu que es vol aconseguir implemetant el programa STEAM al centre educatiu.
2. Fer una planificació temporal i econòmica. En segon lloc, cal establir l'estratègia més adequada a l'hora d'implementar un programa STEAM a nivell de centre. En particular, és important determinar el temps necessari per executar cada fase del projecte i disposar d'un pressupost econòmic per obtenir els recursos personals i materials necessaris.
3. Avaluar la formació i l'experiència prèvia del professorat en educació STEAM i, en particular, la seva competència digital. En tercer lloc, la capacitació dels docents és indispensable per a l'èxit de la implementació d'un programa STEAM. Per tant, cal avaluar la formació docent

en educació STEAM i les competències TIC del professorat, així com la seva experiència prèvia en educació STEAM i/o amb suport TIC.

4. Formar i acompanyar l'equip docent implicat en la seva adaptació al nou marc educatiu, en especial, al canvi de rol.

En quart lloc, tenint en compte que l'èxit de la implementació del programa depèn en gran mesura dels docents, és necessari procurar-los una formació específica, així com acompanyar-los i donar-los suport en tot moment.

5. Dur a terme una prova pilot del programa STEAM dissenyat en un grup reduït i identificar els punts forts i febles abans d'incorporar-lo a tot el centre.

En cinquè lloc, abans d'implementar el programa a nivell de tot un centre educatiu, és essencial fer una prova en un grup reduït per poder garantir que la programació és veritablement STEAM, i identificar els moments claus i els punts febles per poder-los resoldre'ls abans de la implementació global.