

Smart Classrooms i l'adveniment de la Quarta Revolució Industrial: anàlisi dels factors clau per al disseny d'aules intel·ligents

UTE. Revista de Ciències de l'Educació

2020 núm. 3. Pag. 61-72

ISSN 1135-1438. EISSN 2385-4731

<http://revistes.publicacionsurv.cat/index.php/ute>



<https://doi.org/10.17345/ute.2020.3>

Jordi Mogas-Recalde 

Rebut: 12/12/2020 Acceptat: 25/01/2021

Resum

Aquesta tesi neix amb l'objectiu de descriure les aules intel·ligents analitzant-ne els elements diferenciadors, les dimensions i les interrelacions, per comprendre quines són les tendències que poden proporcionar millores en els processos d'ensenyament-aprenentatge dels estudiants del segle XXI. Per fer-ho, s'utilitza una metodologia d'investigació exploratòria que permet recollir dades i concatenar resultats per ampliar-ne el marc referencial. En total es compendien dotze publicacions del doctorand, en què les tècniques i els instruments de recerca utilitzats són diversos: revisions sistemàtiques de la literatura i aproximacions teòriques amb valoració d'experts, entrevistes, grups focals, anàlisi documental i tests objectius. La fonamentació teòrica permet contextualitzar la Quarta Revolució Industrial i el seu potencial en educació. Com a resultat, s'introdueix una definició de les escoles intel·ligents, que han d'estar dotades de sistemes de gestió integral i solucions automatitzades, han d'estar centrades en les persones i ser inclusives, i han de ser sostenibles, amb l'objectiu d'acollir una educació intel·ligent tot adoptant de manera eficient noves metodologies d'aprenentatge i avenços de la Quarta Revolució Industrial. També es conceptualitzen i es defineixen les aules intel·ligents mitjançant la dimensionalització de les seves característiques, i es descriuen les característiques principals que han de tenir quant a tecnologia, factors ambientals i processos pedagògics. Es posa especial èmfasi en les condicions ambientals, ja que es detecta que són influents en els processos d'ensenyament-aprenentatge i representen un camí rellevant per la innovació a les aules. S'estudien en profunditat els dos temes més rellevants: il·luminació i acústica. Els resultats emergents de la recollida de dades mostren diverses implicacions de les smart classrooms i el seu nivell de maduresa. Val a destacar, d'una banda, que els centres educatius de Catalunya estan disposats a respondre a les innovacions pedagògiques que comporti l'arribada de la Indústria 4.0, però encara no estan preparats per obtenir uns resultats eficients. D'altra banda, es destaca l'efectivitat de sistemes dinàmics per controlar la il·luminació a l'aula, com a primer pas en l'automatització de les condicions ambientals en una aula intel·ligent.

Paraules clau: espais d'aprenentatge, aula intel·ligent, smart classroom, condicions ambientals, quarta revolució industrial

1. Preàmbul

Tesi elaborada per Jordi Mogas Recalde, dirigida pel Dr. Ramon Palau Martín, adscrits al programa de

doctorat en Tecnologia Educativa de la Universitat Rovira i Virgili (URV). El treball es va lliurar a finals del 2020 i la defensa correspon al 2021. Durant el període de realització d'aquesta tesi, el doctorand ha presentat una vintena de comunicacions i ha publicat més de vint articles científics i capítols de llibre; a la memòria se'n compendien dotze. Complementant la investigació, el doctorand ha fet una estada de recerca de quatre mesos i mig a la Universitat Catòlica de Lovaina (KU Leuven), a Kortrijk (Bèlgica), i una altra d'un mes a la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), a Múrcia (Espanya).

El projecte va obtenir un reconeixement al Tarragona Smart Fòrum 2019 amb el lema "Reconèixer l'empenta, assumir el futur", amb menció a la categoria "internacionalització i innovació". Com a resultat de la tesi, el doctorand ha estat premiat amb un ajut del Consell Social de la URV a les millors idees emprenedores, i ha estat seleccionat per participar al programa OnCampus LLP, iniciativa de The Collider – Mobile World Capital Barcelona. S'ha fet difusió d'aquests assoliments amb entrevistes concedides a mitjans com Tarragona Ràdio, Ràdio Ciutat Tarragona, Diari de Tarragona i La Vanguardia, entre altres.

2. Introducció

Actualment s'incorporen o s'adopten noves metodologies d'aprenentatge i noves orientacions pedagògiques a les pràctiques d'ensenyament, especialment impulsant la cooperació, el debat i centrant l'aprenentatge en l'alumne independentment de la mida de les classes (Wang & Zhang, 2019), però aquesta innovació educativa se situa sobretot a l'antiga i rígida disposició física de les aules tradicionals. Si bé és cert que també existeix innovació en els espais, la modernització es proposa quasi sempre mitjançant el disseny o redisseny d'espais més flexibles per aprendre, amb mobles més atractius, cadires amb rodes, espais multiusos, diversificació de racons i aules obertes (Bosch, 2018; JISC, 2006; Lehtniemi, 2016), si bé sense canvis de fons.

Una altra manera de buscar modernització és recorrent a tecnologia. La presència de les TIC a les escoles ha crescut al segle XXI (Hassan & Geys, 2016), i aquestes ofereixen espais d'aprenentatge enriquits amb tecnologia (Ertmer et al., 2012; Inan & Lowther, 2010). Tot i això, els canvis no s'estan introduint d'una manera holística, sinó més aviat amb millores puntuals que no tenen en compte una estratègia integral d'actuació. En moltes ocasions les escoles seleccionen determinades tecnologies que manquen d'una comprensió profunda del seu potencial, tot i que és ben sabut que la integració ha d'anar més enllà de proporcionar components tecnològics (Ifenthaler & Schweinbenz, 2016). A més, aquestes suposades innovacions no sempre s'introdueixen buscant el benestar dels estudiants (físic, emocional, social, intel·lectual), que és vital atès que millora el rendiment acadèmic (Darling-Hammond et al., 2019; JISC, 2019).

El nou paradigma educatiu condueix a introduir el concepte d'*entorn intel·ligent d'aprenentatge* (en anglès, *smart learning environment*, SLE). Els SLE no són només espais d'aprenentatge físic, sinó que gràcies a la Quarta Revolució Industrial (4IR) han passat a estar dotats de sistemes ciberfísics que permeten una interacció més significativa entre els alumnes o entre els alumnes i el professorat, amb independència del lloc físic on es trobin. A més, guanya terreny el potencial de la intel·ligència artificial i l'internet de les coses, reforçant amb un avenç sense precedents la interacció persona-ordinador. Això, juntament amb altres solucions de la Indústria 4.0 com tecnologies implantables, internet usable, informàtica ubíqua, robòtica, realitat virtual i augmentada, impressió 3D o seguiment de la mirada (Rodal, 2020; Shahroom & Hussin, 2018; Zhong et al., 2017). Com veurem en aquesta tesi, els avenços estan en marxa, la potencialitat és considerable, i en tot cas sempre es posa en relleu que la pedagogia se situa com a beneficiària final de qualsevol procés d'innovació tecnològica a les institucions educatives, ja que tota proposta pretén donar resposta a noves necessitats reconegudes en l'educació del segle XXI, en el perfil d'estudiants actual.

Aquests avenços ja es troben en una fase inicial de desenvolupament per a les escoles i poden comportar millores imprevisibles en l'educació. Per tant, cal definir bé com s'han d'adaptar aquestes tecnologies i

les escoles a aquest futur proper, amb visió d'extreure el màxim profit dels avenços tecnològics d'acord amb les necessitats socials actuals, i alhora evitar que el potencial tecnològic esdevingui contraproductiu. Així mateix, arran de les primeres investigacions dutes a terme es va constatar que les condicions ambientals de l'aula són una dimensió decisiva en les *smart classrooms*, i es va detectar que existeix poca recerca que explori en profunditat aquestes condicions a l'aula i com s'haurien de regular per fer les aules intel·ligents. Paràmetres com la temperatura del color de la llum presenten mancances quant a investigació de com s'han de regular a les aules. Per aquest motiu, el treball s'enfoca a descriure les aules intel·ligents en el paradigma de la 4IR i les condicions ambientals com a dimensió d'estudi essencial, amb una atenció especial a la il·luminació i a l'acústica.

2.1. Objectius de recerca

Objectiu general

Descriure les aules intel·ligents analitzant-ne els elements diferenciadors, les seves dimensions i les seves interrelacions, per tal de comprendre quines són les tendències que poden proporcionar millores en els processos d'ensenyament-aprenentatge dels estudiants del segle XXI.

Objectius específics

- 1) Generar un marc de referència holístic i integrador a partir les característiques dels entorns intel·ligents d'aprenentatge i de les aules intel·ligents segons la literatura publicada i aportació experta.
- 2) Determinar quins són els paràmetres de la il·luminació de l'aula que es poden regular mitjançant la tecnologia en funció de la tasca que es duu a terme en cada moment.
- 3) Analitzar quins factors de l'acústica de l'aula es poden regular mitjançant la tecnologia en funció de la tasca que es duu a terme en cada moment.
- 4) Establir relacions entre l'aula intel·ligent i les seves característiques contextuais.

2.2. Tesi per compendi de publicacions

Els objectius s'han resolt en diversos treballs que s'han publicat de forma separada. L'informe presentat com a memòria de tesi compendia un total de dotze publicacions. A la figura 1 s'exposa un diagrama amb el flux de publicacions escollides per mor de vertebrar el relat.

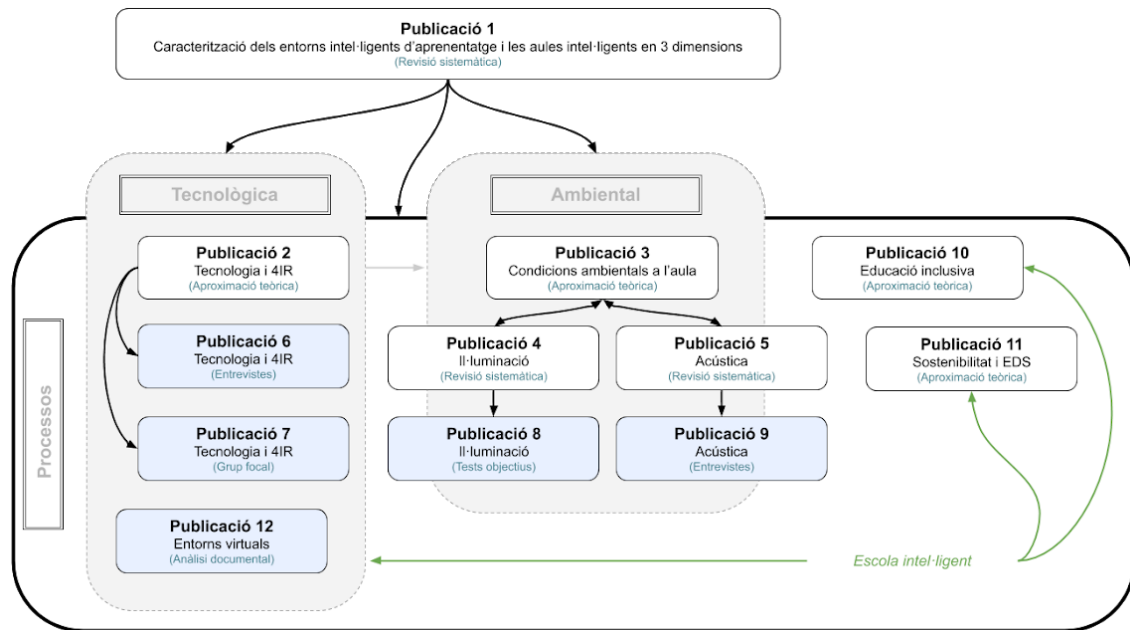


Figura 1. Flux de publicacions d'acord amb la dimensionalitat establerta a la publicació 1. Font: Mogas (2020)

La publicació 1 (Palau & Mogas, 2019) estableix una base conceptual i teòrica que fonamenta la resta del treball i marca les línies d'investigació. A partir d'aquesta primera publicació la feina realitzada es diversifica en tres eixos sobre una base intencional:

a) Un eix es basa en la *dimensió tecnològica*, en què la publicació 2 (Lorenzo et al., en premsa) aprofundeix en la fonamentació teòrica i serveix de precedent essencial per recollir dades sobre el tema a les publicacions 6 (Mogas et al., en revisió a) i 7 (Mogas et al., 2020). La publicació 12 (Mogas, Palau, & Holgado, 2020) és una implicació addicional relacionada a aquest eix.

b) Un altre eix es basa en la *dimensió ambiental*, en què la publicació 3 (Mogas, Márquez, & Palau, 2020) marca des de la reflexió teòrica fonamentada les necessitats d'investigació, les quals es bifurquen:

b1) Primer en la recerca sobre il·luminació, amb una fonamentació teòrica exhaustiva a la publicació 4 (Mogas & Palau, 2021) que serveix de precedent essencial per recollir dades sobre el tema a la publicació 8 (Mogas et al., en revisió b).

b2) Després en la recerca sobre acústica, amb una fonamentació teòrica exhaustiva a la publicació 5 (Mogas, Palau, & Márquez, en premsa) que serveix de precedent essencial per recollir dades sobre el tema a la publicació 9 (Mogas, Palau, & Márquez, 2020).

c) El tercer eix és transversal, recull publicacions classificades com a *altres implicacions*, les quals tenen una sòlida raó de ser: la publicació 10 d'educació inclusiva (Mogas et al., 2019) i la publicació 11 de sostenibilitat i EDS (Cebrián et al., 2020) representen el que a la publicació 6 s'identifica, juntament amb la dimensió tecnològica, com els tres pilars vertebradors de les escoles intel·ligents.

La base intencional és la *dimensió de processos*, o pedagògica, i cal remarcar que serveix per estudiar tots els eixos amb visió pedagògica, ja que l'interès principal d'aquesta tesi és entendre com es pot millorar l'educació.

2.3. Estructura de la tesi

A la memòria de tesi, en primer lloc trobem una secció preliminar en què es detalla la producció científica del doctorand i s'aprofundeix explicant el mètode de compendi, s'adjunta una fitxa explicativa de cadascuna de les dotze publicacions compendiades.

La secció primera serveix de marc teòric i conceptual. Després de la introducció, s'ofereix un capítol en què es mostra el nivell de desenvolupament tecnològic actual, emmarcat en la 4IR, i alhora s'incideix en la importància d'enfocar qualsevol innovació cap al nou perfil d'estudiants del segle XXI. El segon capítol ens aproxima a les escoles intel·ligents mitjançant la definició dels pilars que la fonamenten. El tercer capítol mostra un estat de la qüestió quant a caracterització de les aules intel·ligents, amb una classificació que agrupa categories de característiques en tres dimensions: la tecnològica, la de condicions ambientals i la de processos o pedagògica. El quart capítol se centra en la dimensió de condicions ambientals i ofereix les bases teòriques que permeten comprendre els paràmetres referents a il·luminació i acústica que cal considerar en les aules intel·ligents.

La secció segona mostra una síntesi o visió global del conjunt de publicacions compendiades a través de dos capítols. Al cinquè capítol es revisa el disseny metodològic d'aquesta tesi per mostrar la diversitat i alhora cohesió dels diversos treballs realitzats. El sisè capítol serveix per recuperar de forma resumida els principals resultats i discussió de les obres publicades.

La secció tercera és una lectura de valor. El setè capítol són les conclusions principals de la tesi, organitzades a partir dels objectius que es pretenien aconseguir. El lector notarà que aquest capítol està escrit en llengua anglesa, i això es justifica pel fet que la present tesi opta a la menció internacional. Per acabar, el vuitè capítol pretén remarcar el valor de la feina realitzada posant en relleu no només propostes i recomanacions, sinó també iniciatives de continuïtat que ja s'han posat en marxa a l'hora de publicar aquestes línies.

3. Metodologia

El treball en conjunt s'emmarca en una metodologia d'investigació exploratòria. Aquesta aproximació metodològica permet emprendre recerques emergents i, d'acord amb Stebbins (2001), s'emfatitza el desplegament de la teoria a partir de dades de diferents tipus que permeten fonamentar uns principis a partir de la concatenació de resultats.

L'exploració concatenada d'aquesta tesi es reflecteix en treballs que han requerit mètodes i procediments diversos. El procés consta de dues fases, una primera fase en què es van bastir els principis teòrics subjacents als interessos d'investigació entorn de la conceptualització de les aules intel·ligents, estudis en que s'han dut a terme amb revisions sistemàtiques de la literatura i amb aproximacions teòriques amb valoració d'experts. En una segona fase s'ha utilitzat el coneixement generat prèviament per indagar determinats aspectes mitjançant tècniques i instruments diversos: entrevistes, grups focals, anàlisi documental i tests objectius com el test d'atenció d2 i el test de creativitat de Torrance (TTCT).

4. Marc teòric

Superant els avenços que durant les darreres dècades han anat perfilant els costums i les facilitats de la societat actual, darrerament estem vivint una nova concepció del desenvolupament tecnològic i social que s'ha anomenat Quarta Revolució Industrial (4IR). Es tracta d'una transformació radical, ja que no es limita a avenços focalitzats tal com coneixem de les revolucions industrials precedents, sinó que ens enfrontem a transformacions conceptuais a què totes les indústries es veuran forçades a adaptar-se,

inclosa l'educació. El sistema educatiu ha de conciliar la necessitat de desenvolupar escoles interconnectades i sostenibles, interactuar en la diversitat i comprendre les tecnologies avançades que hi ha al mercat des del punt de vista pedagògic. Aquestes noves tecnologies són diverses i ajuden a crear sistemes ciberfísics interconnectats, en què predominen aplicacions de la intel·ligència artificial i internet de les coses. Per seguir el ritme de la societat, hi ha la necessitat d'ampliar l'horitzó amb nous paradigmes d'ensenyament-aprenentatge que requereixen que professors i estudiants col·laborin en projectes juntament amb el suport d'aquestes tecnologies. El món avança cap a una societat híbrida basada en les interaccions persona-màquina, i l'educació hi ha de representar el seu paper (Lorenzo & Gallon, 2018).

En aquest context sorgeixen les escoles intel·ligents i les aules intel·ligents. A la tesi, i partint de la fonamentació teòrica que s'ha dut a terme, es proposa una definició pròpia d'escoles intel·ligents indicant que tenen tres pilars fonamentals: la tecnologia, la sostenibilitat i la inclusió. S'aprofundeix extensament en la justificació d'aquests fonaments i altres elements cohesionadors. Endemés, es fa una categorització de característiques que es poden produir en una aula intel·ligent, les quals es classifiquen en tres dimensions: tecnològica, processos pedagògics i condicions ambientals. La darrera dimensió, de condicions ambientals, marca la investigació car gran part es dedica a explorar com la il·luminació i l'acústica afecten als espais d'aprenentatge, quins són els factors o paràmetres que s'haurien de regular en una aula intel·ligent.

Els efectes de la il·luminació de l'aula s'aborden a la literatura en termes de les seves implicacions psicològiques i cognitives com els assoliments acadèmics (Cheryan et al., 2014; Gilavand et al., 2016), l'atenció (per exemple, Hartstein et al., 2018), concentració (Lee et al., 2016; Slegers et al., 2013), motivació dels estudiants per aprendre més (Samani, 2011), compromís (Pulay & Williamson, 2019), confort visual o comoditat (Yildiz et al., 2018), o bé s'avaluen els efectes en el rendiment cognitiu en termes generals (Monteoliva et al., 2016). A més, Choi i Suk (2016) informen d'altres efectes positius del control de la il·luminació, com ara la velocitat de treball, la productivitat i la precisió. Els paràmetres lumínics que més poden afectar són la intensitat de la llum i la temperatura del color correlacionada (CCT). Aquest darrer apareix com el més rellevant, i de les investigacions existents es desprèn que malgrat els indicis encara no està ben resolta la justificació que diferents tasques a l'aula requeririen diferents tipus de CCT (Keis et al., 2014; Mott et al., 2014; Slegers et al., 2013).

L'acústica pot afectar la comunicació a causa de diverses condicions adverses amb origen en l'emissor, limitacions de l'oient o causades pel mateix ambient comunicatiu (degradació amb emmascarament energètic, soroll, balbuceig de fons, reverberació). L'acústica adversa requereix una escolta més esforçada (Ellen Peng & Wang, 2019), cosa que pot implicar un rendiment inferior dels estudiants. Diverses fonts de so a l'interior i l'exterior poden afectar els processos d'aprenentatge dels estudiants (Dockrell & Shield, 2012; Santos et al., 2013), l'escolta (Woolner & Hall, 2010) i el comportament (Prodi & Visentin, 2015), la veu del professor (Mendes et al., 2016) i la salut (Hadzi-Nikolova et al., 2013; Tiesler et al., 2015), incloent problemes vocals, auditiu i d'estrès. També pot representar dificultats en la comunicació entre estudiants i professors o entre estudiants (Sekine et al., 2018). A més, en una aula ben dissenyada, els estudiants amb necessitats especials i discapacitats com la sordesa i l'autisme poden trobar un espai més inclusiu i adequat per aprendre (Kanakri et al., 2017; Martins & Gaudiot, 2012; Mogas et al., 2019; van der Kruk et al., 2017). Per tant, és essencial atendre el disseny acústic a les aules intel·ligents.

5. Resultats

El primer objectiu es treballa en profunditat al llarg de les publicacions de fonamentació teòrica, en què es desenvolupen les principals idees:

- *Indústria 4.0 i la Quarta Revolució Industrial (4IR) en educació.* Un nombre creixent de treballs tracta d'aquest nou paradigma educatiu i és essencial per contextualitzar les futures millores de les metodologies educatives a l'aula intel·ligent.
- *Escoles intel·ligents.* En aquesta tesi es proposa una definició d'escoles intel·ligents que compta amb les seves principals característiques clau.
- *Els entorns d'aprenentatge intel·ligent i les aules intel·ligents* es defineixen amb una caracterització basada en tres dimensions emergents de la interpretació de la literatura: tecnològica, ambiental i pedagògica.
- Es presta especial atenció a la *dimensió ambiental*, ja que s'activa mitjançant la tecnologia i afecta l'aprenentatge. Aquesta dimensió no es té en compte amb les possibilitats que podria aportar si s'automatitza gràcies a les millores de la 4IR. Hi predomina la il·luminació i l'acústica.

Com a resultat dels punts anteriors, sorgeix una nova conceptualització tal com s'expressa a la figura 2. Tot i que la tecnologia en diverses formes no és sinó un activador que permet els canvis per millorar l'educació, les condicions ambientals són un punt intermedi a considerar. La il·luminació, l'acústica i la qualitat de l'aire a les aules s'han de controlar per mitjans tecnològics per oferir escenaris dinàmics per fer front als diferents tipus d'activitats o tasques. Tot això té un impacte provat en l'ensenyament i l'aprenentatge, que s'ha de considerar el nucli de la intervenció i, en conseqüència, és una dimensió determinant.

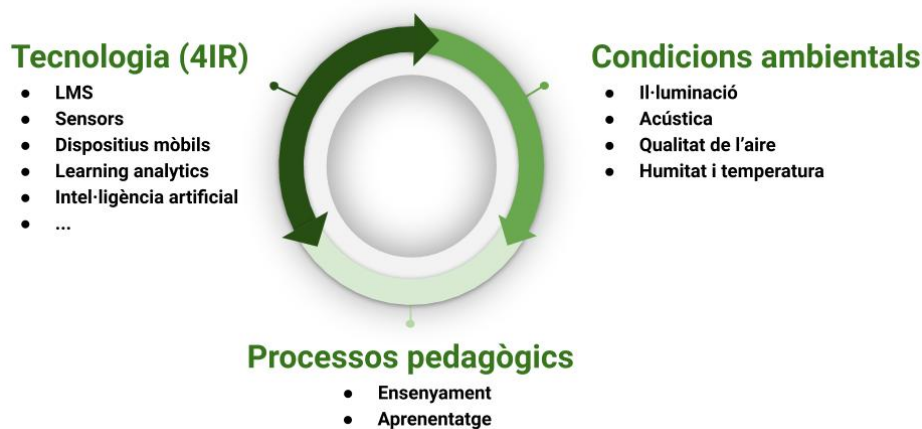


Figura 2. Relació direccional entre dimensions d'una aula intel·ligent. Font: Mogas (2020)

Si bé la il·luminació afecta els processos d'ensenyament-aprenentatge, normalment no es considera de forma apropiada en el disseny de les aules. Per aquest motiu, el seu estudi ha centrat el segon objectiu de la tesi. El factor que s'ha examinat amb més detall és la temperatura del color correlacionada (CCT). Diverses investigacions assenyalen la necessitat d'introduir un sistema d'il·luminació dinàmica, però mancava recerca per demostrar que els nivells més baixos de CCT afecten positivament els processos creatius i reflexius, de manera que les aules han de poder tenir una il·luminació regulable. Els resultats dels experiments fets a la publicació 8 d'aquesta tesi van aconseguir demostrar que la il·luminació més càlida és preferible per al pensament divergent. Es reforça la hipòtesi que els sistemes d'il·luminació dinàmica a les aules intel·ligents poden donar millors resultats. La 4IR aporta la intel·ligència artificial i dades massives com a elements per impulsar l'evolució cap a aquest sistema dinàmic d'il·luminació.

En relació a l'acústica, els paràmetres més significatius a l'aula són el soroll i la reverberació. Afecten els

aspectes de comunicació, aprenentatge i salut tant dels estudiants com dels professors. El tercer objectiu s'ha tractat amb suficient profunditat i s'ha assolit parcialment. La hipòtesi inicial era que, a més de la il·luminació, hi hauria certs aspectes de l'acústica de l'aula fàcils de regular o controlar per mitjans electrònics, i d'aquesta manera adaptar els paràmetres d'aprenentatge a millors condicions. És cert que la tecnologia està millorant l'acústica de l'aula i es considera que les adaptacions són útils, però els nostres resultats no mostren de forma concloent com hauria de ser aquest sistema.

Com a característiques contextuals:

- a) La *tecnologia* té un paper clau en els nous paradigmes socials d'un món interconnectat globalment. Big data, intel·ligència artificial, Internet de les coses i altres desenvolupaments de la Indústria 4.0 estan configurant el futur. Les conclusions d'aquesta tesi remarquen que encara estem una mica lluny d'implementar la 4IR a l'educació de forma completa, però les escoles estan disposades a introduir aquests canvis. Aquests són els aspectes més destacats:
 - Hi ha una clara voluntat d'adoptar solucions de la Indústria 4.0, ja que pot produir un impacte molt positiu en els processos d'ensenyament-aprenentatge.
 - La indústria 4.0 ha de basar les solucions en la pedagogia per tenir èxit en educació. No es tracta d'introduir innovacions atractives, sinó de facilitar un canvi sistèmic.
 - Les escoles no són capaces de fer front als avenços tecnològics per si soles. Cal donar-los suport des de l'administració i amb polítiques proactives.
 - Cal desenvolupar millors solucions per a les escoles i transmetre amb més èxit per què són realment útils per millorar l'educació.
 - Es requereix més formació, ja que la competència digital dels professors no sempre és adequada per afrontar les innovacions tecnològiques.
- b) *Sostenibilitat*. Les escoles intel·ligents tenen la sostenibilitat com a pilar fonamental i cal fomentar l'educació per al desenvolupament sostenible en una adopció transversal en els processos d'organització. Les aules intel·ligents poden ajudar a implementar metodologies d'educació per al desenvolupament sostenible (ESD) de manera eficaç.
- c) *Educació inclusiva*. Les escoles intel·ligents tenen la inclusió com un altre pilar fonamental i s'ha de fomentar una educació inclusiva per fer front a la diversitat social.

6. Principals contribucions

- Un dels punts forts del treball realitzat rau en la seva contribució teòrica. Els principis teòrics de l'aula intel·ligent combinen diferents camps d'estudi (4IR, inclusió, sostenibilitat, il·luminació, acústica), sempre amb l'objectiu d'interpretar els seus efectes en els processos d'ensenyament i aprenentatge. Per tant, aquest treball contribueix al desenvolupament conceptual d'aules intel·ligents.
- Aquest treball ha ajudat a cobrir un buit quant a la demostració científica que la il·luminació de l'aula escolar requereix un sistema dinàmic, que evoluciona cap a espais d'aprenentatge adaptatius ajudats per la Indústria 4.0. En concret s'ha constatat que cal una temperatura del color diferent dependent de la tasca que es duu a terme a l'aula.
- Les dades recollides han ajudat a analitzar l'estat actual de les aules intel·ligents i les escoles intel·ligents de Catalunya, i així entendre millor com encarar els canvis i els reptes de futur.

Agraïments

Aquesta tesi doctoral ha estat possible amb el suport de la Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Economia i Coneixement de la Generalitat de Catalunya, de la Unió Europea (UE) i del Fons Social Europeu (FSE) (Número d'expedient: 2017 FI_B 00085).

Referències

- Bosch, R. (2018). *Designing for a Better World Starts at School*. Saxo Publish.
- Cebrián, G., Palau, R., & Mogas, J. (2020). The Smart Classroom as a Means to the Development of ESD Methodologies. *Sustainability*, *12*(7), 3010. <https://doi.org/10.3390/su12073010>
- Cheryan, S., Ziegler, S. A., Plaut, V. C., & Meltzoff, A. N. (2014). Designing Classrooms to Maximize Student Achievement. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, *1*(1), 4–12. <https://doi.org/10.1177/2372732214548677>
- Choi, K., & Suk, H.-J. (2016). Dynamic lighting system for the learning environment: performance of elementary students. *Optics Express*, *24*(10), A907–A916. <https://doi.org/10.1364/oe.24.00a907>
- Darling-Hammond, L., Flook, L., Cook-Harvey, C., Barron, B., & Osher, D. (2019). Implications for educational practice of the science of learning and development. *Applied Developmental Science*, *24*(2), 97–140. <https://doi.org/10.1080/10888691.2018.1537791>
- Dockrell, J. E., & Shield, B. (2012). The impact of sound-field systems on learning and attention in elementary school classrooms. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *55*(4), 1163–1176. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2011/11-0026\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2011/11-0026))
- Ellen Peng, Z., & Wang, L. M. (2019). Listening Effort by Native and Nonnative Listeners Due to Noise, Reverberation, and Talker Foreign Accent During English Speech Perception. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *62*(4), 1068–1081. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-H-17-0423
- Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E., & Sendurur, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, *59*(2), 423–435. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.001>
- Gilavand, A., Gilavand, M., & Gilavand, S. (2016). Investigating the Impact of Lighting Educational Spaces on Learning and Academic Achievement of Elementary Students. *International Journal of Pediatrics*, *4*(5), 1819–1828. <https://doi.org/10.22038/IJP.2016.6768>
- Hadzi-Nikolova, M., Mirakovski, D., Zdravkovska, M., Angelovska, B., & Doneva, N. (2013). Noise exposure of school teachers - Exposure levels and health effects. *Archives of Acoustics*, *38*(2), 259–264. <https://doi.org/10.2478/aoa-2013-0031>
- Hartstein, L. E., LeBourgeois, M. K., & Berthier, N. E. (2018). Light correlated color temperature and task switching performance in preschool-age children: Preliminary insights. *PLoS ONE*, *13*(8), e0202973. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202973>
- Hassan, M., & Geys, B. (2016). Who should pick up the bill? Distributing the financial burden of technological innovations in schools. *Computers & Education*, *94*, 193–203.

<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.018>

Ifenthaler, D., & Schweinbenz, V. (2016). Students' acceptance of tablet pcs in the classroom. *Journal of Research on Technology in Education*, 48(4), 306–321.
<https://doi.org/10.1080/15391523.2016.1215172>

Inan, F. A., & Lowther, D. L. (2010). Factors affecting technology integration in K-12 classrooms: A path model. *Educational Technology Research and Development*, 58(2), 137–154.
<https://doi.org/10.1007/s11423-009-9132-y>

JISC. (2006). *Designing spaces for effective learning: A guide to 21st century space design*. HEFCE.

JISC. (2019). *Horizons report on emerging technologies and education*.
<http://repository.jisc.ac.uk/7284/1/horizons-report-spring-2019.pdf>

Kanakri, S. M., Shepley, M., Varni, J. W., & Tassinary, L. G. (2017). Noise and autism spectrum disorder in children: An exploratory survey. *Research in Developmental Disabilities*, 63, 85–94.
<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.02.004>

Keis, O., Helbig, H., Streb, J., & Hille, K. (2014). Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance. *Trends in Neuroscience and Education*, 3(3–4), 86–92.
<https://doi.org/10.1016/j.tine.2014.09.001>

Lee, H. S., Kwon, S. Y., & Lim, J. H. (2016). A Development of a Lighting Control System Based on Context-Awareness for the Improvement of Learning Efficiency in Classroom. *Wireless Personal Communications*, 86(1), 165–181. <https://doi.org/10.1007/s11277-015-2811-6>

Lehtniemi, N. (2016). *Toda la verdad sobre la escuela finlandesa*. Consejo de Promoción de Finlandia.
<https://finland.fi/es/vida-y-sociedad/toda-la-verdad-sobre-la-escuela-finlandesa/>

Lorenzo, N., & Gallon, R. (2018). A Social Constructionist Model for Human-Machine Ecosystems. In L. Daniela & M. Lytras (Eds.), *Learning Strategies and Constructionism in Modern Education Settings* (pp. 25–49). IGI Global.

Lorenzo, N., Gallon, R., Palau, R., & Mogas, J. (en premsa). New Objectives for Smart Classrooms from Industry 4.0. *Technology, Knowledge and Learning*.

Martins, L. B., & Gaudiot, D. M. F. (2012). The deaf and the classroom design: A contribution of the built environmental ergonomics for the acessibility. *18th World Congress on Ergonomics - Designing a Sustainable Future*, 41(1), 3663–3668. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0007-3663>

Mendes, A. L. F., de Lucena, B. T. L., de Araújo, A. M. G. D., de Melo, L. P. F., Lopes, L. W., & Silva, M. F. B. D. L. (2016). Teacher's voice: Vocal tract discomfort symptoms, vocal intensity and noise in the classroom. *CODAS*, 28(2), 168–175. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20162015027>

Mogas, J. (2020). *Smart Classrooms i l'adveniment de la Quarta Revolució Industrial: anàlisi dels factors clau per al disseny d'aules intel·ligents* [Doctoral dissertation, Universitat Rovira i Virgili].

Mogas, J., Márquez, M., & Palau, R. (2020). Condiciones ambientales en las aulas inteligentes: Conceptualización y principales necesidades en investigación. In E. López, D. Cobos, L. Molina, A. Jaén, & A. H. Martín (Eds.), *Claves para la innovación pedagógica ante los nuevos retos: respuestas en la vanguardia de la práctica educativa* (pp. 3164–3172). Octaedro.

- Mogas, J., & Palau, R. (2021). Classroom Lighting and Its Effect on Student Learning and Performance: Towards Smarter Conditions. In O. Mealha, M. Rehm, & T. Rebedea (Eds.), *Ludic, co-design and tools supporting smart learning ecosystems and smart education* (pp. 3–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7383-5_1
- Mogas, J., Palau, R., Depaepe, F., Vanneste, P., & Said-Metwaly, S. (en revisió b). *Efectes de la il·luminació en els processos cognitius dels estudiants: necessitat d'un sistema dinàmic per regular la temperatura de color a les aules intel·ligents*.
- Mogas, J., Palau, R., Fuentes, M., & Cebrián, G. (en revisió a). *Escoles intel·ligents en camí: com enfocen els directors d'escola de Catalunya el futur de l'educació dins de la quarta revolució industrial*.
- Mogas, J., Palau, R., & Holgado, J. (2020). Uso de un mundo virtual 3D para diseñar y construir aulas como ambientes de aprendizaje: Evaluación desde la perspectiva smart classroom. In R. Roig-Vila (Ed.), *La docencia en la Enseñanza Superior. Nuevas aportaciones desde la investigación e innovación educativas* (pp. 761–770). Octaedro. <https://octaedro.com/libro/la-docencia-en-la-ensenanza-superior/>
- Mogas, J., Palau, R., Lorenzo, N., & Gallon, R. (2020). Developments for Smart Classrooms: School Perspectives and Needs. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 12(4), 34–50. <https://doi.org/10.4018/IJMBL.2020100103>
- Mogas, J., Palau, R., & Márquez, M. (en premsa). How classroom acoustics influence students and teachers: A systematic literature review. *Journal of Technology and Science Education*.
- Mogas, J., Palau, R., & Márquez, M. (2020). Acústica del aula: Necesidad de aulas inteligentes para solucionar los efectos de la contaminación sonora sobre el personal docente. In E. Sánchez, E. Colomo, J. Ruiz, & J. Sánchez (Eds.), *Tecnologías educativas y estrategias didácticas* (pp. 723–732). UMA editorial. <https://hdl.handle.net/10630/20345>
- Mogas, J., Palau, R., Sanromà, M., & Lázaro, J. L. (2019). Smart classroom, an inclusive space to attend to educational diversity. In M. El Homrani, D. E. Báez, & I. Ávalos (Eds.), *Inclusión y Diversidad: intervenciones socioeducativas*. Wolters Kluwer. <https://tienda.wolterskluwer.es/p/inclusion-y-diversidad-intervenciones-socioeducativas>
- Monteoliva, J. M., Korzeniowski, C. G., Ison, M. S., Santillán, J., & Pattini, A. E. (2016). Estudio del desempeño atencional en niños en aulas con diferentes acondicionamientos lumínicos. *Revista CES Psicología*, 9(2), 68–79. <https://doi.org/10.21615/cesp.9.2.5>
- Mott, M. S., Robinson, D. H., Williams-Black, T. H., & McClelland, S. S. (2014). The supporting effects of high luminous conditions on grade 3 oral reading fluency scores. *SpringerPlus*, 3(53). <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-53>
- Palau, R., & Mogas, J. (2019). Systematic literature review for a characterization of the smart learning environments. In A. M. Cruz & A. I. Aguilar (Eds.), *Propuestas multidisciplinares de innovación e intervención educativa* (pp. 55–71). Universidad Internacional de Valencia. <https://www.universidadviu.es/modelo-de-investigacion/>
- Prodi, N., & Visentin, C. (2015). Listening efficiency during lessons under various types of noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(4), 2438–2448. <https://doi.org/10.1121/1.4932053>
- Pulay, A., & Williamson, A. (2019). A case study comparing the influence of LED and fluorescent

- lighting on early childhood student engagement in a classroom setting. *Learning Environments Research*, 22(1), 13–24. <https://doi.org/10.1007/s10984-018-9263-3>
- Rodal, E. (2020). *Industria 4.0: conceptos, tecnologías habilitadoras y retos*. Ediciones Pirámide.
- Samani, S. (2011). The Influence of Light on Student's Learning Performance in Learning Environments: A Knowledge Internalization Perspective. *Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57, 540–547. <https://www.researchgate.net/publication/281146919>
- Santos, J. F., Ramos, A. P., & Seligman, L. (2013). Comparative analysis of performance in reading and writing of children exposed and not exposed to high sound pressure levels. *CoDAS*, 25(3), 274–281. <https://doi.org/10.1590/S2317-17822013000300014>
- Sekine, R., Asai, Y., & Egi, H. (2018). Designing a system of generating sound environment for promoting verbal communication in classroom. In H. Egi, T. Yuizono, N. Baloian, T. Yoshino, S. Ichimura, & A. Rodrigues (Eds.), *Collaboration Technologies and Social Computing. CollabTech 2018. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 11000, pp. 96–103). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98743-9_8
- Shahroom, A. A., & Hussin, N. (2018). Industrial Revolution 4.0 and Education. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(9), 314–319. <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v8-i9/4593>
- Sleegers, P. J. C., Moolenaar, N. M., Galetzka, M., Pruyn, A., Sarroukh, B. E., & Van Der Zande, B. (2013). Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. *Lighting Research and Technology*, 45(2), 159–175. <https://doi.org/10.1177/1477153512446099>
- Stebbins, R. A. (2001). *Qualitative Research Methods: Exploratory research in the social sciences*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412984249>
- Tiesler, G., Machner, R., & Brokmann, H. (2015). Classroom acoustics and impact on health and social behaviour. *Energy Procedia*, 78, 3108–3113. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.765>
- van der Kruk, Y., Wilson, W. J., Palghat, K., Downing, C., Harper-Hill, K., & Ashburner, J. (2017). Improved Signal-to-Noise Ratio and Classroom Performance in Children with Autism Spectrum Disorder: a Systematic Review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 4(3), 243–253. <https://doi.org/10.1007/s40489-017-0111-7>
- Wang, S., & Zhang, D. (2019). Student-centred teaching, deep learning and self-reported ability improvement in higher education: Evidence from Mainland China. *Innovations in Education and Teaching International*, 56(5), 581–593. <https://doi.org/10.1080/14703297.2018.1490662>
- Woolner, P., & Hall, E. (2010). Noise in schools: A holistic approach to the issue. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(8), 3255–3269. <https://doi.org/10.3390/ijerph7083255>
- Yildiz, Y., Caner, I., Ilten, N., & Karaoglan, A. D. (2018). Field study to analyse luminous comfort in classrooms. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, 171(3), 151–165. <https://doi.org/10.1680/jensu.16.00001>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>